



Ardenia

30/1-2

2025

Správa slovenských jaskýň



ARAGONIT

vedecký a odborný časopis Správy slovenských jaskýň

Časopis uverejňuje:

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

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

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

Zodpovedný redaktor: Ing. Andrea Lešová, PhD.

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. Michal 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 30, číslo 1-2/december 2025

Recenzenti vedeckých príspevkov z výskumu krasu a jaskýň: prof. RNDr. Pavel Bosák, DrSc., RNDr. Ľudovít Gaál, PhD., doc. Mgr. Michal Gallay, PhD., Mgr. Miroslav Nemec, PhD., RNDr. Monika Orvošová, PhD., doc. RNDr. Natália Raschmanová, PhD., RNDr. Karel Žák, CSc.

© 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) Dobšinská ľadová jaskyňa. Foto: P. Staník

(2) Harmanecká jaskyňa. Foto: P. Staník

(3) Dobšinská ľadová jaskyňa. Foto: P. Staník

(4) Mangawhitikau Glowworm Cave. Foto: Spellbound Ltd., Agreatbackyard.co.nz

OBSAH / CONTENTS

VÝSKUM KRASU A JASKÝŇ / RESEARCH OF KARST AND CAVES

P. Bella: Prehľad datovaného veku ľadu v jaskyniach / Overview of the dated ice age in caves	3
J. Littva: Ktoré faktory ovplyvňujú sfarbenie jaskynnej výzdoby? / Which factors influence the colour of the cave decorations?	10
P. Herich, L. Dušeková: Databáza priestorových 3D dát mobilného laserového skenovania slovenských jaskýň a ich uplatnenie / Database of 3D spatial data from mobile laser scanning of Slovak caves and their applications	23
M. Melega, V. Papáč, T. Jászay, P. Ľuptáčik, T. Čejka, B. Grundmann, A. Purkart: Subteránna fauna sezónne premrzajúceho podzemia Ľadovej jaskyne v Ostrých Skalách (Ľubovnianska vrchovina) / Subterranean fauna of seasonally freezing underground of the Ľadová jaskyňa v Ostrých skalách Cave (Ľubovnianska vrchovina Mts.)	33
M. Kudla: Prehľad histórie Harmaneckej jaskyne / Overview of the history of Harmanecká Cave	41

SPRÁVY / REPORTS

I. Balciar, P. Staník: Starostlivosť o jaskyne v roku 2023 / Cave care in Slovakia during 2023	48
I. Balciar, P. Staník: Starostlivosť o jaskyne v roku 2024 / Cave care in Slovakia during 2024	49
I. Balciar, P. Staník: Starostlivosť o jaskyne v roku 2025 / Cave care in Slovakia during 2025	50
Ľ. Gaál, P. Bella: Jubileá v Slovenskom a Aggteleckom krase / Anniversaries in the Slovak and Aggtelek Karst	51
P. Bella, J. Littva: 59. poľské speleologické sympóziu / 59th Polish Speleological Symposium	52
Ľ. Nudziková, A. Laurincová: Návštevnosť sprístupnených jaskýň v roku 2024 / Show caves attendance in 2024	53
P. Bella, M. Kudla: Konferencia o sprístupnených jaskyniach na Slovensku / Conference on show caves in Slovakia	54
P. Bella, M. Bella, B. Bellová: Živé svetlá v novozélandských jaskyniach: bioluminiscencia v podzemí / Living lights in New Zealand's caves: bioluminescence underground	55
P. Bella: Jozef Jakál (1936 – 2025), ústredná osobnosť slovenskej krasovej geomorfológie a geoekológie / Jozef Jakál (1936 – 2025), a leading authority in Slovak karst geomorphology and geoecology	59

PREHĽAD DATOVANÉHO VEKU ĽADU V JASKYNIACH

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

P. Bella: Overview of the dated ice age in caves

Abstract: Ice caves are among the most spectacular caves. Depending on the climate, ice forms in static vertical and inclined caves (traps of cold air), as well as in dynamic vertical dissected caves with two or more openings at different altitudes (which have seasonally changing ventilation, chimney effect). Most ice caves are found in the Northern Hemisphere between latitudes of ~19 and 80 °N (in the southern regions of the belt only at higher altitudes). Cave ice originates mainly from the snow and firn (recrystallized snow, metamorphic ice), freezing stagnant, flowing or dripping meteoric waters (congelation ice), and from the freezing of moisture when the warmer, humid air contacts the cold surfaces (ice sublimation crystals). Ice caves reflect and record the evolution of landscapes in areas with an annual freezing season. However, they are extremely vulnerable to changes in the climate on the surface. They are fragile natural phenomena and rare paleoenvironmental archives, so studying them is crucial. Thick ice bodies in caves provide evidence of environmental changes, mainly during the Holocene. This article provides a regional overview of the ages of the ice cave deposits, as determined by the radiocarbon dating of organic matter (bones and other remains of bats, bat guano, rodent droppings, packrat scat, moths, feathers, wood, deciduous leaves, pine needles, conifer cone scales, charcoal) and cryogenic cave carbonates (cryogenic calcite), as well as wood and bones of larger vertebrates that were exposed on the cave floor after the ice melted. The oldest ages of dated ice deposits in caves are from the early Holocene / Preboreal (Scărișoara Cave in Romania) and the middle Holocene / Atlantic (Armeña-A294 Cave in Spain). The ice deposits in several other caves have been dated to the early part of the Late Holocene / Subboreal (Eisriesenwelt Cave in Austria, Vukušić snježnica Cave in Croatia) and the middle part of the Late Holocene / the early Subatlantic (Candelaria Ice Cave in the USA, Hundsalm Eishöhle und Tropfsteinhöhle in Austria, Dobšiná Ice Cave in Slovakia) and the middle Subatlantic (Strickler Cavern in the USA, Glacière de St-Livres in Switzerland). In many other caves, the ice deposits are younger than 1 ka (late Subatlantic, subrecent). Some ice-bearing caves have been glaciated for much longer due to continuous turnover of the ice (lower layers of ice melt while new layers form on top). The maximum age of the ice, as determined by the lowest layers, is equivalent to the rate of ice turnover in the cave. However, the ice layers can be changed and deformed due to ice melting at the top of an ice body and movement of ice under gravity.

Keywords: speleology, ice-bearing cave, ice cave deposit, age, ¹⁴C dating, Holocene, Dark Ages, Little Ice Age

ÚVOD

Zaľadené jaskyne patria medzi najporozuhodnejšie jaskyne pre odbornú i širšiu verejnosť. V závislosti od klimatických podmienok (sezónny výskyt záporných teplôt vzduchu v jaskyniach a ich okolí, výskyt snehu, vody alebo vlhkého vzduchu v prechladených podzemných priestoroch) sa ľadová výplň vytvára najmä v statických vertikálnych a šikmých, nadol klesajúcich jaskyniach (tvoriacich „pasce“ pre ťažší studený vzduch), ako aj v dynamických vertikálne členitých jaskyniach s dvoma a viacerými vchodmi v rozdielnych nadmorských výškach so sezónne sa meniacou cirkuláciou vzduchu medzi spodným a horným otvorom na povrch (Mavljudov, 2008 a ďalší).

Jaskynný ľad vzniká najmä zo snehu a firnu (rekrytalizovaný sneh, metamorfovaný sneh; obr. 1) a zamŕzaním stagnujúcej, tečúcej alebo kvapkajúcej vody (zmrazený ľad; obr. 2), v menšej miere zamŕzaním vodných kvapiek vznikajúcich na kontakte teplého a vlhkého vzduchu so studeným povrchom (kryštály sublimačného ľadu). Sneh sa hromadí vo vstupných verti-

kálnych šachtách vo vysokohorských a stredohorských polohách, až do hrúbky 80 m (Perşoiu and Onac, 2019). Zvrstvený podlahový ľad vzniká zamŕzaním tenkých povlakov stekajúcej vody. Stojatá voda mrzne zhora nadol, vytvára hrubšiu vrstvu ľadu (jazerný ľad), v ktorej môžu byť obsiahnuté sedimenty, „in situ“

tvoriace sa kryogénne jaskynné kalcity a vzduchové bubliny.

Trvalo zaľadené jaskyne sú známe z viacerých oblastí severnej pologule medzi ~19 až 80° severnej zemepisnej šírky (Pflitsch et al., 2016; Barton et al., 2020), v nadmorskej výške od 30 m do 3350 m



Obr. 1. Jaskyňa Scărișoara, dno vstupnej šachty vyplnené snehom. Foto: P. Bella

Fig. 1. Scărișoara Cave, the bottom of the entrance shaft filled with snow. Photo: P. Bella



Obr. 2. Kungurská ľadová jaskyňa, ľadové útvary zo zamrznutej priesakovej vody. Foto: P. Bella

Fig. 2. Kungur Ice Cave, ice formations from frozen seepage water. Photo: P. Bella

Tab. 1. Členenie holocénu a najstaršia datovaná ľadová výplň v jaskyniach.
Tab. 1. Subdivision of the Holocene and the oldest dated ice fill in caves.

Epochy holocénu (International Commission on Stratigraphy, International Chronostratigraphic Chart v2024/12)			Časové obdobia (Mangerud et al., 1974)	Klimatické / klimaticko-historické epizódy	Historické delenie	Zaľadnené jaskyne		
neskorý holocén	Meghalyan	4250 – súčasnosť	subrecent	súčasnú teplé obdobie	novovek	Glacière de St-Livres Strickler Cavern		
				malá doba ľadová	vrcholný stredovek			
			subatlantik	stredoveké teplé obdobie (stredoveké klimatické optimum)	raný stredovek		Eisgruben-Eishöhle	
				sťahovanie národov / doba temna (Dark Ages)	doba rímska			Dobšinská ľadová jaskyňa Hundsalm Eishöhle Candelaria Ice Cave
				rímske klimatické optimum				
				Grécka doba temna (Greek Dark Ages)	staroveké Grécko	Eisriesenwelt Vukušić snježnica Dachstein-Mammuthöhle*		
			subboreál		doba železná	Armeňa-A294		
	doba bronzová							
stredný holocén	Northgrippian	8235 – 4249	mladší atlantik (epiatlantik)	holocénne klimatické optimum	staroveký Egypt	Scărișoara		
				eneolit				
			atlantik		neolit			
holocénne klimatické optimum	mezolit							
skorý holocén	Greenlandian	11 700 – 8234	boreál					
			preboreál					

* datovanie ¹⁴C založené na extrakcii frakcií organického uhlíka na mikrogramovej úrovni zo vzoriek z ľadového jadra navŕtaného bez použitia nemrznúcej kvapaliny

(Lauritzen et al., 2018; Yonge et al., 2018; Kern a Perşoiu, 2022). V rámci súčasných klimatomorfo-genetických oblastí na Zemi sa vyskytujú v miernej humídnej, periglaciálnej až glaciálnej oblasti. Zaľadnené jaskyne sú jednou z najmenej preskúmaných častí kryosféry, najmä tie, ktoré sa nachádzajú v neprístupných oblastiach permafrostu vo vysokých nadmorských výškach alebo vysokých zemepisných šírkach (Bartolomé et al., 2023). Zaľadnené jaskyne sa vyskytujú v oblastiach s každoročným sezónnym mrazovým obdobím. Mnohé ľadové jaskyne sa nachádzajú v oblastiach, kde je priemerná ročná teplota vzduchu mimo jaskyne nad 0 °C, a preto sú veľmi náchylné na otepľovanie klímy (Kern a Perşoiu, 2013). Preto predstavujú lokálne teplotné anomálie, ktoré sú riadené morfológiou jaskyne a súvisiacim vetraním jej podzemia. Ich ľadové výplne predstavujú sporadické výskyty permafrostu (Bartolomé et al., 2023).

Keďže zaľadnené jaskyne sú mimoriadne citlivé na zmeny klímy na povrchu, predsta-

vujú veľmi zraniteľné a vzácne paleoenvi-ronmentálne archívy (Stoffel et al., 2009; Kern a Perşoiu, 2011; Sancho et al., 2025 a ďalší). Treba ich neustále skúmať a pozorovať, najmä v čase, keď sa mnohé z nich vplyvom meniacej sa klímy degradujú až úplne stratia ľad. Do-terajšie analýzy preukazujú, že hrubé ľadové útvary poskytujú dôkazy o zmenách prírodného prostredia v holocéne.

Tento článok podáva základný prehľad o najstaršom veku ľadu v jaskyniach z rôznych častí sveta, ktorý bol určený na základe rádiokarbónového datovania organickej hmoty (kosti a iné pozostatky netopierov, netopierie guáno, výkaly hlodavcov, trus potkanov, mory, perie, zvyšky dreva a listov, borovicové ihlice, šupiny ihličnatých šišiek, drevné uhlie) a kryogénnych kalcitov vyskytujúcich sa v ľade alebo dreva a kostí väčších stavovcov, ktoré sa odkryli na jaskynnej podlahe po roztopení ľadu. V niektorých jaskyniach sa celkový vek ľadu stanovil na základe lineárnej extrapolácie datovaní na spodnú vrstvu ľadu. Okrem najstaršieho veku článok približuje aj hlavné obdobia

akumulácie ľadu v jaskyniach v holocéne, ako aj v rámci sezónnych zmien počas roka.

ZAĽADNENÉ JASKYNE S DATOVANÝM VEKOM ĽADU

CHORVÁTSKO

Jaskyne Kugina ledenica, Ledena jama a Vukušić snježnica (Velebit). Nachádzajú sa v severnej a centrálnej časti pohoria Velebit, ich vchody nadmorských výškach 1470 m (Vukušić snježnica), 1235 m (Ledena jama) a 1140 m (Kugina ledenica). Rádiokarbónové (¹⁴C) datovanie organického materiálu z ubúdajúcich ľadových výplní, vrátane niekoľkých kmeňov stromov, dosvedčuje zachovanie ~1000-ročnej ľadovej výplne v jaskyni Kugina ledenica a viac ako 500-ročnej výplne v jaskyni Ledena jama. Ľad v dolnej časti ľadového telesa v jaskyni Vukušić snježnica je pravdepodobne starší ako 3500 rokov. V ľadovej výplni týchto jaskýň sa nezistili rastlinné zvyšky z 8. a 15. storočia, čo viac-menej zodpovedá podobným zisteniam z ľadových

výplní jaskýň Východných Álp a pohoria Jura (Kern et al., 2018).

POĽSKO

Ľadová jaskyňa v Ciemniaku (Tatry). Jej vchod sa nachádza na západnom svahu Ciemniaku (2096 m) v nadmorskej výške 1715 m. Dosahuje dĺžku 390 m a hĺbku 42 m. Obsahuje najväčší blok jaskynného ľadu v Tatrách s objemom asi 1500 m³ (Rachlewicz a Szczuciński, 2004). Dve mory (nočné motýle), ktoré sa našli v mladšej generácii ľadu, boli datované metódou ¹⁴C. Určené veky 195 a 125 rokov poukazujú, že tento ľad sa vytvoril počas malej doby ľadovej (chladnejšie obdobie, ktoré sa začalo v stredoveku a skončilo v 19. storočí). Spodná staršia generácia ľadu, oddelená od mladšej generácie výrazným stratigrafickým rozhraním, pravdepodobne vznikla v chladnom období medzi atlantikom (holocénne teplotné maximum) a stredovekým teplým obdobím (Hercman et al., 2010).

RAKÚSKO

Dachstein-Mammuthöhle, Dachstein (Alpy). Celková dĺžka všetkých chodieb v jaskyni Dachstein-Mammuthöhle je 67,5 km a vertikálne rozpätie je 1,2 km (predstavuje štvrtú najdlhšiu a piatu najhlbšiu jaskyňu v Rakúsku). Trvalý ľad sa nachádza v dvoch obrovských sieňach – Feenpalast a Saarlalle, neďaleko západného vchodu (Spötl et al., 2018).

Zvýšok dreva, ktorý sa v sieni Feenpalast vytiahol z ľadu tesne nad základňou ľadového útvaru hrubého 6 m, sa datoval metódou ¹⁴C. Jeho kalibrovaný vek 1292 rokov poukazuje, že nadložný ľad pravdepodobne vznikol v malej dobe ľadovej (Mais a Pavuza, 2000).

Keďže najmä vo vysokohorských oblastiach je v jaskynnom ľade nedostatok organických látok, začalo sa využívať aj datovanie pomocou ¹⁴C založené na extrakcii frakcií organického uhlíka na mikrogramovej úrovni, ktoré sa používa pre povrchové ľadové jadrá (Jenk et al., 2007). Tento prístup bol prvýkrát testovaný na vzorkách jaskynného ľadového jadra z Eisriesenwelt (May et al., 2011). Ukázal sa však ako nepresvedčivý, dal sa dosiahnuť iba hrubý odhad základného veku ľadu rádo vo niekoľkých tisícok rokoch. Odvtedy sa táto metóda zlepšila a použila pri datovaní vrtného jadra zo siene Saarlalle v jaskyni Dachstein-Mammuthöhle. Bez použitia nemrznúcej kvapaliny sa ľad navráťal do hĺbky 5,8 m. Medián kalibrovaného veku najhlbšej analyzovanej vzorky bol ~1830 rokov pred n. l. a lineárna extrapolácia na spodnú vrstvu ľadu určila vek 2590 rokov pred n. l. Tým sa ľadový blok Saarlalle zaradil medzi najstaršie datované ľadové výplne jaskýň v alpskej oblasti (Kern et al., 2018).

Eisgruben-Eishöhle (Alpy). Jaskyňa sa nachádza v masíve Sarstien (Štajersko) vo Východných Alpách, jej vchod je v nadmorskej výške 1695 m. Dosahuje dĺžku 213 m a hĺbku 97 m. Dve vzorky dreva datované metódou ¹⁴C majú vek 2200 a 5200 rokov. Staršia vzorka dreva bola odobratá zo závalu pod ľadovou výplňou (mohla sa do jaskyne dostať už pred jej zaľadnením), mladšia vzorka dreva pochádza z ľadu (Achleitner, 1995).

Eisriesenwelt, Tennengebirge (Alpy). Jaskynný systém Eisriesenwelt, dlhý takmer 40 km, sa nachádza v západnej časti krasového masívu Tennengebirge v Severných vápencových Alpách. Spodný vchod je v nadmorskej výške 1641 m (obr. 3), horný vchod v nadmorskej výške 1838 m na planine Tennengebirge. Studený zimný vzduch vstupuje cez spodné vchody do jaskyne a stúpa cez chodby až vystupuje na planinu (komínový efekt). Prílev zimného vzduchu spôsobuje silné ochladenie prvých 550 m jaskyne za hlavným spodným vchodom, kde ľad pokrýva plochu približne 11 000 m². Koncom jari sa prúdenie vzduchu v jaskyni obracia, pretože jaskynný vzduch je chladnejší a hustejší v porovnaní s teplejším vonkajším vzduchom, t. j. studený jaskynný vzduch vychádza na povrch zo spodného vchodu (Spötl et al., 2024 a ďalší).

V ľadových stenách sú biele až svetlohnedé vrstvy obsahujúce jemné „prachové“ jaskynné kryogénne kalcity (ľad nad nimi je nápadne čistejší). Z ľadového profilu Morkgletscher vysokého 14 m, z ľadu vyvŕtaného v Eispalaste, ako aj z ľadového tunela boli odobrané kryogénne kalcity a datované rádiokarbónovou metódou. Ich vek sa pohybuje od 921 do 3517 rokov (najvrchnejšie vzorky sú približne o 2000 – 2500 rokov mladšie ako najspodnejšie). Navyše tri vzorky kryogénnych kalcitov boli analyzované na ²³⁰Th, avšak datovanie bolo veľmi nepresné kvôli veľkej korekcii Th. Mohutné ľadové masy v jaskyni Eisriesenwelt sa začali hromadiť na konci 4. tisícročia, pravdepodobne v súvislosti s obdobím železnej doby 1, ktoré je známe zo záznamov o alpských ľadovcoch. Výrazný nárast priemernej rýchlosti akumulácie ľadu nastal okolo 13. storočia nášho letopočtu, čo sa zhodovalo s nástupom malej doby ľadovej. Významná časť súčasného objemu ľadu v jaskyni Eisriesenwelt vznikla v chladných storočiach malej doby ľadovej, kým časti pri vchode a centrálne časti jaskyne boli pravdepodobne počas teplého stredoveku väčšinou bez ľadu (Spötl et al., 2024).

Datovaním ¹⁴C založeným na extrakcii frakcií organického uhlíka na mikrogramovej úrovni zo vzoriek ľadového jadra a po extrapolácii na skalné podložie bol určený hypotetický vek bazálneho ľadu v jaskyni Eisriesenwelt až približne 5000 rokov (May et al., 2011).

Hundsalm Eishöhle und Tropfsteinhöhle (Alpy). Jaskyňa sa nachádza v západnej časti Severných vápencových Álp, jej vchod leží v nadmorskej výške 1520 m. V jaskyni sú 7 m hrubé uloženy snehu, firnu a ľadu. Úlomky dreva v spodných častiach ľadovej a firnovej steny boli datované pomocou metódy AMS ¹⁴C. Najstaršie drevené pozostatky v ľade majú vek 2664 rokov – pochádzajú z konca starej doby bronzovej. Väčšina jaskyne bola



Obr. 3. Jaskyňa Eisriesenwelt, dolný vchod. Foto: P. Bella
Fig. 3. Eisriesenwelt Cave, lower entrance. Photo: P. Bella

počas rímskeho teplého obdobia bez ľadu alebo obsahovala iba malé množstvo firnu a ľadu. Vek troch úlomkov dreva označuje začiatok hromadenia firnu a ľadu v 6. a 7. storočí nášho letopočtu. Vzorky pochádzajúce z 13. storočia zaznamenávajú rast ľadu začiatkom malej doby ľadovej. Väčšina uložení ľadu a firnu sa vytvorila počas 15. až 17. storočia. Záznamy z datovaných zvyškov dreva z jaskyne vykazujú paralelu s históriou alpských ľadovcov za posledné tri tisícročia, týkajúcu sa nedostatku zachovaných pozostatkov dreva z období minimálnych stavov ľadovcov (Spötl et al., 2013).

Schneeloch (Alpy). Jaskyňa so šachtovitým prepadliskom na zhromažďovanie snehu v masíve Schneealm v Štajersku. Dosahuje dĺžku 721 m a hĺbku 68 m. Rýchla zmena snehovej a ľadovej výplne v tejto jaskyni, ktorú predtým využívala neďaleká horská farma ako chladničku, by mohla byť dôsledkom otepľovania klímy. Ustupujúci ľad odhalil niekoľko kmeňov stromov a kosti zubrov, losov a starobylého plemena trpasličieho dobytky. Biela stehenná kosť bola datovaná rádiokarbónovou metódou, jej vek sa určil na 2228 rokov. Jedna zo vzoriek smrekového kmeňa pochádza zo začiatku 5. tisícročia (Herrmann et al., 2010).

RUMUNSKO

Scărișoara Ice Cave (Bihor). Priepasťovitý vchod do jaskyne sa nachádza na okraji náhornej plošiny Ocoale v centrálnej časti pohoria Bihor (súčasť rozsiahlejšieho pohoria Apuseni / Apusenské vrchy), približne 50 kilometrov juhozápadne od Kluže. Vchod



Obr. 4. Jaskyňa Scărișoara, Veľká sieň a ľadová stena Malej rezervácie. Foto: P. Bella
Fig. 4. Scărișoara Cave, Great Hall and Little Reservation ice wall. Photo: P. Bella

do jaskyne v nadmorskej výške 1165 m tvorí vstupná šachta, ktorej priemer je 60 m a hĺbka 47 m. Jaskyňa dosahuje dĺžku 700 m a hĺbku 105 m. Ľadový blok sa vytvoril vo Veľkej sieni, pokrýva plochu približne 3000 m². Priemerná hrúbka ľadu je 20 m, maximálna hrúbka 22,53 m (Racoviță a Onac, 2000; Onac et al., 2007 a ďalší; obr. 4). Objemom cca 100 000 m³ (Holmlund et al., 2005; Perșoiu and Pazdur, 2011) predstavuje druhý najväčší podzemný ľadovec v Európe, asi aj vo svete (Perșoiu, 2005). Predtým sa uvádzal objem ľadu cca 75 000 m³ (Perșoiu, 2005). Ľadový blok nemá stabilný tvar ani objem, neustále sa mení abláciou navrchu a po stranách, bazálnym topením a bočným tečením. Ľad pozostáva prevažne z vrstiev jazerného ľadu. Vzniká hromadením priesaku vody v plytkom jazere na vrchole ľadového bloku medzi septembrom a decembrom a následne v zime zamrzne a vytvorí vrstvu ľadu s hrúbkou približne 1 – 15 cm (Perșoiu, 2005; Perșoiu et al., 2017).

Prvé rádiokarbónové datovanie ukázalo, že ľadový blok je starší ako 1000 rokov. Horná a spodná časť ľadového bloku však nebola datovaná pre nedostatok organickej hmoty v ľade. Preto sa predpokladalo, že ľad je oveľa starší (Perșoiu a Pazdur, 2011). Následným datovaním organickej hmoty (kúskov listov a ihličia borovice obsiahnutých vo vrtnom jadre) z hĺbky 22,24 m sa určil jej vek 10 123 rokov (Perșoiu et al., 2017). Keďže vrt dosiahol skalné podložie o 29 cm nižšie, najspodnejší ľad je ešte starší. Ide o doteraz najstarší datovaný vek organickej hmoty zachovanej v jaskynnom ľade na svete.

V období pred 5-tisíc rokmi bola v jaskyni Scărișoara rýchlosť akumulácie ľadu 0,13 cm/rok, v období pred 5 až 2,5- až 2-tisíc rokmi sa zvýšila na ~0,4 cm/rok, následne sa zdvojnásobila na ~0,9 cm/rok. Rýchlosť akumulácie ľadu je výsledkom komplexnej

interakcie medzi dostupnosťou vody a teplotou. Bez ohľadu na zmeny teploty vzduchu (pokiaľ je pod 0 °C), vyššie množstvo zrážok v zime vedie k väčšej tvorbe ľadu, kým nižšie množstvo zrážok k menšej tvorbe ľadu. Naopak, vyššie množstvo letných zrážok a zvýšená teplota vzduchu spôsobia zvýšené topenie ľadu. Nízka rýchlosť akumulácie ľadu na začiatku holocénu mohla byť výsledkom kombinácie suchších a chladnejších zim (s menšou akumuláciou ľadu) a počasia a/alebo teplejších liet (s väčším topením ľadu). Naopak, vysoké miery akumulácie ľadu po približne 5-tisíc rokoch boli pravdepodobne spôsobené väčšou tvorbou ľadu v zime za vlhších podmienok a/alebo menšou letnou abláciou za suchších podmienok (Perșoiu et al., 2017).

Ghețarul de la Focul Viu (Bihor). Jaskyňa sa nachádza v pohorí Bihor, na rovnej planine ako jaskyňa Scărișoara. Jej vchod je v nadmorskej výške 1150 m. Ghețarul de la Focul Viu predstavuje druhú najvýznamnejšiu ľadovú jaskyňu v Rumunsku – objem ľadu asi 25 000 m³ (Orghidan et al., 1984), hrúbka ľadu 14 m (Bleahu et al., 1976). Sneh a dážď, ako aj odumreté, resp. vyvrátené stromy sa dostávajú do jaskyne cez stropný otvor hlavnej siene. Rádiokarbónový vek dreva odobraného z ľadu v hĺbke 6,67 m je 850 rokov (1160 – 1260 n. l.). Analyzované stabilné izotopy zo 7 m dlhého ľadového jadra približne predstavujú posledných 800 – 900 rokov (Kern et al., 2004).

SLOVENSKO

Dobšinská ľadová jaskyňa (Slovenský raj). Nachádza sa v južnej časti Slovenského raja, jej vchod leží na severnom svahu Duče v nadmorskej výške 969 m. Z vývojového hľadiska je Dobšinská ľadová jaskyňa súčasťou systému Stratenskej jaskyne, ktorý dosahuje dĺžku 23,6 km. Dobšinská ľadová jaskyňa meria 1483 m, jej vertikálne rozpätie je 75 m

(Tulis a Novotný, 1989; Novotný a Tulis, 2005 a ďalší). Keďže okrem vchodu prievanom komunikuje s vyššie položeným prepadliskom Duča, jej horná časť predstavuje staticko-dynamickú jaskyňu s rozdielnym zimným a letným prúdením vzduchu (Piasecki et al., 2004, 2008; Korzystka et al., 2011 a ďalší). Jaskyňa sa zaľadnila najmä zamŕzaním presakujúcich zrážkových vôd, na jar zamŕzaním presakujúcich vôd z topiaceho sa snehu. Ľad z väčšej časti vyplnil hlavný priestor šikmého úseku jaskyne. Zaľadnené časti jaskyne sú v nadmorskej výške 920 až 950 m, zaberajú plochu vyše 9770 m². Objem ľadu presahuje 110 000 m³. Priemerná hrúbka podlahového ľadu je 13 m, najväčšia hrúbka 26,5 m (Tulis a Novotný, 1995; Novotný a Tulis, 1996, 2005 a ďalší; obr. 5). Kým v jeho hornej časti sa ľad tvorí, na spodnom okraji tvorenom vysokou ľadovou stenou a na kontakte s podložnými skalnými blokmi ubúda. Na šikmom podloží sa ľadová masa v Dobšinskej ľadovej jaskyni gravitačne pomaly posúva nadol – od vchodu, Malej a Veľkej siene smerom k Prízemiu a Ruffínyho koridoru, 2 až 4 cm za rok (Tulis, 1997; Bella et al., 2020). V posledných rokoch ľad ubúda, najmä v horných častiach jaskyne v dôsledku intenzívnych, resp. dlhotrvajúcich dažďov. V zimnej sezóne ľad ubúda sublimáciou, vrátane spodných častí jaskyne (Bella a Zelinka, 2018; Bella et al., 2020; Pukanská et al., 2024).

Na základe priameho sčítania vrstiev ľadu (s hrúbkou 3 – 5 cm) Droppa (1957) predpokladal vek najstaršieho existujúceho ľadu v jaskyni približne 5000 – 7500 rokov. Na základe merania prírastkov ľadu v Malej sieni bol spresnený na 4133 rokov (Droppa, 1960, 1964). Keďže výška vstupného otvoru do Kaplnky sa za 100 rokov znížila z 1,8 na 0,87 m (na báze ľadového telesa dochádza k jeho ablácii), Tulis a Novotný (2003) predpokladajú, že 26,5 m hrubý ľad v jaskyni sa obmení za 2700 – 3000 rokov. V kontexte vývoja jaskynných úrovní a riečnych terás v údolí rieky Hnilec podľa Novotného a Tulis (1996) zostupná vrecovitá dutina, v ktorej sa mohol zachytávať studený vzduch, vznikla v dôsledku rútenia pravdepodobne v strednom pleistocéne.

Fragmenty organickej hmoty netopierov (koža, pozostatky mäkkých tkanív zmrznutých netopierov), odkryté v ľadovom tuneli vysekanom cez spodnú časť ľadovca (vo výške 921 – 923 m n. m.), boli datované rádiokarbónovou metódou (¹⁴C). Ich vek je 1178 – 988 rokov (Clausen et al., 2007), 1173 – 969 a 1266 – 1074 rokov (Gradziński et al., 2016). Zachované zvyšky guána, odobraté z čela ľadovca na Prízemí (vo výške 917 – 930 m n. m.), majú vek 2595 – 610, resp. 2326 – 577 rokov (Mílovský et al., 2019, 2020). Ide o doteraz najstarší datovaný vek organických látok zachovaných v ľade Dobšinskej ľadovej jaskyne.

Datované kosti netopierov nájdené v ľadovej stene na severnom okraji Ruffínyho koridoru (poniže Zrúteného domu, nad založením trasy prehliadkového chodníka) majú vek 345, 1570, 1940 a 2040 rokov (Perșoiu et al., 2022). Tieto takmer horizontálne vrstvy ľadu vo výške 938 – 942 m n. m. (vytvorené zo zamrzutej plytkej vodnej nádrže) sú staršie ako nižšie položené vrstvy ľadu vo výške 921 – 923 m n. m. Svedčia o intenzívnejšom



Obr. 5. Dobšinská ľadová jaskyňa, Veľká sieň a Prízemie. Foto: P. Bella
Fig. 5. Dobšinská Ice Cave, Great Hall and Ground Floor. Photo: P. Bella

pohybe centrálnej časti ľadového telesa v podobe „podzemného ľadovca“ od Veľkej siene na Prízemie, kým ľad v Zrútenom dome a nad Ruffínyho koridorom na severovýchodnom okraji zaľadnenej časti jaskyne ľad sa pohybuje pomalšie, resp. viac-menej stagnuje (gravitačne menej deformované vrstvy ľadu).

Z ľadovej steny v Ruffínyho koridore boli odobrané a datované kosti netopierov (*Myotis mystacinus*, *M. brandtii* a *Eptesicus nilssonii*), ktoré majú vek 770 – 890 až 835 – 1005 rokov a 1320 – 1340 až 1520 – 1675 rokov. Dve skupiny veku naznačujú vyššiu úmrtnosť netopierov počas chladnejších období – doby temna (raný stredovek) a malej doby ľadovej, čo je v súlade s epizódami rýchlejšieho rastu ľadu. Rýchlosť rastu ľadu počas doby temna bola 1,29 cm/rok, počas stredovekej klimatickej anomálie 0,58 cm/rok a počas malej doby ľadovej 1,2 cm/rok. Počas súčasného teplého obdobia dosahuje 0,95 cm/rok (Jelonek et al., 2025).

SLOVINSKO

M-17 (Julské Alpy). Priepasť vo vrchu Tolminski Migovec v severozápadnej časti Slovinska, jej vchod je v nadmorskej výške 1879 m. Priepasť M-17 dosahuje hĺbku 90 m. Rádiokarbónové datovanie vzoriek dreva z ľadu (metódou AMS ^{14}C) poskytuje v súčasnosti najväčšiu dostupnú sadu údajov o podzemnom úložisku ľadu v juhoeurópskych Alpách. Na základe datovania zrekonštruovali chronostratigrafiu ľadu, ktorá zahŕňa tri hlavné fázy jeho pozitívnej bilancie okolo rokov 900 – 1100, 1200 – 1300 a 1700 – 1800 n. l., ako aj obdobie jeho negatívnej bilancie okolo rokov 1300 – 1400 n. l. Predpokladá sa, že zaľadnenie jaskýň nastalo najneskôr okolo roku 900 n. l. Fázy pozitívnej bilancie ľadu zodpovedajú viacdekadovým obdobiam s chladnejšími ako priemernými letami a vlhšími ako priemernými jarami. Negatívna bilancia ľadu zodpovedá teplejším ako priemerných letám a suchým jarami. Jaskyňa

zaznamenala úbytok hmoty ľadu od svojho objavenia v 80. rokoch 20. storočia (Racine et al., 2022).

SPOJENÉ ŠTÁTY AMERICKÉ (USA)

Candelaria Ice Cave (Bandera, New Mexico). Jaskyňa sa nachádza na okraji krátera Bandera, východne od pohoria Zuni a približne 25 km juhozápadne od mesta Grants, Cibola County (západná časť Nového Mexika). Ľad sa vyskytuje v časti lávovej trubice jaskyne so zrúteným stropom. Vchod do jaskyne, v ktorej sa zdržiava studený vzduch, je v nadmorskej výške 2393 m. Jaskyňa pozostáva z hornej a spodnej siene. Horná sieň je približne 15 m pod povrchom lávy a obsahuje trvalý ľad. Ľad sa skladá z dvoch odlišných akumulácií. Prvá časť bola uložená ako ploché vrstvy, ktoré vyplňali jaskyňu pravdepodobne viac ako 4,5 m nad podlahou. V dôsledku ablácie predná časť tohto staršieho ľadového telesa sa pretvorila do vertikálnej až previsnutej polkruhovej steny. Na tomto zníženom mieste vzniklo nové ľadové teleso ako ľadové „jazero“ prehradené pri vchode strmou skalnou sutinou a vzadu ľadovou stenou. Rádiokarbónové datovanie konárov a vetvičiek poukazuje, že spodný ľad v 4,5 m vysokej ľadovej stene je starý 1800 – 3000 rokov. Horných 2,5 – 3 m ľadu, z ktorého sa datovali mory a perie, zahŕňa časť obdobia medzi rokmi 1650 – 1850 n. l. Nedostatok ľadu staršieho ako 3000 rokov, ako aj zjavné diskontinuity v ľadových súvrstviach naznačujú, že ľad sa vytváral a ubúdala niekoľkokrát počas holocénu v súvislosti s variabilitou klímy. Spodná sieň je suchá a bez ľadu (Dickfoss, 1997). Jaskyňa predstavuje posvätné miesto s 1200-ročnou históriou, ktorá siaha až k predkom Pueblo.

Strickler Cavern (Lost River Range, Idaho). Jaskyňa sa nachádza vo východnej časti Idaho v pohorí Rocky Mountains, vytvorená je v dolomitoch. Vchod tvorí zrútený závrť v nadmorskej výške približne 2500 m.

V hĺbke asi 8 m je vrchol kužeľa tvoreného snehom, firmom a ľadom, ktorý je vysoký asi 5 m. V lete sa na rovnej podlahe vedľa kužeľa vytvára plytké jazero (hlboké do 10 cm) s plochou približne 25 m². Podlahový zvrstvený ľad siaha až do spodnej časti jaskyne a dosahuje hrúbku okolo 30 m. Ľadový stalagmit vysoký 3,5 m, tvorený kongelačným ľadom, sa začal vytvárať takmer pred 1500 – 2000 rokmi. Datované organické zvyšky majú vek 1430 až 1825 rokov (Munroe et al., 2018).

Winter Wonderland Cave (Uinta Mountains, Utah). Jaskyňa sa nachádza v severnej časti Utahu, na severnom svahu pohoria Uinta, v nadmorskej výške 3140 m. Ľadová výplň má lokálne hrúbku 3 m. Vzorky výkalov hľadavcov datovaných metódou AMS ^{14}C majú vek od 40 do 285 rokov, čo zodpovedá mediánu kalibrovaného veku od roku 1830 do roku 1560 n. l. Rádiokarbónové datovanie organických zvyškov naznačuje, že aspoň časť tohto ľadu sa nahromadila pred rokom 1830 n. l., t. j. počas malej doby ľadovej (Munroe, 2021).

ŠPANIELSKO

Armeña-A294 Ice Cave (Pyreneje). Vysokohorská jaskyňa v krasovom masíve Cotiella v centrálnej časti španielskych Pyrenej, s hlavným vchodom v nadmorskej výške 2238 m. Dosahuje hĺbku 40 m. Hlavný vchod vedie do vstupnej šachtovitej siene hlboké 10 m, ktorej dno s plochou asi 30 m² pokrýva 9,25 m hrubý ľad. Hlavný vchod je snehovou rampou spojený s hlavnou sieňou, ktorá obsahuje staré ľadové teleso. Hrúbka a rozsah snehovej rampy sa mení z roka na rok v závislosti od frekvencie a intenzity sneženia. Vedľajší menší šachtovitý vchod v zime vyplňa sneh (Sancho et al., 2012; Belmonte-Ribas et al., 2014 a ďalší).

V jaskynnom ľade sú obsiahnuté organické vrstvy bohaté na rastlinné makrofosílie (napr. listy, ihličie, semená, plody), ktoré zod-

povedajú ablačným obdobiam. Datované organické zvyšky poukazujú na vek ľadu od 6100 do 1888 rokov. Počas neoglacálu sa fázy vysokej akumulácie ľadu vyskytli pred 6100 – 5515, 4945 – 4250, 3810 – 3155 a 2450 – 1890 rokmi. Uhlové diskordancie ľadu predstavujú dlhšie obdobia s nízkou akumuláciou snehu a ľadu medzi ~5515 – 4945, ~4250 – 3810 a ~3155 – 2450 rokmi, čo naznačuje pomerne dlhé obdobia, keď akumulácia ľadu prestala, pravdepodobne v dôsledku suchších a relatívne teplejších zím. Akumulácia ľadu sa skončila približne pred 1890 rokmi (Sancho et al., 2018, 2025; Leunda et al., 2018). Štyri vzorky datované z tej istej vrstvy v hĺbke 165 cm ukazujú veľmi podobný vek ~3100 rokov, čo naznačuje, že vzorkované detritické vrstvy sa vzťahujú na veľmi krátke ablačné obdobia, maximálne v dekadovej časovej škále (Sancho et al., 2012, 2018).

Nové vzorky získané v roku 2022 po úplnom zmiznutí snehovej rampy naznačujú, že ľad sa udržiaval počas temného (raného) stredoveku a stredovekej klimatickej anomálie. Chronológia, stratigrafia ľadu, ústup ľadu za súčasných klimatických podmienok, paleoklimatický záznam z tejto oblasti, ako aj staršie prieskumy naznačujú, že súčasné topenie ľadu je najintenzívnejšie odvtedy, keď sa v jaskyni začal tvoriť ľad. Jaskyňa Armeña-A294 obsahuje najstaršiu známu jaskynnú firnovú výplň na svete, ktorá postupne ubúda (Sancho et al., 2018, 2025).

ŠVAJČIARSKO

Glacière de Monlesi (Jura). Najväčšia ľadová jaskyňa v pohorí Jura, nachádza sa

v jeho západnej časti v kantóne Neuchâtel pri obci Val-de-Travers. Tri šachtovité vchody v nadmorskej výške 1135 m vedú nadol do hĺbky 20 m – do siene s pôdorysom 20 × 40 m a výškou 15 m. Zväčša ju vyplňuje ľad, ktorého hrúbka je 12 – 15 m a objem 6000 m³ (Luetscher, 2005). Vek AMS ¹⁴C vetvičky smrek obyčajného (*Picea abies*), zachovanej v najnižšej vrstve ľadu v hĺbke 12 m, je 230 rokov. Teplota ľadu vo vrte v hĺbke 8 m sa blíži 0 °C, spodná časť ľadu na kontakte s podložnou horninou sa roztápa. Na základe merania poklesávania tyčí vložených do ľadovej steny sa ľad v rokoch 2001 až 2006 znižoval 8 cm za rok. Za týchto podmienok by celková obmena ľadu trvala 120 – 200 rokov (Luetscher et al., 2007).

Glacière de St-Livres (Jura). Nachádza sa v juhozápadnej časti pohoria Jura, uprostred Pré de Saint-Livres (obec Bière), na južnom svahu Mont-Tendre. Zrútený závrť v nadmorskej výške 1359 m vedie šikmo nadol do dutiny siahajúcej do hĺbky 45 m. Šikmú stenu a dno šachtovitej vstupnej priepasti pokrýva ľad, ktorého objem sa odhaduje na 1200 m³. ¹⁴C datovaní zvyškov dreva smrek obyčajného (*Picea abies*) z previsnutej ľadovcovej steny na dne priepasti sa zistili fázy akumulácie a ablácie ľadu. Maximálny vek ľadu je 1200 rokov. Štyri hlavné obdobia bez akumulácie ľadu zodpovedajú 14. a 15. storočiu, polovici a neskoršej časti 19. storočia. Môžu súvisieť s fázami pozitívnych anomálií severoatlantickej oscilácie (NAO+) počas zimného polroka a/alebo antropogénnym odberom ľadu. Fázy akumulácie ľadu v rokoch 1877 – 1900 a 1393 – 1415 by mohli zodpovedať fázam negatívnych indexov NAO (Stoffel et al., 2009).

ZÁVER

Najstaršie datované veky ľadu v jaskyniach prislúchajú do skorého holocénu (jaskyňa Scărișoara – <10 000 rokov) a stredného holocénu (Armeña-A294 – 6100 rokov). Nasledujú jaskyne, v ktorých sa vyskytuje ľad zo začiatku neskorého holocénu (Dachstein-Mammuthöhle – ~4600, resp. ~3850 rokov, Vukušić snežnica – <3500 rokov, Eisriesenwelt – 3517 rokov, Dobšinská ľadová jaskyňa – 2595, resp. 2326 rokov, Eisgruben-Eishöhle – <2200 rokov) a strednej časti neskorého holocénu (Strickler Cavern – 1825 rokov, Glacière de St-Livres – 1200 rokov). Rádiokarbónové datovanie organickej hmoty zachovanej v ľade v ďalších jaskyniach ukazuje, že ich ľadové útvary sú mladšie ako 1000 rokov.

Jaskyne sú zväčša zaľadnené oveľa dlhšie ako uvedené datované veky, pretože ľad je v stave neustálej obmeny, najmä v jaskyniach v stredohorských a nižších polohách mierneho klimatického pásma. Najspodnejšie vrstvy ľadu sa topia, kým na vrchných vrstvách sa tvoria nové. Maximálny vek ľadu, určený z najspodnejších vrstiev, je spravidla ekvivalentný rýchlosti obmeny ľadu v jaskyni. Zvrstvenie ľadu sa však môže meniť v dôsledku topenia na vrchu ľadového telesa a gravitačného pohybu ľadu. V oblastiach s dlhodobým výskytom permafrostu ľadová výplň jaskýň môže pretrvávajúť z poslednej ľadovej doby. V mnohých jaskyniach mierneho klimatického pásma sa ľad vyskytoval počas poslednej ľadovej doby a v súčasnosti už nie sú zaľadnené (pozri Spötl et al., 2023).

Literatúra

- ACHLEITNER, A. 1995. Zum Alter des Hohleneises in der Eisgruben-Eishöhle im Sarstein (Oberösterreich). *Die Höhle*, 46, 1, 1–5.
- BARTON, H. A. – BRELEY, G. J. – TOCHTERLE, P. – MOSELEY, G. E. 2020. Cryogenic features of the permafrost ice caves of Grottedal, Northeast Greenland. *Cave and Karst Science*, 47, 2, 93–99.
- BARTOLOMÉ, M. – CAZENAVE, G. – LUETSCHER, M. – SPÖTL, C. – GÁZQUEZ, F. – BELMONTE, Á. – TURCHYN, A. V. – LÓPEZ-MORENO, J. I. – MORENO, A. 2023. Mountain permafrost in the Central Pyrenees: insights from the Devaux ice cave. *The Cryosphere*, 17, 477–497. <https://doi.org/10.5194/tc-17-477-2023>
- BELLA, P. – TULIS, J. – ZELINKA, J. – PAPÁČ, V. – VIŠŇOVSKÁ, Z. – HAVIAROVÁ, D. 2020. Dobšinská Ice Cave (Slovakia, central Europe) and its unique underground glacier originated in the mid-mountain position of the moderate climate zone. *Aragonit*, 25, 4–16.
- BELLA, P. – ZELINKA, J. 2018. Ice caves in Slovakia. In Perşoiu, A. – Lauritzen, S.-E. (Eds.): *Ice Caves*. Elsevier, Amsterdam, 493–510.
- BELMONTE-RIBAS, Á. – SANCHEO, C. – MORENO, A. – LOPEZ-MARTINEZ, J. – BARTOLOME, M. 2014. Present-day environmental dynamics in ice cave A294, Central Pyrenees, Spain. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 37, 2, 131–140. <https://doi.org/10.4461/GFDQ.2014.37.12>
- BLEAHU, M. – DECU, V. – NEAGREA, Ș. – PLEȘA, C. – POVARĂ, I. – VIEHMANN, I. 1976. Peșteri din România. Editura științifică și enciclopedică, București, 127–128.
- CLAUSEN, H. B. – VRANA, K. – HANSEN, S. B. – LARSEN, L. B. – BAKER, J. – SIGGAARD-ANDERSEN, M.-L. – SJOLTE, J. – LUNDHOLM, S. C. 2007. Continental ice body in Dobšinská Ice Cave (Slovakia) – Part II. – Results of chemical and isotopic study. In Zelinka, J. (Ed.): *Proceedings of the 2nd International Workshop on Ice Caves, Demänovská Dolina, Slovak Republic, May 8–12, 2006*. SSJ, Liptovský Mikuláš, 29–37.
- DICKFOSS, P. V. – BETANCOURT, J. L. – THOMPSON, L. G. – TURNER, R. M. – THARNSTROM, S. 1997. History of ice at Candelaria Ice Cave, New Mexico. *New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources, Bulletin*, 156, 91–112.
- DROPPA, A. 1957. Dobšinská ľadová jaskyňa. *Geografický časopis*, 9, 2, 99–118.
- DROPPA, A. 1960. Dobšinská ľadová jaskyňa. *Šport*, Bratislava, 115 s.
- DROPPA, A. 1964. Ledjany peščery Českoslovakii. *Peščery*, 4 (5), 85–94.
- GRADZIŃSKI, M. – HERCMAŃ, H. – PERESWIEC-SOLTAN, A. – ZELINKA, J. – JELONEK, M. 2016. Radiocarbon dating of fossil bats from Dobšinka Ice Cave (Slovakia) and potential palaeoclimatic implications. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 86, 3, 341–350. <https://doi.org/10.14241/asgp.2016.016>
- HERCMAŃ, H. – GAȘIOROWSKI, M. – GRADZIŃSKI, M. – KICIŃSKA, D. 2010. The first dating of cave ice from the Tatra Mountains, Poland and its implication to palaeoclimate reconstructions. *Geochronometria*, 36, 31–38. <https://doi.org/10.2478/v10003-010-0016-2>
- HERRMANN, E. – PUCHER, E. – NICOLUSSI, K. 2010. Das Schneeloch auf der Hinteralm Schneesalpe, Steiermark: Spelaomorphologie, Eisveränderung, Palaozoologie und Dendrochronologie. *Die Höhle*, 61, 1–4, 57–72.
- HOLMLUND, P. – ONAČ, B. P. – HANSSON, M. – HOLMGREN, K. – MÖRTH, M. – NYMAN, M. – PERŞOIU, A. 2005. Assessing the palaeoclimate potential of cave glaciers: The example of the Scărișoara Ice Cave (Romania). *Geografiska Annaler*, 87 A, 1, 193–201.
- JELONEK, M. – PAWLAK, J. – PERESWIEC-SOLTAN, A. – ZELINKA, J. – GRADZIŃSKI, M. 2025. Growth rate of cave ice based on ¹⁴C dating of fossil bats as a palaeoenvironmental proxy for the last 1300 years in the Western Carpathians. *The Holocene*, 35, 10, 1002–1014. <https://doi.org/10.1177/09596836251350>
- JENK, T. M. – SZIDAT, S. – SCHWIKOWSKI, M. – GÄGGLER, H. W. – WACKER, L. – SYNAL, H. A. – SAURER, M. 2007. Microgram level radiocarbon (¹⁴C) determination on carbonaceous particles in ice. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 259, 1, 518–525. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2007.01.196>
- KERN, Z. 2018. Dating cave ice deposits. In Perşoiu, A. – Lauritzen, S.-E. (Eds.): *Ice caves*. Elsevier, Amsterdam – Oxford – Cambridge, 109–122. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00005-X>
- KERN, Z. – BOČIĆ, N. – SIPOS, G. 2018. Radiocarbon dated vegetal remains from the cave ice deposits of Velebit Mt., Croatia. *Radiocarbon*, 60, Special Issue 5, 1391–1402. <https://doi.org/10.1017/RDC.2018.108>

- KERN, Z. – FÓRIZS, I. – NAGY, B. – KÁZMÉR, M. – GÁL, A. – SZÁNTÓ, Z. – PALCSU, L. – MOLNÁR, M. 2004. Late Holocene environmental changes recorded at Gheșarul de la Focul Viu, Bihor Mountains, Romania. *Theoretical and Applied Karstology*, 17, 51–60.
- KERN, Z. – PALCSU, L. – PAVUZA, R. – MOLNÁR, M. 2018. Age estimates on the deposition of the cave ice block in the Saarlöcher-Höhle-Mammoth Cave (Mammuthöhle, Austria) based on ^2H and ^{14}C . *Radiocarbon*, 60, Special Issue 2, 1379–1389. <https://doi.org/10.1017/RDC.2018.96>
- KERN, Z. – PERȘOIU, A. 2013. Cave ice – the imminent loss of untapped mid-latitude cryospheric palaeoenvironmental archives. *Quaternary Science Reviews*, 67, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.01.008>
- KERN, Z. – PERȘOIU, A. 2022. A Review of Ice Core Drilling in Cave Environment – Challenges, Achievements and Future Directions. *Frontiers in Earth Science*, 9, 720038. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.720038>
- KORZYSTKA, M. – PIASECKI, J. – ZELINKA, J. 2011. Climatic system of the Dobšinská Ice Cave. In Bella, P. – Gažík, P. (Eds.): *Proceedings of the 6th Congress International Show Caves Association, Demänovská Dolina, Slovak Republic, October 18–23, 2010*. Slovak Caves Administration, Liptovský Mikuláš, 85–97.
- LAURITZEN, S. E. – BAASTAD, L. – ENGELEN, J. 2018. Ice Caves in Norway, Fennoscandia and the Arctic. In Perșoiu, A. – Lauritzen, S.-E. (Eds.): *Ice caves*. Elsevier, Amsterdam – Oxford – Cambridge, 237–262. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00023-1>
- LEUNDA, M. – GONZÁLEZ-SAMPÉDRA, P. – GIL-ROMERA, G. – BARTOLOMÉ, M. – BELMONTE-RIBAS, Á. – GÓMEZ-GARCÍA, D. – KALTENRIEDER, P. – MANUEL RUBIALES, J. – SCHWÖRER, C. – TINNER, W. – MORALES-MOLINO, C. – SANCHEZ, C. 2019. Ice cave reveals environmental forcing of LONG-term Pyrenean tree line Dynamics. *Journal of Ecology*, 107, 2, 814–828. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13077>
- LEUTSCHER, M. 2005. Processes in ice caves and their significance for paleoenvironmental reconstructions. *SISKA, La Chaux-de-Fonds*, 154 p.
- LUETSCHER, M. – BOLUS, D. – SCHWIKOWSKI, M. – SCHOTTERER, U. – SMART, P. L. 2007. Comparison of techniques for dating of subsurface ice from Monlesi ice cave, Switzerland. *Journal of Glaciology*, 53, 182, 374–384. <https://doi.org/10.3189/002214307783258503>
- MAIS, K. – PAVUZA, R. 2000. Hinweise zu Höhlenklima und Höhleneis in der Dachstein-Mammothhöhle (Oberösterreich). *Die Höhle*, 51, 4, 121–125.
- MANGERUD, J. – ANDERSEN, S. T. – BERGLUND, B. E. – DONNER, J. J. 1974. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas*, 3, 3, 109–126. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1974.tb00669.x>
- MAVLYUDOV, B. R. 2008. *Oledenenie peščer*. Rossijskaja akademija nauk, Institut geografii, Moskva, 290 s.
- MAY, B. – SPÖTL, C. – WAGENBACH, D. – DUBLYANSKY, Y. – LIEBL, J. 2011. First investigations of an ice core from Eisriesenwelt cave (Austria). *The Cryosphere*, 5, 1, 81–93. <https://doi.org/10.5194/tc-5-81-2011>
- MILOVSKÝ, R. – HONG-CHUN LI – ORVOŠOVÁ, M. – ŠURKA, J. – MILOVSKÁ, S. – OČKAJ, Ľ. – HERICH, P. 2019. 2600-ročný záznam atmosférickej cirkulácie a klímy z Dobšinskej ľadovej jaskyne. In Jurkovič, Ľ. – Slaninka, I. – Kordík, J. (Eds.): *Geochémia 2019. Zborník vedeckých príspevkov z konferencie, Bratislava 3. – 4. 12. 2019*. ŠGÚDŠ, Bratislava, 137–138.
- MILOVSKÝ, R. – ŠURKA, J. – ORVOŠOVÁ, M. – LI, HONG-CHUN – HERICH, P. – OČKAJ, Ľ. – MILOVSKÁ, S. – LUHOVÁ, Ľ. 2020. 2300 years of ice. Abstracts, 9th International Workshop on Ice Caves (IWIC-IX), Liptovský Mikuláš, Slovakia, May 12–15, 2020 (postponed due to the COVID-19 pandemic). *Aragonit*, 25, 1, 49.
- MUNROE, J. S. 2021. First investigation of perennial ice in Winter Wonderland Cave, Uinta Mountains, Utah, USA. *The Cryosphere*, 15, 2, 863–881. <https://doi.org/10.5194/tc-15-863-2021>
- MUNROE, J. S. – O'KEEFE, S. S. – GORIN, A. L. 2018. Chronology, stable isotopes, and glaciochemistry of perennial ice in Strickler Cavern, Idaho, USA. *Geological Society of America Bulletin*, 130, 1–2, 175–192. <https://doi.org/10.1130/B31776.1>
- NOVOTNÝ, L. – TULIS, J. 1996. Výsledky najnovších výskumov v Dobšinskej ľadovej jaskyni. *Slovenský kras*, 34, 139–147.
- NOVOTNÝ, L. – TULIS, J. 2005. *Kras Slovenského raja. Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš – Slovenská speleologická spoločnosť – Knižné centrum, Žilina*, 175 s.
- ONAC, B. P. – PERȘOIU, A. – RACOVITĂ, G. – TÄAMAS, T. – VIEHMANN, I. 2007. Scărișoara Ice Cave and its surroundings. *Studia, Cluj Napoca, Romania*, 88 s.
- ORCHIDAN, T. – NEGREA, Ș. – RACOVITĂ, G. – LASCU, C. 1984. *Peșteri din România: ghid turistic*. Editura Sport-Turism, București, 85–87.
- PERȘOIU, A. 2005. Evidence of basal melting of the ice block from Scărișoara Ice Cave. In Mavlyudov, B. R. (Ed.): *Glacier Caves and Glacial Karst in High Mountains and Polar Regions*. Institute of geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 109–112.
- PERȘOIU, A. – BELLA, P. – ROLL, M. – NOVÁKOVÁ, T. – NAVRÁTIL, T. – ROHOVEC, J. – ŽÁK, K. – PIOTROWSKA, N. 2022. New radiocarbon data completing the spatial distribution of ice ages in the Dobšinská Ice Cave: implications for the ice movement. Abstracts, 9th International Workshop on Ice Caves (IWIC-IX), Liptovský Mikuláš, Slovakia, May 9–13, 2022. *Aragonit*, 27, 1, 35.
- PERȘOIU, A. – ONAC, B. P. 2019. Ice in Caves. In White, W. B. – Culver, D. C. – Pipan, T. (Eds.): *Encyclopedia of Caves (Third Edition)*. Academic Press, 553–558. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814124-3.00066-2>
- PERȘOIU, A. – ONAC, B. P. – WYNN, J. G. – BLAAUW, M. – IONITA, M. – HANSSON, M. 2017. Holocene winter climate variability in Central and Eastern Europe. *Scientific Reports*, 7, 1196. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01397-w>
- PERȘOIU, A. – PAZDUR, A. 2011. Ice genesis and its long-term mass balance and dynamics in Scărișoara Ice Cave, Romania. *The Cryosphere*, 5, 45–53. <https://doi.org/10.5194/tc-5-45-2011>
- PLITSCH, A. – SCHÖRCHOFER, N. – SMITH, S. M. – HOLMGREN, D. 2016. Massive Ice Loss from the Mauna Loa Icecave, Hawaii. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 48, 1, 33–43. <https://doi.org/10.1657/AAAR0014-095>
- PIASECKI, J. – SAWIŃSKI, T. – ZELINKA, J. 2008. The structure of air flow inside the lower part of the Dobšinská Ice Cave (the Underground Floor – Ice Cliff area). *Slovenský kras*, 46, 1, 127–141.
- PIASECKI, J. – ZELINKA, J. – PLITSCH, A. – SAWIŃSKI, T. 2004. Structure of air flow in the upper parts of the Dobšinská Ice Cave. In Bella, P. (Ed.): *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov zo 4. vedeckej konferencie, Tále 5. – 8. 10. 2003*. Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 113–124.
- PUKANSKÁ, K. – BARTOŠ, K. – GAŠINEC, J. – PAŠTEKA, R. – ZAHOREC, P. – PAPČO, J. – BELLA, P. – ANDRÁŠY, E. – DUŠEKOVÁ, L. – BOBÍKOVÁ, D. – KSEŇAK, Ľ. 2024. Methodological approaches to survey complex ice cave environments – the case of Dobšinská (Slovakia). *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1484169. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1484169>
- RACOVITĂ, G. – ONAC, B. P. 2000. Scărișoara Glacier Cave. Monographic study, Editura Carpatia, Cluj-Napoca, 139 s.
- RACHLEWICZ, G. – SZCZUCIŃSKI, W. 2004. Seasonal and decadal ice mass balance changes in the ice cave Jaskinia Lodowa w Ciemniaku, the Tatra Mountains, Poland. *Theoretical and Applied Karstology*, 17, 11–18.
- RACINE, T. M. F. – SPÖTL, C. – REIMER, P. J. – ČÁRGA, J. 2022. Radiocarbon constraints on periods of positive cave ice mass balance during the last millennium, Julian Alps (NW Slovenia). *Radiocarbon*, 64, 2, 333–356. <https://doi.org/10.1017/RDC.2022.26>
- SANCHEZ, C. – BELMONTE, Á. – BARTOLOMÉ, M. – MORENO, A. – LEUNDA, M. – LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. 2018. Middle-to-late Holocene Palaeoenvironmental Reconstruction from the A294 Ice-Cave Record (Central Pyrenees, Northern Spain). *Earth and Planetary Science Letters*, 484, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.12.027>
- SANCHEZ, C. – BELMONTE, Á. – LEUNDA, M. – LUETSCHER, M. – SPÖTL, C. – LÓPEZ-MORENO, J. I. – OLIVA-URCIA, B. – LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. – MORENO, A. – BARTOLOMÉ, M. 2025. Unprecedented cave ice melt in the last 6100 years in the Central Pyrenees (A294 ice cave). *EGU sphere [preprint]*, <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-8>
- SANCHEZ, C. – BELMONTE, A. – LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. – MORENO, A. – BARTOLOMÉ, M. – CALLE, M. – SANTOLARIA, P. 2012. Potencial paleoclimático de la cueva helada A294 (Macizo de Cotiella, Pirineos, Huesca). *Geogaceta*, 52, 101–104.
- SPÖTL, C. – FOHLMEISTER, J. – REIMER, P. – ZHANG, H. 2024. First insights into the age of the giant ice deposits in the Eisriesenwelt cave (Austria). *Scientific Reports*, 14, 11001. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61668-1>
- SPÖTL, C. – JAROSH, H. A. – SAXER, A. – KOLTAI, G. – ZHANG, H. 2023. Thermoelasticity of ice explains widespread damage in dripstone caves during glacial periods. *Scientific Reports*, 6, 13, 7407. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34499-9>
- SPÖTL, C. – REIMER, P. – LUETSCHER, M. 2013. Long-term mass balance of perennial firn and ice in an Alpine cave (Austria): Constraints from radiocarbon-dated wood fragments. *The Holocene*, 24, 2, 165–175. <https://doi.org/10.1177/0959683613515729>
- STOFFEL, M. – LUETSCHER, M. – BOLLSCHEWEILER, M. – SCHLATTER, F. 2009. Evidence of NAO control on subsurface ice accumulation in a 1200 yr old cave-ice sequence, St. Livres ice cave, Switzerland. *Quaternary Research*, 72, 1, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2009.03.002>
- TULIS, J. 1997. Pohyb ľadu v Dobšinskej ľadovej jaskyni. *Aragonit*, 2, 6–7.
- TULIS, J. – NOVOTNÝ, L. 1989. Jaskynný systém Stratskej jaskyne. *Slovenská speleologická spoločnosť, Liptovský Mikuláš*, 459 s.
- TULIS, J. – NOVOTNÝ, L. 1995. Čiastková správa o morfometrických parametroch v základných častiach Dobšinskej ľadovej jaskyne. In Bella, P. (Ed.): *Ochrana ľadových jaskýň. Zborník referátov z odborného seminára, Dobšinská ľadová jaskyňa 21. – 22. 9. 1995*. Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 25–28.
- TULIS, J. – NOVOTNÝ, L. 2003. Zmeny základnenia v Dobšinskej ľadovej jaskyni. *Aragonit*, 8, 7–9.
- YONGE, C. J. – FORD, G. – HORNE, G. – LAURIOL, B. – SCHROEDER, J. 2018. Ice Caves in Canada. In Perșoiu, A. – Lauritzen, S.-E. (Eds.): *Ice caves*. Elsevier, Amsterdam – Oxford – Cambridge, 285–334. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811739-2.00015-2>

KTORÉ FAKTORY OVPLYVŇUJÚ SFARBENIE JASKYNNEJ VÝZDOBY?

Juraj Littva

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

J. Littva: Which factors influence the colour of the cave decorations?

Despite the decade-long international research on the colour of speleothems, its conclusions did not become widespread among the Slovak and Czech speleological communities. This review aims to bridge this gap by providing a state-of-the-art summary of current knowledge of speleothem colour in the Slovak language. For convenience, the speleothem colours are grouped into four (slightly overlapping) colour categories: white tones, warm tones, black tones, and atypical tones. White tones include milky white, snow white, and many off-white colours. The role of light scattering caused by crystal texture and impurities is emphasised as the most important contributor to the white colour, in contrast to the often-repeated emphasis on chemical purity of speleothems. The warm colours include yellows, oranges, reds, and browns. The role of organic (humic) substances as the main cause of warm colours in speleothems is underscored, in contrast to iron oxides and hydroxides, which are typically believed to be the main reason for speleothem colour but are in fact much less common colouring agents. The black tones include black and dark grey, and other shades of black. The three main causes for the dark-toned speleothems are manganese and iron minerals/compounds, black carbon from fires and combustion, and organic compounds (including guano and its products, humic substances, etc.). The atypical colours include mostly greens, blues, pinks, and purples. These are predominantly caused by metallic trace elements that either directly substitute for the calcium in the calcite/aragonite crystal lattice or are present in other strongly coloured minerals, which can impart their colour to the speleothems. Other, less common causes of speleothem colour, such as sediment incorporated into speleothems, are also discussed, as are some very rare colouring agents, such as microorganisms, which are briefly mentioned. The text also discusses differences in the rates of incorporation of humic substances and various trace elements into calcite and aragonite, and the resulting colour differences in the calcite/aragonite speleothems.

Finally, the research for this review introduced the author to the works of Wells (1852; plus researchers mentioned in this work – Jackson, Hayes, Lawrence Smith, and Emmons) and Vitásek (1938a, b, 1940). The mentioned researchers describe the role of humic substances in speleothem colouring long before the classical works published in the 1970s and 1980s; therefore, they can be considered as prior independent discoveries. However, these works did not find wider recognition, except for a few publications in the Czech language. The possible reasons for this, along with some of the citing works, are discussed.

Keywords: speleothems, colour, humic substances, trace elements, black carbon, inorganic pigments, organic pigments, microorganisms

ÚVOD

Sintrové útvary v jaskyniach pútajú pozornosť návštevníkov nielen svojimi fascinujúcimi tvarmi, ale aj svojím pestrým sfarbením. Sfarbeniu sintrovej výzdoby sa venujú zároveň aj sprievodné slová k jaskyniam, ale i mnohé slovenské a české texty o jaskyniach, s ktorými sa dnes bežný užívateľ stretáva na internete a v médiách. V týchto textoch je biela farba obyčajne považovaná za odraz chemickej čistoty sintrov, kým odtiene žltej, oranžovej, červenej a hnedej sú pripisované prítomnosti zlúčenín železa. A napokon sfarbenie do siva až čierna sa považuje za výsledok prítomnosti zlúčenín mangánu, prípadne sadzí z pochodní a ohnísk. Bohužiaľ, tieto tvrdenia neodrážajú novšie poznatky o sfarbení sintrov, prezentované v zahraničnej literatúre už na konci minulého storočia (zhrnuté v prácach White, 1981, 1997; Hill, 1982; Dechamps, 2024). Následkom toho sa príčiny sfarbenia výzdoby v jaskyniach zahraničia (Phillips a Larsen, red., 2025) vysvetľujú inak, než na území Slovenskej a Českej republiky. Za hlavnú príčinu tohto stavu považujem to, že spomínané príspevky o sfarbení kvapľov sú písané v odbornej angličtine, ktorá nemusí byť zrozumiteľná pre mnohých členov slovenskej i českej jaskyniarскеj komunity. Hlavným úmyslom tohto príspevku je predstaviť súčasný stav poznatkov týkajúcich sa príčin sfarbenia sintrovej výzdoby jaskýň, a to nielen odborníkom, ale i nevedcom zaujímajúcim sa o jaskyne.

Vzhľadom na svoje zameranie sa článok zaoberá predovšetkým sfarbením najbežnejších foriem sintrovej výzdoby tvorených kalcitom a aragonitom. Iné minerály sú spomínané iba ako zafarbujuce prímеси, ktoré sa v malých množstvách môžu vyskytovať v jaskyniach a v článku ich spomínam len okrajovo.

Hlavné príčiny sfarbenia sintrovej výzdoby možno zjednodušene zosumarizovať takto:

1. Sintrovú výzdobu najčastejšie tvoria kryštály kalcitu a aragonitu. **Chemicky najčistejšie a najdokonalejšie kryštály kalcitu/aragonitu sú na rozdiel od sintrovej výzdoby bezfarebné a priehľadné** (podobne ako číry ľad).
2. **Biele tóny sintrov** nie sú zapríčinené ich chemickou čistotou, ale ich **fyzikálnou štruktúrou**. Ich sfarbenie do biela spôsobuje rovnomerný rozptyl svetla na drobných puklinách, bublinkách a nečistotách (podobne ako pri zakalenom – bielom ľade), prípadne na drobných kryštálikoch, ich rozhraniach a medzikryštálových priestoroch (podobne ako v prípade snehu alebo námrazy).
3. **Žlté, oranžové, červené až hnedé odtiene** sú najčastejšie zapríčinené prítomnosťou organických pôdných zlúčenín nazývaných **humínové látky**. Tie vznikajú v pôde pri rozklade organickej hmoty rastlinného pôvodu. Zlúčeniny železa môžu sintre zafarbovať do červených až oranžových odtieňov; takéto sfarbenie je však oveľa zriedkavejšie. Do podobných farebných

odtieňov môžu sintre farbiť i zložky jaskynných sedimentov (medzi ktoré patria i zlúčeniny železa). Sfarbenie sintrov sedimentmi je však obyčajne dosť nápadné.

4. **Čierne, tmavosivé a čiernohnedé sfarbenie** sintrov môže byť zapríčinené zlúčeninami mangánu a železa, čiernym uhlíkom (teda produkty horenia, ako sadze, popol, dechty), organickými látkami (humínovými látkami, guanom a jeho derivátmi), mikroorganizmami, ale aj sedimentmi.

5. Atypická farba sintrov – **zelená, modrá, ružová, fialová a iné** – je najčastejšie zapríčinená prímесou stopového množstva **kovových prvkov** v štruktúre kalcitu alebo aragonitu (napríklad zelená farba kalcitu zapríčinená prítomnosťou medi v jeho kryštálovej štruktúre) alebo prímесou pre jaskyne menej častých **farebných minerálov** (napríklad sintre sfarbené do zelena prímесou malachitu).

Aby som sa vyhol zdlhavým formuláciami pri vymenovávaní jednotlivých farieb, zoskupil som navzájom súvisiace farby sintrových útvarov do štyroch hlavných kategórií: 1. biele tóny, 2. teplé farby, 3. čierne tóny a 4. atypické farby. Pre lepšiu čitateľnosť aj pre neodborníkov sa na začiatku každej kapitoly nachádza zjednodučené zhrnutie príčin sfarbenia sintrov, po ktorom nasledujú podrobnosti s detailnejšími opismi, vysvetleniami a odkazmi na literatúru. Kvôli kontextu bolo nutné pred diskusiu o jednotlivých farbách pridať tiež kapitolu o priehľadnosti a prievitnosti materiálov, hoci

nič také ako „priehľadná a priesvitná farba“ neexistuje. Sintre svetlých farieb, medzi ktoré boli zahrnuté sintre sfarbené do odtieňov bielej, sa vyskytujú prakticky v každej jaskyni s výzdobou. Sintre sfarbené v rôznych odtieňoch béžovej, žltej, oranžovej, červenej a hnedej som zahrnul do kategórie teplých farieb. V jaskyniach sú pomerne bežné – azda najznámejším príkladom je Demänovská jaskyňa slobody. Do kategórie čiernych tónov som zaradil sintre sfarbené do siva až čierneho a do iných odtieňov čiernej, napríklad čierneho. Čierne tóny sintrov sú zriedkavé, ale nie výnimočné; vyskytujú sa napríklad v jaskyni Domica alebo Demänovskej ľadovej jaskyni. Do atypických farieb som zaradil odtiene modrej, zelenej, fialovej, ružovej a iných farieb, ktoré sa v jaskyniach vyskytujú len zriedka. Na území Slovenska je touto farbou výzdoby známa napríklad Modrá jaskyňa pri Malužinej. Samozrejme, ide o umelo vytvorené kategórie, a preto sa hranice medzi nimi prelínajú. Diskusia o príčinách niektorých farieb tak presahuje viacero kapitol, na čo v takých prípadoch patrične upozorňujem.

Počas rešerše literatúry sa mi podarilo zistiť, že František Vitásek sa venoval i otázke sfarbenia sintrov z Demänovskej jaskyne slobody, pričom v spolupráci s ďalšími odborníkmi zistil, že za sfarbenie sú zodpovedné humínové látky (Vitásek, 1938a, b, 1940). Objasnil tak príčiny vzniku tohto typu sfarbenia sintrov o zhruba štyridsať rokov skôr než výskumníci na západe (Gascoyne, 1977; White, 1981, 1984, 1986, 1997; Lauritzen et al., 1986). Vitásek nebol prvý, kto opísal vzťah medzi humínovými látkami a sfarbením kvapľov. V značne staršej práci Wells (1852) totiž dospel k rovnakému záveru, pričom vyslovene spomína ďalších štyroch výskumníkov, ktorí na tento vzťah prišli pred ním. Vitáskovo poznatok sa na rozdiel od starších prác čiastočne rozšíril v speleologickej literatúre i do populárno-náučných textov. Bohužiaľ, neprekročil hranice Česka – neprenikol ani len do slovenských textov a zdá sa, že postupne sa vytratil z kolektívnej pamäti. S trochou zveličenia teda možno povedať, že predkladány článok nie je pre slovenskú a českú jaskyniarsku komunitu novátorstvom, ale skôr návratom k zabudnutej tradícii, ktorú etabloval český výskumník na základe štúdia sintrov zo slovenskej jaskyne. Obdobná situácia nastala i pri novátorskej práci Zdeňka Rotha (1937) o stropných korytách a paragenéze, a to i napriek tomu, že jeho článok obsahoval rozsiahly súhrn vo francúzštine (pozri Bella a Bosák, 2015).

SFARBENIE SINTROVEJ VÝZDOBY

PRIEHĽADNOSŤ A PRIESVITNOSŤ

Hoci v hovorovej reči sú výrazy „priehľadné“ a „priesvitné“ voľne zameniteľné, z hľadiska optických vlastností materiálov ide o dva odlišné pojmy. **Priehľadné** materiály cez seba prepúšťajú väčšinu dopadajúceho svetla, vďaka čomu **môžeme cez ne jasne vidieť** (napríklad sklo alebo voda). V kontraste s tým v **priesvitných** materiáloch sa značná časť svetla rozptýli, preto **cez ne vidíme nejasne alebo vôbec a preniká cez ne iba svetlo zo silných svietidiel** (obr. 1A, B). Pravdaže, pries-

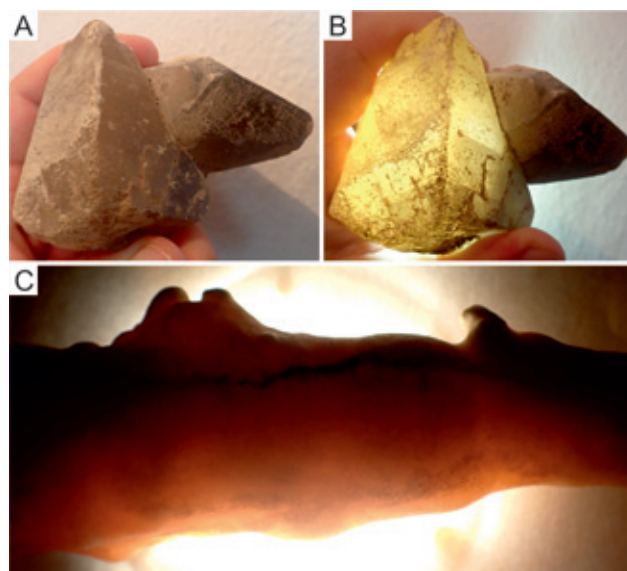
vitnosť materiálu závisí i od jeho hrúbky, no tento problém učebné texty riešia tým, že za nepriesvitné (odborne opakné) považujú iba také minerály, ktoré neprepúšťajú svetlo ani cez tenké hrany (pozri napr. Klein, 2006, s. 25). Za priesvitné tak považujeme nielen mliečne sklo, papier, prekvapivo aj plasty, porcelán, a dokonca i sintrovú výzdobu (obr. 1C).

Sintre sú priesvitné a spravidla sfarbené do bielych tónov, kým chemicky čisté dokonale kryštály kalcitu a aragonitu sú priehľadné a bezfarebné (White, 1997), i keď aragonit môže byť prirodzene i slabomodrastý. Priehľadné kalcitové/aragonitové sintre sú vzácné a zvyčajne ide o malé útvary, napríklad brká alebo tenké náteky; navyše miera ich priehľadnosti je často diskutabilná (obr. 2A, B). Ďalším prípadom môžu byť tiež útvary tvorené veľkými kryštálmi – teda hrubokryštalické až monokryštalické formy výzdoby. Bezfarebné sintrové útvary boli opísané napríklad v jaskyniach objavených západne od portálu tunela Čebrať pri výstavbe diaľnice D1 (Littva et al., 2023). Priesvitnosť sintrov paradoxne zohráva úlohu aj pri ich výslednom sfarbení, pretože sintrové útvary sú nezriedka tvorené rôznofarebnými vrstvičkami. Napríklad kvapel' sa môže javiť ako svetlosivý, ak je tvorený čiernym jadrom a pokrytý dostatočne priesvitnou vrstvičkou bieleho sintra.

Kalcity i aragonity sú v prírode obvyčajne priesvitné; priehľadné formy sú zriedkavejšie, no nie extrémne vzácné. V kontraste s tým je väčšina sintrov iba priesvitná a priehľadné sintre sú neobvyčajne vzácné. Príčina týchto rozdielov medzi kalcitmi/aragonitmi a ich sintrami sa skrýva v mikroštruktúre sintrov.

TÓNY BIELEJ

Hoci sa biela farba považuje za dôkaz chemickej čistoty sintrov, ich biela farba má v skutočnosti svoj pôvod vo fyzikálnych, nie chemických faktoroch. Ako príklad na objasnenie tejto problematiky môže poslúžiť ľad, ktorý je niekedy bezfarebný a priehľadný, inokedy zas mliečnobiely a priesvitný (obr. 2C). Zakalený vzhľad ľadu spôsobuje **rovnorný rozptyl prenikajúceho svetla** na drobných nečistotách (vzduchové bublinky a iné uzavreniny/inklúzie), ako aj nedokonalostiach (puklinky, škranice). Množstvo nečistôt a nedokonalostí je najčastejšie dané rýchlosťou mrazenia ľadu a/alebo obsahom nečistôt vo vode. Všeobecne platí, že čím je rýchlosť rastu útvarov vyššia a stabilita podmienok pri raste premenlivejšia, tým viac nedokonalostí sa v útvaru bude vyskytovať a tým zakalenejší bude jeho vzhľad (obr. 2C). Podobným spôsobom možno vysvetliť aj existenciu sintrových útvarov s premenlivou čírosťou, obzvlášť u takých, ktoré svojím



Obr. 1. Demonštrácia priesvitnosti kalcitového kryštálu a sintrového útvaru. A – nepresvietený kalcitový kryštál; B – presvietený kalcitový kryštál; C – presvietený stalaktit. Foto: autor

Fig. 1. Demonstration of translucency for some materials. A – non-backlit calcite crystal; B – backlit calcite crystal; C – backlit stalactite. Photos: author

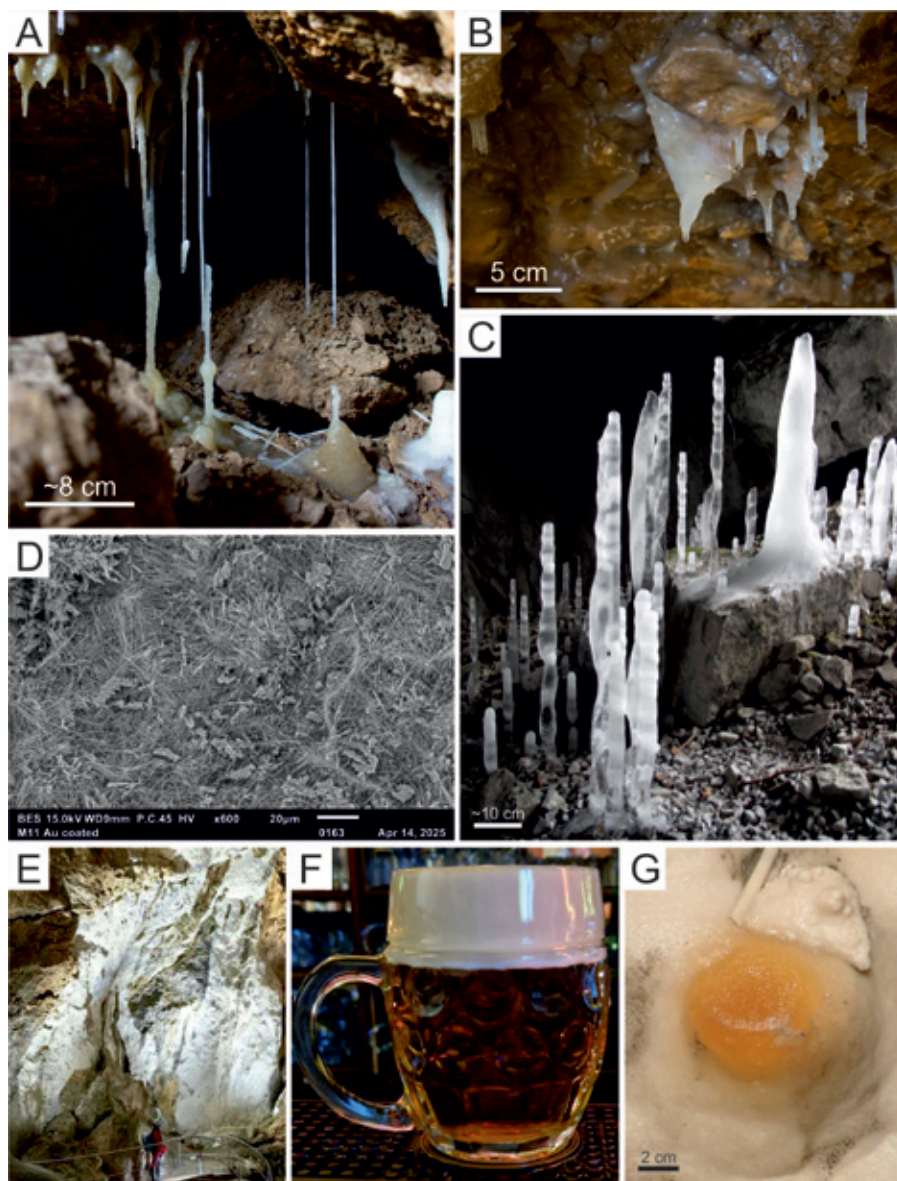
vzhľadom pripomínajú zakalený ľad (obr. 2A, B). Obdobne vysvetľoval rozdiely v sfarbení kvapľov napríklad Jakucs (1962), ktorý porovnal chemizmus dvoch vzoriek sintrov z jaskyne Béke (Maďarsko) – jednej sklovitej a priehľadnej, druhej mliečnobiely. Keďže oba útvary mali veľmi podobné chemické zloženie, konštatoval, že za rozdiely v ich sfarbení je zodpovedný rozptyl svetla, ku ktorému dochádza na kryštálových rozhraniach, nečistotách, bublinkách a kvapalných uzavreninách.

Hoci sú sneh a ľad z chemického hľadiska totožnými látkami, svojím vzhľadom sa výrazne líšia, za čo takisto môžu odlišnosti v ich mikroštruktúre. Typická farba snehu je zapríčinená rozptýlením svetla na jeho zložitej vnútornej štruktúre, tvorenej drobnými všesmerne orientovanými kryštálkami ľadu s hojnými medzikryštálovými priestormi. Obdobným mechanizmom vysvetľoval sfarbenie sintrov Zdeněk Král (Král, 1971, 1975), syn Aloisa Krála, objaviteľa Demänovskej jaskyne slobody. Ten analyzoval chemizmus vzoriek rôzne sfarbených sintrov z Demänovskej jaskyne slobody, Stanišovskej jaskyne, Beníkovej a Sucheň jaskyne. Snehovobiely mäkký sinter z Rázcestia v Demänovskej jaskyni slobody obsahoval desať až stokrát viac železa než iné farebné sintre. Tiež skúmal mäkké sintre v elektrónovom mikroskope a postrehol podobnosti v mikroštruktúre sintra a snehu – sú tvorené drobnými kryštálkami a početnými otvorenými medzikryštálovými priestormi (obr. 2D). Na základe toho Král (1971, 1975) pripísal snehovobiele sfarbenie mäkkého sintra jeho štruktúre. Vzájomná podobnosť mikroštruktúry mäkkých sintrov a snehu spôsobuje, že mäkké sintre svojou farbou i celkovým vzhľadom pripomínajú sneh (obr. 2E). Král (1971) sa tiež domnieval, že veľkosť a usporiadanie kryštálov majú podobný vplyv i na farbu pevných sintrov. Kompaktnejšie sintre tvorené väčšími a vedľa seba usporiadanými kryštálmi budú podľa neho sfarbené, kým sintre tvorené drobnými kryštálkami s malým množstvom vzájomných styčných plôch budú belšie.

Zmena pôvodne výrazného zafarbenia pôvodnej látky do biela následkom zmien štruktúry vôbec nie je zriedkavým javom. Náznorným príkladom je pivo, ktoré má sice žltohnedú farbu, avšak jeho pena má bielu farbu, spôsobenú rozptylom svetla na drobných bublinkách (obr. 2H). Podobný jav bol pozorovaný na stalagmitoch typu „volského oka“ – nízkych útvaroch so žltými stredmi a bielymi okrajmi (obr. 2G). Ich žltý stred tvoria kompaktné kryštáliky kalcitu s jednoduchými a priamymi styčnými plochami a malým množstvom inklúzií (Beck, 1976, 1978), ktoré sú paralelou bubliniek v pive. Na bielych okrajoch sú kryštáliky porézne a majú komplikované styčné kryštálové plochy (Beck, 1976, 1978), teda obsahujú veľké množstvo „bubliniek“, ktoré spôsobujú rozptyl svetla. Hoci teda tieto útvary výzorom pripomínajú volské oká, príčiny ich sfarbenia sú skôr porovnateľnejšie s pivom.

Tóny bielej následkom defektov v mikroštruktúre sa môžu objavovať aj pri takých sintroch, ktoré by za normálnych okolností boli výrazne zafarbené. Tento jav bol doložený nielen Králom (1971, 1975) a Beckom (1976, 1978), ale aj v neskorších prácach. Súvis bielej farby s prítomnosťou fluidných inklúzií (uzavrenín) a bubliniek sa zistil v sintroch z jaskýň Guadalupejských hôr (USA, Nové Mexiko a Texas; Polyak, 1992). Aj sintrové útvary narastené v tuneli v Belgicku obsahovali belšie porézne vrstvičky a farbené kompaktné vrstvičky (Genty, 1992; Genty et al., 1997). Jeong et al. (2003) v hnedých sintroch z jaskyne Sungryu (Južná Kórea) zdokumentovali výskyt zakalených svetlosivých vrstvičiek s hojnými mikropórmami. Vplyv mikroštruktúry bol pozorovaný i v zelenomodrých aragonitových sintroch zafarbených meďou v jaskyni Basajaún Etxea (Španielsko; Martín-García et al., 2014). Napriek tomu, že vrstvičky sintra obsahovali takmer rovnaké množstvo medi, ich farba sa menila od zelenej cez tyrkysovú až po bielu v závislosti od typu a zrejme aj veľkosti kryštálov, ktoré ich tvorili (Martín-García et al., 2014). V tých vrstvičkách, ktoré svojou mikroštruktúrou zapríčiňovali výraznejší rozptyl svetla, sa objavovali svetlejšie odtiene zelenomodrej, prípadne až biela farba.

Ďalším, v súčasnosti čiastočne otvoreným dôvodom bieleho sfarbenia sintrov môže byť ich aragonitový charakter. Ako bude diskutované i v neskorších kapitolách, aragonit sa vďaka svojej odlišnej kryštálovej štruktúre v prítomnosti niektorých farbív správa inak ako kalcit. Vzniká často v špecifických prostrediach a podmienkach, ktoré môžu byť spojené s odlišným prísunom vody aj látok nadložnej horniny a pôdy. Aragonit má tiež odlišnú kryštálovú štruktúru ako kalcit – vytvára jemné ihličky alebo vlákna, ktoré rýchlo kryštalizujú, následkom čoho môžu v menšej miere inkorporovať humínové látky. Navyše tenké ihličkovité kryštáliky aragonitu, často i s jemne pórovitou štruktúrou, môžu ľahšie rozptyľovať svetlo, následkom čoho sa môžu javiť ako belšie než väčšie klenčovitité kryštáliky kalcitu. Výskyt bielych aragonitových útvarov v tesnej blízkosti kalcitových foriem výrazne sfarbených humínovými látkami bol zaznamenaný v jaskyni Carroll Cave (USA; obr. 228 vo White, 1997) a jaskyni El Soplao



Obr. 2. Ilustrácia fenoménov vedúcich k vzniku bieleho zafarbenia výzdoby jaskýň. A – priesvitné útvary v jaskyni Hrboltová-1; B – materská hornina jaskyne viditeľná pod priehľadným nátekom, ktorý obklopuje biele útvary v jaskyni Hrboltová-1; C – priesvitné a čiastočne priehľadné ľadové útvary vo vchode Suchej jaskyne; D – fotografia mäkkého sintra z Demänovskej jaskyne mieru pod elektrónovým mikroskopom poukazujúca na podobnosti v mikroštruktúre mäkkého sintra a snehu (malé všesmerne orientované kryštáliky s hojnými medzikryštálovými priestormi); E – mäkký sinter so zreteľným „snehovitým“ vzhľadom vo Veľkom dome v Demänovskej jaskyni slobody; F – farebné rozdiely medzi pivom a jeho penou nespôsobené chemickými, ale štrukturálnymi rozdielmi; G – ako pre obrázok F, ale pre stred a okraje stalagmitu typu „volského oka“ z Demänovskej jaskyne slobody. Foto: A, B – Pavol Staník, C – Pavel Bella, D, G – autor, D – Andrea Martín-Pérez, E – Primož Jakopin, F – Karel z PPT

Fig. 2. Illustration of the phenomena leading to the white colouration of cave decorations. A – translucent forms in Hrboltová-1 Cave, photo; B – cave host rock visible underneath the transparent coating, which surrounds the white forms in Hrboltová-1 Cave; C – translucent and partially transparent ice formations in the entrance of the Suchá Cave; D – the scanning electron microscope photograph of moonmilk from Demänovská Cave of Peace revealing the similarities between the microstructure of the moonmilk and the snow (small omnidirectional crystals with abundant intercrystalline spaces); E – moonmilk with a distinct 'snowy' appearance in the Veľký dóm Chamber in Demänovská Cave of Liberty; F – colour differences between the beer and its foam caused not by their chemical but structural differences; G – as in figure F but for a centre and margins of 'fried egg' stalagmite from Demänovská cave of Liberty. Photos: A, B – Pavol Staník, C – Pavel Bella, D, G – author, D – Andrea Martín-Pérez, E – Primož Jakopin, F – Karel from PPT

(Španielsko; Gázquez et al., 2012). V druhej menovanej jaskyni aragonitové sintre dokonca tvorili biele jadrá vo výrazne sfarbených kalcitových stalaktitoch (obr. 2D, E v Gázquez et al., 2012). Podobné tvrdenie, ale bez špecifických príkladov, sa objavuje i v súhrne Rowlinga (2004). White (1997) sa domnieval, že aragonitové formy na rozdiel od kalcitových sintrov do seba neinkorporujú humínové látky a preto nie sú nimi zafarbené. V odbornej lite-

ratúre bol zdokumentovaný minimálne jeden prípad, keď aragonit v sintri humínové látky neinkorporoval, kým kalcit áno (obr. 4B vo Frisia et al., 2018). Na druhej strane pomerne rozsiahly súbor prác Yavora Shopova (zhrnuté v práci Shopov, 2006, tab. 1) i práca Wellsa (1852) dokladajú, že aragonit obsahuje aj humínové látky. Aj v aragonitových schránkach koralov bola preukázaná prítomnosť humínových látok (Ramseyer et al., 1997; Kaushal et

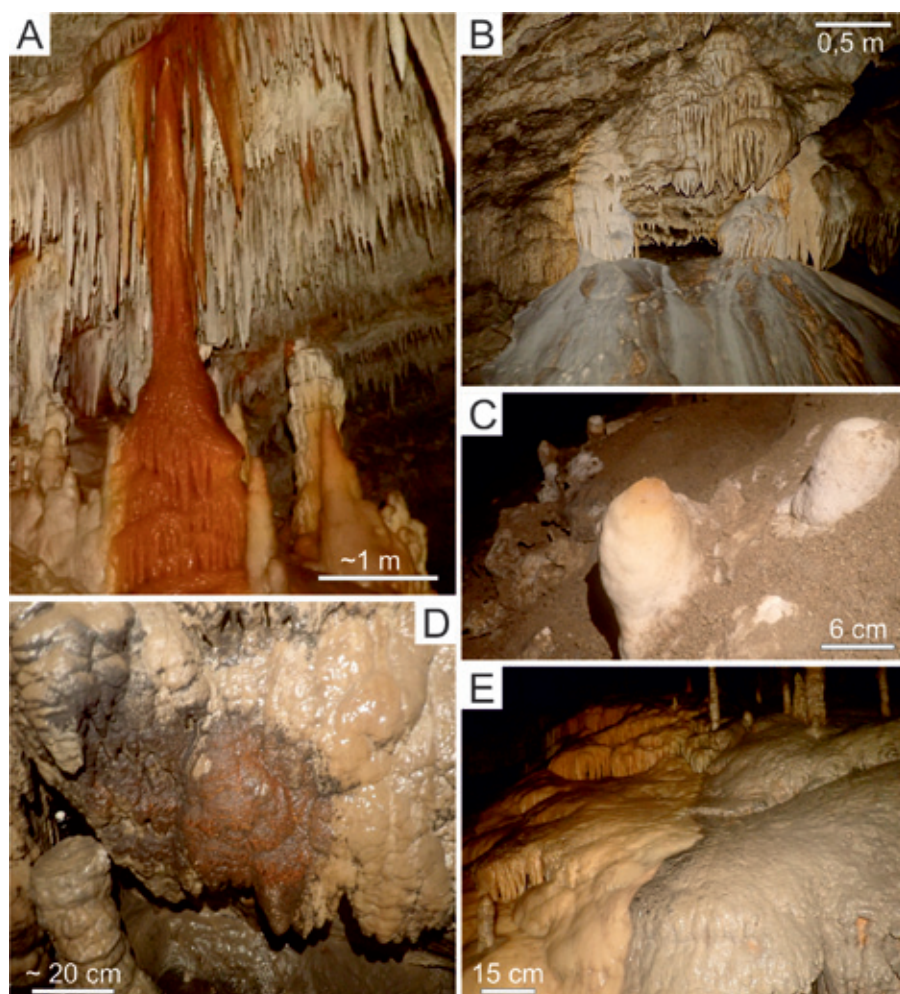
al., 2020 a iné). Avšak moja rešerš literatúry nevedla k získaniu publikácií, ktoré by opísali prípady, keď humínové látky koralové schránky zafarbovali. Tento nesúlad by azda išlo vysvetliť tak, že organické látky sa síce do aragonitových sintrov zabudovávajú, avšak pre ich kryštalovú štruktúru k tomu dochádza vo veľmi obmedzenej miere. Takýto záver vyvodili na základe pozorovaní Ramseyera et al. (1997) i Gázquez et al. (2012). Nízka koncentrácia humínových látok v aragonitových útvaroch by tak mohla vysvetľovať ich chýbajúce sfarbenie.

K týmto záverom je však nutné pristupovať veľmi opatrne, pretože vzájomný vzťah sfarbenia aragonitových sintrov a humínových látok v súčasnosti nie je dostatočne preskúmaný. Farebné zmeny vo vedľa seba vystupujúcich sintrových útvaroch nie sú v jaskyniach zriedkavým javom. Tesne vedľa seba rastúce sintrové útvary môžu byť zasobované vodou z rôznych prívodných ciest (Perrette, 2000; van Beynen et al., 2001; Brennan a White, 2013 a iné), následkom čoho sa môžu farebne líšiť (obr. 3A). V iných prípadoch sa vlastnosti priesakovej vody menia v čase, čo sa prejavuje zmenami sfarbenia mladších vrstiev sintrov (obr. 3B). Ako bolo ukázané pri stalagmitoch typu „volského oka“ (obr. 2G), farba sa dokonca tiež môže meniť i v rôznych častiach toho istého útvaru dôsledkom zmien v mikroštruktúre sintra (obr. 3C). Pri súčasnom stave poznatkov tak ostáva fyzikálna mikroštruktúra sintrov najlepším vysvetlením ich bielych farebných tónov. Ak sa v jaskyni vyskytujú útvary zafarbené humínovými látkami, uprostred ktorých vystupuje biely sintrový útvar, nemožno automaticky predpokladať, že je tvorený aragonitom. Biela farba sintra je nanajvýš smerodajnou indíciou na podrobnejšie mineralogické analýzy, pretože iba tie dokážu jednoznačne potvrdiť jeho aragonitové zloženie.

TEPLÉ FARBY

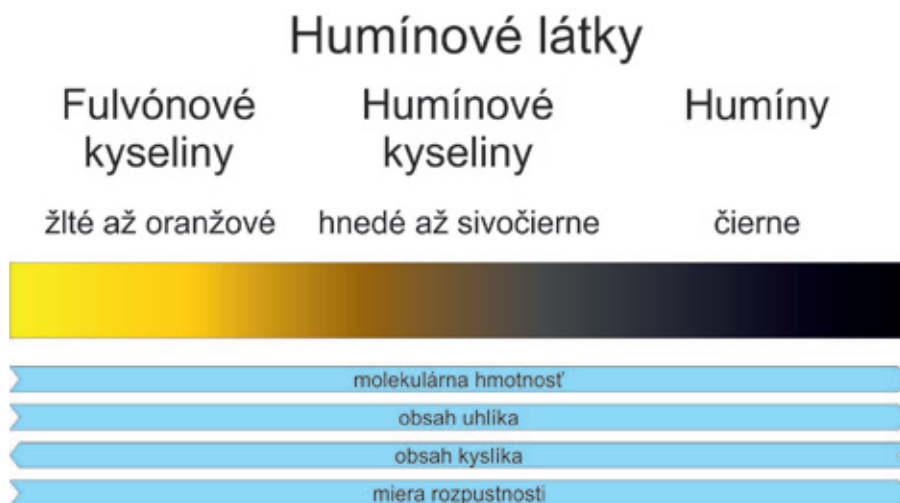
Hlavnou príčinou sfarbenia sintrov do odtieňov žltej, oranžovej, červenej až hnedej nie sú zlúčeniny železa, ale organické zlúčeniny zvané **humínové** (niekedy aj „humusové“) **látky**. Ide o súbor látok, ktorý vzniká rozkladnými procesmi organickej hmoty, predovšetkým rastlinných zvyškov, a je významnou zložkou pôdy. Ich zafarbenie sa pohybuje od odtieňov žltej a oranžovej cez hnedú po sivú až po čiernu, v závislosti od toho, o ktorú konkrétnu skupinu humínových látok ide (obr. 4).

Tvrdenie, že sintrové útvary nie sú zafarbené železom, ale humínovými látkami, sa javí ako neintuitívne až nelogické. Zlúčeniny železa sa ako pigmenty využívajú už odepamäti a ich využitie je zdokumentované na pravekých jaskynných maľbách (Gázquez et al., 2017 a iné). Ako farbivá sa hojne využívajú v maliarstve, textilnom priemysle či potravinárstve. Minerály oxidov a hydroxidov železa sú známe svojou žltou, červenou a hnedou farbou, pričom túto farbu nezriedka prepožičiavajú sedimentom a sedimentárnym horninám, v ktorých sa vyskytujú. Oxidy a hydroxidy železa sa veľmi často prirodzene vyskytujú spolu s kalcitom i aragonitom vo vápencoch, dolomitoch i ďalších krasových horninách. Naproti tomu humínové látky sa využívajú predovšetkým ako hnojivá, len zriedka ako farbivá a ešte zriedkavejšie sa



Obr. 3. Príklady sintrovej výzdoby sfarbenej do teplých farieb. A – výskyt rôznofarebných sintrových útvarov pravdepodobne podmienený rozdielmi v ich prívodných vodách; B – rôznofarebnosť sintrových útvarov zapríčinená ukladaním sa inak sfarbenej mladšej generácie sintrov; C – odlišná farba na vrchnej časti a zvyšku stalagmitu spôsobená mikroštruktúrnymi rozdielmi; D – „hrdzavý“ nátek tvorený oxidmi a hydroxidmi železa; E – sintrové útvary zafarbené humínovými látkami (vľavo) a jaskynnými sedimentmi (vpravo). Všetky fotografie sú z Demänovskej jaskyne slobody, foto: autor

Fig. 3. The examples of cave decorations coloured in warm colours. A – the occurrence of variously coloured cave formations likely caused by the differences in their supply waters, Demänovská Cave of Liberty; B – the colour variety of cave formations caused by the deposition of a differently coloured younger generation, Demänovská Cave of Liberty; C – different colour at the top and the rest of the stalagmite due to microstructural differences, Demänovská Cave of Liberty; D – ‘rusty coating’ composed of iron oxides and hydroxides; E – cave decorations coloured by humic substances (left) and cave sediments (right). All photos are from Demänovská Cave of Liberty. Photos: author



Obr. 4. Zjednodušený prehľad delenia farieb a ďalších vybraných vlastností humínových látok (vytvorený na základe obrázkov zo Stevenson, 1994, obr. 2.4; a Weber [online]).

Fig. 4. Simplified overview of the classification of colours and other selected properties of humic substances (based on figures of Stevenson, 1994, Fig. 2.4; and Weber [online]).

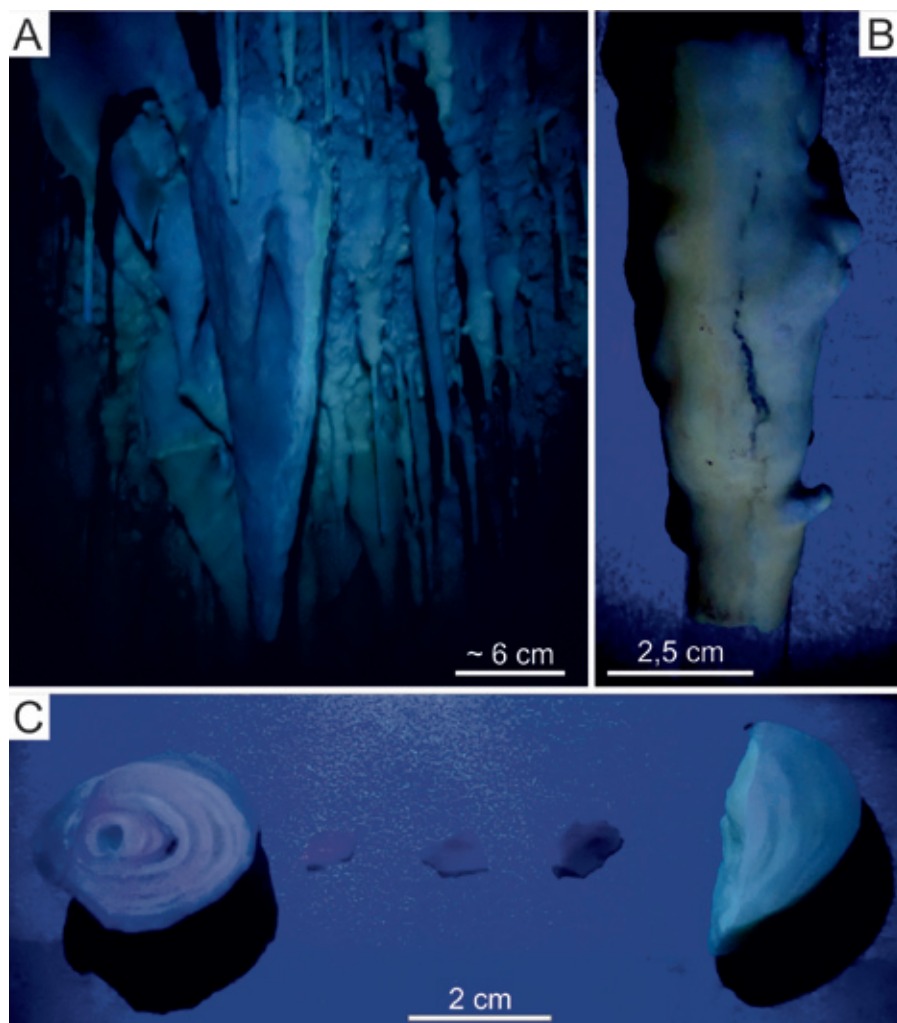
spájajú so sfarbením hornín a minerálov. V porovnaní so železom, ktoré sa vyskytuje takmer vo všetkých typoch hornín, sa humínové látky vyskytujú iba v sedimentoch alebo plytko pochovaných sedimentárnych horninách (Ramseyer et al., 1997; Gázquez et al., 2012 a in.). Preto je celkom pochopiteľné, že pripisovanie sfarbenia sintrovej výzdoby humínovým látkam sa môže zdať kontroverzné. Hlavná úloha humínových látok pri sfarbení sintrových útvarov je však podporená roky zhromažďovaným a overovaným súborom dôkazov.

Prvotné práce zaoberajúce sa chemickými a mineralogickými analýzami sintrov s cieľom objasniť ich sfarbenia do žltá, oranžová, červená a hnedá realizovali Wells (1852) a neskôr Vitásek (1938a, b, 1940). Wells (1852) analyzoval rôzne sfarbené kvapľové útvary z jaskýň USA, Malty, Sandwichových ostrovov a Terstu (Taliansko) pomocou chemických analýz, pričom v nich preukázal prítomnosť humínových látok. Prítomnosť železa v skúmaných kvapľoch nezistil, z čoho vyvodil záver, že za ich farbu sú zodpovedné humínové látky (Wells, 1852). Pre takto sfarbené útvary (respektíve kalcitové a aragonitové minerály) zaviedol termín *crenite*, odvodený od anglického názvu jednej z humínových látok – kyseliny krérovej (*crenic acid*). Aj Vitáskom publikované výsledky analýz sintrov z Demänovskej jaskyne slobody nepreukázali, že by sa vrstvičky belších a farebnejších sintrov líšili obsahom železa alebo iných anorganických zlúčením (Vitásek, 1938a, 1940). Zato sa líšili obsahom organických humínových látok, na základe čoho Vitásek zodpovednosť za sfarbenie sintrov pripísal práve humínovým látkam (Vitásek, 1938a, b, 1940). Neskôr však Vitásek pripustil aj rolu železa vo sfarbení kvapľov, a to na základe analýz priesakových vôd z Demänovskej jaskyne slobody a analýzy zafarbených sintrov z Javoríckych jaskýň (Vitásek, 1951). Bohužiaľ, ani jedna z vyššie spomínaných prác nenašla v medzinárodnej odbornej komunite väčší ohlas a postupne upadli do zabudnutia.

Nasledujúcu fázu výskumu reprezentuje niekoľko prác, ktorých autori sa vzájomne citovali len sriedmo, z čoho sa dá usúdiť, že išlo o viac-menej izolované práce s limitovaným dosahom. Práce pripisovali sfarbenie sintrov zlúčeninám železa, mali však problém so systematickými nezrovnalosťami medzi intenzitou sfarbenia sintrov a obsahom železa. Pályi (1959) v hnedých až oranžových sintroch z jaskýň Baradla a Vass Imre (Maďarsko) zistil prítomnosť železa, no nezaznamenal vzťah medzi intenzitou farby a množstvom železa. Neskôr (Pályi, 1960) vyslovil domnienku, že humínové látky by mohli napomáhať pri migrácii iónov železa a mangánu do jaskyne. Jakucs (1962) preukázal prítomnosť železa v žltých, oranžových a hnedých sintroch z jaskýň Béke a Baradla. No v ružových, červených až karmínových sintroch jeho prítomnosť nezistil a ich farbu čiastočne vysvetľoval prítomnosťou mangánu. Tiež zistil, že vyššie obsahy železa sprevádzali zvýšené množstvá hliníka a kremíka, ktoré sú bežnou súčasťou jaskynných sedimentov. Z toho vyplývalo, že hlavným farbivom je prímies sedimentov a železo v ňom vystupuje iba ako jedna z jeho zložiek. Rovnaký súvis železa a sedimentov sa zistil i v sintroch z jaskyne Vass Imre (Pályi, 1962),

ako aj v sintroch z jaskýň Slovenska, Česka, Bulharska, Maďarska a Nemecka (Vytřas a Vytřasová, 1975a, b). Preto Vytřas a Vytřasová (1975a, b) usúdili, že železo je spolu s ostatnými nečistotami prítomné v podobe sintrom presýtených sedimentov, ktoré sintrom prepochičávajú svoju farbu. Nesúlad medzi množstvom železa a intenzitou sfarbenia zistil aj Král (1971, 1975) a vysvetľoval ho odlišnosťami v mikroštruktúre sintrov (podrobne vysvetlené v predošlej kapitole **Tóny bielej**). Vytřas a Vytřasová (1975a, b) okrem sintrov analyzovali aj vápence, pričom zistili, že obsah železa v červených vápencoch sa pohyboval okolo jedného percenta. To bolo približne stokrát viac než v sintroch a dokonca aj v železom nesfarbených vápencoch (čiernych, sivých až bielych) bol obsah železa systematicky vyšší než v sintroch (Vytřas a Vytřasová, 1975a, b). Na základe veľmi nízkeho obsahu železa v niektorých farebných sintroch konštatovali, že ich sfarbenie musí mať iný pôvod. Za najpravdepodobnejšiu príčinu považovali nepravdelnosti kryštálovej mriežky kalcitu/aragonitu, ale spomenuli aj humínové látky ako menej pravdepodobnú alternatívu.

Nasledoval rad prác, ktorý definitívne preukázal, že za sfarbenie väčšiny sintrov do odtieňov teplých farieb sú zodpovedné humínové látky. Na základe chemických analýz sintrov z rôznych jaskýň sveta Gascoyne (1977) opäť potvrdil nesúlad medzi prítomnosťou stopových prvkov a žltými, červenými až hnedými sintromi. Domnienku, že za sfarbenie kvapľov sú zodpovedné humínové látky, vyslovil na základe pozorovania veľmi hustej peny, ktorá sa tvorila pri rozpúšťaní vzoriek sintrov v kyseline chlorovodíkovej (Gascoyne, 1977). Tá svojím výzorom pripomínala penu vznikajúcu po záplavách na rašeliniskových tokoch a v sífnoch jaskýň. Prítomnosť humínových látok v sintroch však Gascoyne (1977) priamo nepreukázal a jeho domnienky boli potvrdené až neskoršími prácami. White (1981, 1997) podporil hypotézu o sfarbení kvapľov humínovými látkami na základe štúdia farebných sintrov pomocou spektrofotometra. Ten umožňuje stanoviť spektrálne vlastnosti materiálu – teda aké vlnové dĺžky dopadajúceho žiarenia daný materiál odráža a aké pohlcuje. Oxidy a hydroxidy železa, ako aj z nich vytvorené kvapľové útvary a formy zafarbené



Obr. 5. Sintrové útvary pod ultrafialovým svetlom s vlnovou dĺžkou 375 nanometrov. A – zelené až modré, prípadne žltkavé svetielkovanie výzdoby v Demänovskej jaskyni slobody; B – žltkavé a modré svetielkovanie vzorky stalagmitu; C – modré a žlté svetielkovanie vzoriek stalagmitov v priereze (vpravo a vľavo) a nesvietielkujúce kryštály kalcitu (v strede). Foto: autor

Fig. 5. Cave formations under the ultraviolet light with the wavelength of 375 nanometres. A – Green to blue, or yellowish, fluorescence of the decoration in Demänovská Cave of Liberty; B – yellowish and blue fluorescence of a stalagmite sample; C – blue and yellow luminescence stalagmite samples in cross-section (right and left) and non-luminescent calcite crystals (centre). Photos: author

červenými sedimentmi obsahujúcimi minerály železa mali podobné spektrálne vlastnosti. No spektrálne vlastnosti ostatných sintrov sfarbených do odtieňov teplých farieb boli odlišné a viac sa podobali spektrálnym vlastnostiam organických zlúčenín (White, 1981). Nasledovala práca Caldwell et al. (1982), spísaná predtým, než bol publikovaný príspevok Whitea (1981). V jaskyni Mullamullang (Austrália) sa nachádza jemnozrnný čiastočne sintrom presýtený sediment tvorený prevažne kalcitom a sadrovcom obsahujúci významnejšie množstvá železa (cca 2 – 11 % Fe_2O_3), ktoré ho zafarbiajú do ružova, červenožltá až červohnedá (Caldwell et al., 1982). Aj u ďalších čisto kalcitových farebných sintrov Caldwell et al. (1982) pripisovali ich sfarbenie železu, a to i napriek jeho nízkemu obsahu (0,03 – 0,17 % Fe_2O_3). V dodatku v záverečnej časti článku, spísanom po publikovaní príspevku Whitea (1981), však pripúšťajú, že tieto sintrové útvary by mohli byť zafarbené organickými látkami.

V dvoch ďalších krátkych príspevkoch Whitea (1984, 1986) bola hypotéza o zafarbení sintrov humínovými látkami podporená ďalším argumentom, konkrétne UV fluorescenciou sintrov. Na rozdiel od čistého kalcitu, ktorý po osvetlení UV svetlom nesvieti, kalcitové sintre slabo svietia do modra až zelena, prípadne do žltkasta (obr. 5). Tento jav sa už dlhšie vysvetľoval prítomnosťou organických zlúčenín (Gillson a MacCarthy, 1954; Cigna, 1958 a iní). V kontraste s tým oxidy a hydroxidy železa, ako aj jaskynné íly pôsobia ako „fluorescenčné jedy“, ktoré ultrafialové žiarenie silne pohlcujú, a preto sa v UV svetle javia ako čierne (Slačík, 1974). Neskoršie práce (White a Brennan, 1989; Ramseyer et al., 1997; Baker et al., 1998; van Beynen et al., 2001; Perrette et al., 2005; súbor prác Y. Shopova zhrnutý v Shopov, 2006 a ďalší) priamo potvrdili, že za UV fluorescenciu sintrov sú zodpovedné humínové látky. Vyššie citované práce tiež preukázali, že najsilnejšiu UV fluorescenciu prejavujú fulvové kyseliny – typ humínových látok, ktoré sú charakteristické málo výrazným zafarbením (pozri obr. 4). Naopak, pri niektorých sintroch výrazne zafarbených humínovými látkami boli zdokumentované absorpčné efekty, ktoré ich UV fluorescenciu potláčali (van Beynen et al., 2001). Teda to, či nejaký silne zafarbený sinter je sfarbený zlúčeninami železa alebo humínovými látkami, nemožno určiť iba pomocou UV svetla, ale pomocou pokročilejších analytických metód.

Nadväzujúce práce opakované potvrdili vzťah humínových látok a sintrových útvarov sfarbených do odtieňov teplých farieb. Humínové látky sa priamo chemicky extrahovali zo sintrových útvarov sfarbených nielen do odtieňov teplých farieb, ale dokonca i z niektorých čiernohnedých, tmavosivých až čiernych sintrov (Wells, 1852; Lauritzen et al., 1986; James et al., 1994; Ramseyer et al., 1997; van Beynen et al., 2001; Gázquez et al., 2012). V iných prácach humínové látky síce neboli extrahované priamo, ale ich prítomnosť sa potvrdila analytickými metódami (Brennan a White, 2013; Blyth et al., 2015). Dokonca i v jaskyni Goikoexte, kde sa v materskej hornine aj jej sedimentoch vyskytujú hojné častice oxidov a hydroxidov železa, sa preukázalo zafarbenie sintrov humínovými látkami (Martínez-Pillado

et al., 2020). Biele aj sfarbené sintre mali takmer totožný obsah železa, no preukázateľne sa líšili obsahom organických látok, ktorý bol nižší v dobiela sfarbenom útvare v porovnaní so sintrovými formami sfarbenými do odtieňov teplých farieb (Martínez-Pillado et al., 2020). Tým zároveň autori dosvedčili, že rozdiely v intenzite sfarbenia sintrov nie sú v tomto prípade zapríčinené mikroštruktúrnymi faktormi (pozri Král, 1971, 1975; Beck, 1976, 1978 a iní).

V krátkosti sa ešte zmienim i o experimentálnych štúdiách, ktoré potvrdili vzťah organických látok so sfarbením vápenca, respektíve kalcitu. Napríklad Christidis et al. (2004) zistili, že primiešanie organických látok do rozomletého vápenca ovplyvňuje jeho farbu o niečo výraznejšie, ako pridanie oxidov železa. Novšie práce experimentovali priamo s kryštalizáciou kalcitu z roztoku obsahujúceho humínové látky, pričom kalcity vykryštalizované z týchto roztokov boli zafarbené do odtieňov teplých farieb (Chalmin et al., 2013; Pearson et al., 2020).

V súčasnosti je vzťah medzi sfarbením sintrov a humínovými látkami natoľko prijatý, že ak sa v sintri nezistí významnejšie množstvo železa, jeho sfarbenie sa spravidla pripisuje práve humínovým látkam (Dechamps, 2024; Vlieghe et al., 2026). V druhej citovanej práci sa popri sintroch zafarbených humínovými látkami v tej istej jaskyni vyskytovali aj formy zafarbené železom, tie však boli sadrovcové, nie kalcitové (Vlieghe et al., 2026).

Za zdroj prevažnej časti humínových látok sa považuje pôda nad jaskyňou, no časť z nich môže vzniknúť činnosťou mikróbov v materskej hornine jaskyne alebo činnosťou jaskynnej fauny (Blyth et al., 2008). Mierne nedoceneným zdrojom organických látok však môžu byť tiež horniny nad jaskyňou. Svedčí o tom prípad jaskyne El Soplo (Španielsko), v ktorej sa „jantárovo sfarbené“ sintrové útvary spájajú s humínovými látkami pochádzajúcimi z fosilizovaného jantáru a zuhoľnatého organického materiálu prítomného v materskej hornine (Gázquez et al., 2012).

Dominantná rola humínových látok v sfarbení sintrov však neznamená, že železo nikdy nevystupuje ako farbivo podzemných útvarov. Už White (1981, 1997) potvrdil, že prímеси oxidov a hydroxidov železa môžu niekedy figurovať ako pigmenty zafarbujuce sintrové útvary. Ich zdrojom je často nerozpustný zvyšok materskej horniny alebo jaskynné sedimenty, ktoré sa do sintrov dostanú pri ich raste (pozri Jakucs, 1962; Pályi, 1962; Vytrásová, 1975a, b; Caldwell et al., 1982 a iní). V takýchto prípadoch by však prítomnosť významnejšieho množstva zlúčenín železa mala jasne indikovať oranžová až červená farba jaskynných sedimentov alebo zvetrávajúcej materskej horniny. Železo môže pochádzať aj zo zrudnenia blízko jaskyne, ako v prípade sadrovcových útvarov v jaskyni Cigalère (Francúzsko; Vlieghe et al., 2026). Solné útvary v bani Wieliczka (Poľsko) sú zas zafarbené zlúčeninami železa, ktoré pochádzajú z nadložných sedimentov a z hrdzavejúcich kovových predmetov (Sawłowicz et al., 2014). V prvom spomínanom prípade oxidy a hydroxidy železa tvoria výrazné železité náteky pokrývajúci pôvodne biele útvary (Vlieghe et al., 2026).

V druhom prípade železo nevystupuje iba vo forme nátekov, ale i drobných a rozptýlených uzavrení v solných kryštáloch (Sawłowicz et al., 2014). Takéto „hrdzavé náteky“ možno pozorovať v niektorých častiach Demänovskej jaskyne slobody; ich výzor sa však zásadne líši od ostatných sintrových útvarov, ktoré sú zafarbené humínovými látkami (porovnaj obr. 3D s obr. 3A, B, C).

Sfarbenie sintrovej výzdoby do odtieňov teplých farieb môže byť tiež spôsobené prímесou sedimentov. Keďže sedimenty môžu byť zafarbené zlúčeninami železa, je niekedy rozdiel medzi zafarbením zlúčeninami železa a zafarbením sedimentmi skôr filozofickej povahy. Sedimenty môžu byť na sintrové útvary nanosené priesakovou vodou (obr. 3E) alebo naplavené pri vyšších vodných stavoch. Na povrchu bielych sintrových útvarov je sfarbenie sedimentmi zvyčajne ľahko badateľné na základe porovnania s farbou okolitých sedimentov a nápadnej zrnitej textúry z naplavených a v sintroch uzavretých častí. Situácia však môže byť zložitejšia, ak sa sedimenty nachádzajú vnútri sintrov ako rozptýlené zrnká alebo sústredené vrstvičky, ktorých farba presvitá na povrch útvaru (pozri **Atypické farby**).

Teplé sfarbenie sintrov môže byť spôsobené aj prítomnosťou fosfátových minerálov, ktoré vznikajú rozkladom guánu (Hill, 1982). Keďže guáno zohráva dôležitú úlohu i pri sfarbení sintrov do odtieňov čiernej, podrobnejšie sa ním zaoberám v kapitole venovanej čiernym tónom. Tu sa len stručne zmienim, že okrem prítomnosti netopierov možno ako dôkaz o sfarbení sintrov guanom použiť tiež prítomnosť fosforu, prípadne i dusíka. Na Slovensku je takáto sfarbenie sintrov viditeľné v niektorých častiach jaskyne Domica (Sala et al., 2023).

Sintre môže do žltá sfarbovať aj nikel (White a Van Gundy, 1974), no takto sfarbené sintre majú charakteristický citrónovožltý odtieň, ktorý sa zvyčajne výrazne líši od sintrov sfarbených humínovými látkami (White, 1997). Navyše, preukázané výskyt takýchto sintrov sprevádzajú i do zelena sfarbené sintre, keďže nikel sa vyskytuje aj v inej forme, ktorá sintre farbí aj do zelena (White a Van Gundy, 1974; Vlieghe et al., 2023). I stroncium môže v dostatočne vysokých koncentráciách zafarbiť aragonitové sintre do oranžova (Maltsev, 1997). Na podrobnejšie vysvetlenie k týmto prvkom odkazujem čitateľa na sekciu **Atypické farby**.

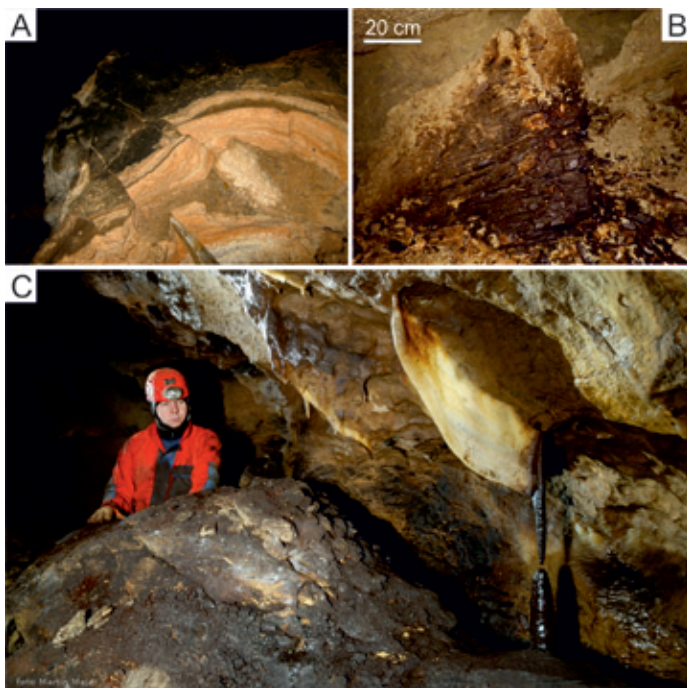
TÓNY ČIERNEJ

Spomedzi vytýčených kategórií sú odtiene čiernej vizuálne asi najmenej rôznorodé (obr. 6); to však neplatí o príčinách tohto typu sfarbenia, ktoré má pestrú škálu možných zdrojov. Napriek tomu, že za pôvodcu čiernych tónov sa často považovali látky organického pôvodu vrátane humínových látok, ich výskum nesprevádzali také debaty a zvraty ako výskum sintrov sfarbených do odtieňov teplých farieb. Ani v laickejších kruhoch nie je organický pôvod čiernych tónov vnímaný obzvlášť problematicky a pri výkladoch sa rutinne vysvetľuje sadzami z požiarov, ohnísk alebo fakiel. Ďalším často predkladaným vysvetlením čiernych odtieňov sintrov bývajú zlúčeniny mangánu. Zlúčeniny mangánu

a čierny uhlík z produktov spaľovania sú veľmi častými zdrojmi čiernych tónov sfarbenia sintrov, no existujú i zriedkavejšie zdroje čiernej. Nižšie je predstavený prehľad výskumu i zdrojov bežnejších i zriedkavejších čiernych farbív jaskynných sintrov.

Výskum týkajúci sa pôvodu čiernych odtieňov výzdoby je taký rozsiahly, že jeho detailné zhrnutie by tento článok neprimerane rozšírilo. Našťastie bol publikovaný vcelku podrobný príspevok zhrňajúci poznatky zo starších prác ohľadom pôvodcov čierneho sfarbenia kvapľov (Hill, 1982). O niečo jednoduchší prehľad v českom jazyku priniesol tiež Cílek (2002). Čitateľov zaujímajúcich sa o podrobný prehľad svetového výskumu čiernych tónov sfarbenia výzdoby jaskýň odkazujem na tieto práce a zo starších prác vyberám iba tie, ktoré sa nejakým spôsobom týkajú slovenských a českých jaskýň.

Na našom území sa zmienky o čiernej farbe sintrov v literatúre objavujú pri zmienkach o Ardotskej jaskyni (Kunský, 1939) a jaskyni Domica (Roth, 1941; Mann et al., 1949; Petránek a Pouba, 1951). Všetci vyššie citovaní autori za pôvodcu čiernej farby sintrov považovali sadze z ohnísk v jaskyni a spájali ich s pravekým osídlením jaskyne. Podobne sa vysvetľovali i čierne tóny sintrov v jaskyni Baradla, prepojenej s jaskyňou Domica (Roth, 1941 a iní). V Demänovskej ľadovej jaskyni bolo čierne sfarbenie sintrov pripisované sadziam z fakiel a petrolejových lúčok (Droppa, 1957, s. 97). Maďarskí výskumníci (Pályi, 1959; Jakucs, 1962 a iní) popri nánosoch zo sadzí identifikovali aj druhý, viditeľne odlišný typ usadenín, ktorý v jaskyni Baradla zafarboval sintre do odtieňov čiernej – náteky tvorené zlúčeninami mangánu a železa. Výskyt týchto nátekov Jakucs (1962) opisuje aj v Domici, v okolí hrádze „druhej plavby“, pričom ich zloženie potvrdil chemickými analýzami. Neskoršie práce z jaskyne Domica sa sústredili iba na čierne sfarbenie pochádzajúce zo sadzí, pričom pomocou analytických a datovacích metód potvrdili, že ide o sadze z ohnísk pravekých obyvateľov jaskyne (Gradziński et al., 2002, 2007; Pawlyta a Hercman, 2016). Nedávno publikovaný príspevok zaoberajúci sa guánovou koróziou sintrových útvarov (Sala et al., 2023) sa vyslovene nezameriaval na farbu kvapľovej výzdoby; nepriamo z neho možno vyvodíť, že v jaskyni Domica je prítomný i tretí zdroj čiernych tónov sfarbenia sintrov. Ide o guáno a fosfatové minerály (Kettner, 1948a), ktoré z neho vznikajú a môžu zafarbovať sintre do čiernej až tmavohneda. Autori tiež postrehli, že spolu s guánom a jeho minerálmi zriedkavo vystupujú i minerály mangánu a železa (Sala et al., 2023), ktoré môžu prispievať k výslednému zafarbeniu sintrov.



Obr. 6. Príklady čiernych tónov sfarbenia jaskynnej výzdoby. A – čierne sintre v jaskyni Leontína pravdepodobne zafarbené sadzami; B – čiernohnedé náteky v Zlepencovej jaskyni; C – sintrové útvary a sedimenty čierne sfarbené oxidmi a hydroxidmi mangánu z Mangánového dómu Petzoldových jaskýň u Srbska v Českom krase. Foto: A – Pavel Bella, B – autor, C – Martin Majer
Fig. 6. The examples of black colour tones of cave decorations. A – black flowstone in Leontina Cave, likely coloured by soot; B – black-brown coatings in Zlepencová Cave; C – black-coloured cave formations and sediments containing manganese oxides and hydroxides from Mangánový dóm Chamber in Petzold Caves near Srbsko in Bohemian Karst. Photos: A – Pavel Bella, B – author, C – Martin Majer

Tieto prípady z Domice názorne ilustrujú najbežnejšie príčiny čiernych odtieňov sfarbenia sintrov: 1. zlúčeniny mangánu a železa, 2. splošiny horenia a 3. guáno, no každá z nich má svoje nuansy a okrem nich existujú i zriedkavejšie príčiny.

Čierne zafarbenie spôsobené zlúčeninami mangánu sa vyskytuje v mnohých jaskyniach sveta; bolo preukázané pomocou analytických metód vo veľkom množstve prác a ich kompletné vymenovanie by bolo pre účely tohto článku nepraktické. Preto predkladám iba niekoľko vybraných článkov, ktoré sú podľa mňa najvhodnejšie na to, aby ich v prípade hlbšieho záujmu čitateľ mohol použiť na dohľadanie dodatočných zdrojov (Hill, 1982, 1987; White et al., 1985, 2009; Peck, 1986; Gradziński et al., 1995; Onac et al., 1997; Spilde et al., 2005; Gázquez et al., 2011; Papier et al., 2011; Šebela et al., 2015; Vlieghe et al., 2026). Do čiernej sfarbenie minerály mangánu sa vyskytujú na stenách a podlahách jaskýň, kde tvoria náteky a kôry, niekedy sa dokonca vyskytujú ako nespúšané usadeniny (Hill, 1982). Vyskytujú sa aj ako drobné čierne minerály rozptýlené medzi kryštálkami kalcitu/aragonitu, avšak čistý mangán do kryštálov kalcitu/aragonitu nevstupuje priamo (Hill, 1982). Ak totiž mangán nahradzuje vápnik v kryštálovej mriežke kalcitu, mení jeho zafarbenie do ružova (White, 1997; Martín-García et al., 2011, 2014 a iní – na podrobnejšie vysvetlenie rozdielu medzi prvkom tvoriacim samostatné minerály a prvkom vstupujúcim do kryštálovej mriežky kalcitu/aragonitu pozri sekciu **Atypické farby**). Čierne sedimenty

tvorené minerálmi mangánu a železa sú známe v niektorých českých jaskyniach; najznámejšie sú Fialová jaskyňa na Chlume pri Srbsku, ako aj Mangánový dóm (obr. 6C) v Petzoldových jaskyniach pri Srbsku (Žák et al., 2004; Mengler et al., 2011). Podobne ako v Domici a okolitých jaskyniach prítomnosť mangánu v týchto čiernych nátekoch a usadeninách takmer vždy sprevádzajú i oxidy a hydroxidy železa. Napríklad z vyššie citovaných prác výskyt vyššej koncentrácie železa spolu s mangánom nezaznamenali iba Gradziński et al. (1995) a do istej miery i White et al. (1985) a Vlieghe et al. (2026). V posledných dvoch prácach autori síce zaznamenali súbežný výskyt železa i mangánu v jaskyni, avšak tie nevystupovali spolu na tom istom mieste, ale oddelene v iných častiach jaskyne. Rozdiely v prítomnosti a množstve železa a mangánu sú zrejme zapríčinené odlišnosťami v pH a redoxnom (oxidačno-redukčnom) potenciáli vôd. Dvojmočné železo (Fe^{2+}) sa totiž dokáže v roztoku udržať iba vo veľmi kyslých a silne redukovaných vodách a pri znížení kyslosti alebo zoxidovalí vôd mení svoj stav na trojmočné železo (Fe^{3+}), ktoré sa z roztoku vy-

lučuje v podobe hydroxidov a oxidov železa. Na rozdiel od železa sa mangán v rozpustnej forme (Mn^{2+}) dokáže udržať i v redukovaných vodách s neutrálnejším pH. Prítomnosť (respektíve neprítomnosť) železa popri mangáne tak nutne nemusí byť odrazom chemizmu vôd, z ktorých vznikali, ale môže byť aj odrazom ich pH a redoxného potenciálu. Keďže niektoré minerály železa (magnetit, hematit...) môžu mať čiernu farbu, k čiernemu sfarbeniu sintrov môžu popri zlúčeninách mangánu prispieť i zlúčeniny železa. Napríklad Vlieghe et al. (2026) potvrdili čierne sfarbenie sadrovcového útvaru železom. Nie je úplne jasné, akým spôsobom dochádza k tvorbe mangánových minerálov v jaskyniach, no zdá sa, že k ich tvorbe prispievajú mikroorganizmy. V jaskyni El Soplao (Španielsko) sú dokonca zachované mangánovo-železité stromatolity – teda voľným okom viditeľné, baktériami vytvorené bochníkovité až polgulovité útvary (Rossi et al., 2010).

Ohniská ako zdroj čierneho uhlíka (sadzí, popolčiekov a ďalších produktov horenia) sa preukázali nielen v Domici a jej okolí, ale aj v rôznych iných jaskyniach sveta (Gradziński et al., 2003; Kaal et al., 2021 a iní), no ohniská nie sú jeho jediným zdrojom. Čierny uhlík pochádza tiež z lúčok, pochodní, spontánne vznieteného guána a povrchových požiarov, odkiaľ môže byť do jaskyne splavený (Hill, 1982 a iní) alebo priviaty (Davis, 1982; White, 1997 a iní). Čierne náteky sa v jaskyniach môžu tvoriť aj ako rezíduá po opekaní mäsa (Steelman et al., 2002). V súčasnosti sa zdrojom čierneho uhlíka môžu stať i spaliny

uhľovodíkov, ktoré v niektorých jaskyniach môžu viesť až k sčerneniu sintrov. Dobre zdokumentovaný je výbuch paliva vo vchode jaskyne Postojnska jama (Slovinsko), ktorý viedol k začerneniu jednej z jej vstupných častí (Zupančič et al., 2011; Muri et al., 2013 a iní). V jaskyni Račiška pečina (Slovinsko) boli opísané čierne vrstvy v podlahových sintroch viacerých generácií ako výsledok usadzovania sadzí z ohnísk (Zupan Hajna et al., 2021). Na Slovensku je známy prípad Jaskyne v tuneli, ktorej steny i sintre sú začernené z výfukových spodín vlakov (Holúbek, 2007). Obzvlášť kuriózný je prípad troch jaskýň v Južnej Kórei, ktorých sintrové útvary začali černieť po sprístupnení jaskýň pre návštevníkov, následkom sadzí z výfukových spodín a lesných požiarov (Jeong et al., 2003; Chang et al., 2008). Keďže sa jaskyne nachádzajú ďaleko od veľkých miest a ich vchody pri sprístupňovaní neboli rozširované, sadze sa zrejme nedostávali do jaskyne vzduchom, ale na oblečení, vlasoch a pokožke návštevníkov (Jeong et al., 2003; Chang et al., 2008).

Ďalším pôvodcom čiernych tónov sintrov môže byť guáno a z neho vylúhované do čiernej sfarbené látky (Hill, 1982, 1987; James, 2003; Lundberg a McFarlane, 2011; Kaal et al., 2021 a iní). V jaskyniach Severnej a Južnej Ameriky sa tiež vyskytuje nahromadený trus a moč hlodavcov, označovaný termínom *amberat* (Hill, 1982). Diagnostickými znakmi guána ako farbiva sintrov môže byť prítomnosť netopierov alebo ich pobytových znakov, ako aj zápach alebo prítomnosť nestrávených zvyškov potravy v čiernom materiáli (Hill, 1982). Ak je guáno v pokročilejšom štádiu rozkladu, tieto znaky nemusia stačiť a na určenie je nutné použiť analytické metódy. Od ostatných čiernych farbív sa guáno líši hlavne prítomnosťou fosforu a dusíka, no druhý menovaný prvok sa pri vysokom štádiu rozkladu v guáne už nachádzať nemusí (Hill, 1982).

Medzi ďalšie príčiny sfarbenia sintrov do čiernych tónov patria i jaskynné sedimenty. Toto zafarbenie je zvyčajne ľahko rozpoznateľné vďaka svojej textúre a porovnaniu s farbou jaskynných sedimentov nepresýtených sintrom. Ak sú sedimenty rozptýlené alebo sú vrstvičky sedimentov prekryté mladšími sintromi, ich identifikácia môže byť ťažšia, keďže farba sintrov je svetlejšia než farba sedimentov a jednotlivé zrnká nie sú tak ľahko pozorovateľné. Sintre v takom prípade nemusia mať vyslovene čiernu farbu, ale môžu byť i svetlosivé, prípadne špinavobiele.

Dočierna môžu byť sintre sfarbované aj organickými látkami iného pôvodu. Niektoré humínové látky majú čierne farebné tóny (obr. 4) a túto farbu môžu prepožičiavať i sintrovým útvarom. Humínové látky môžu sfarbovať sintre do čiernohnedých až čiernych farieb (Lauritzen et al., 1986; van Beynen et al., 2001; James, 2003; Gázquez et al., 2012; Blyth et al., 2015 a iní), ale môžu tvoriť aj samostatné čierne náteky (Quinlan a Traverse, 1967; Saiz-Jimenez a Hermosin, 1999). Sintre môžu byť sfarbené tiež ropnými látkami, buď prírodného pôvodu, napríklad dechtom z hornín nad jaskyňou (Hill, 1982), alebo antropogénneho pôvodu, napríklad látkami pochádzajúcimi z nadložnej asfaltovej cesty (Cabrol, 1997b, obr. 276). Zdrojom čierneho organického ma-

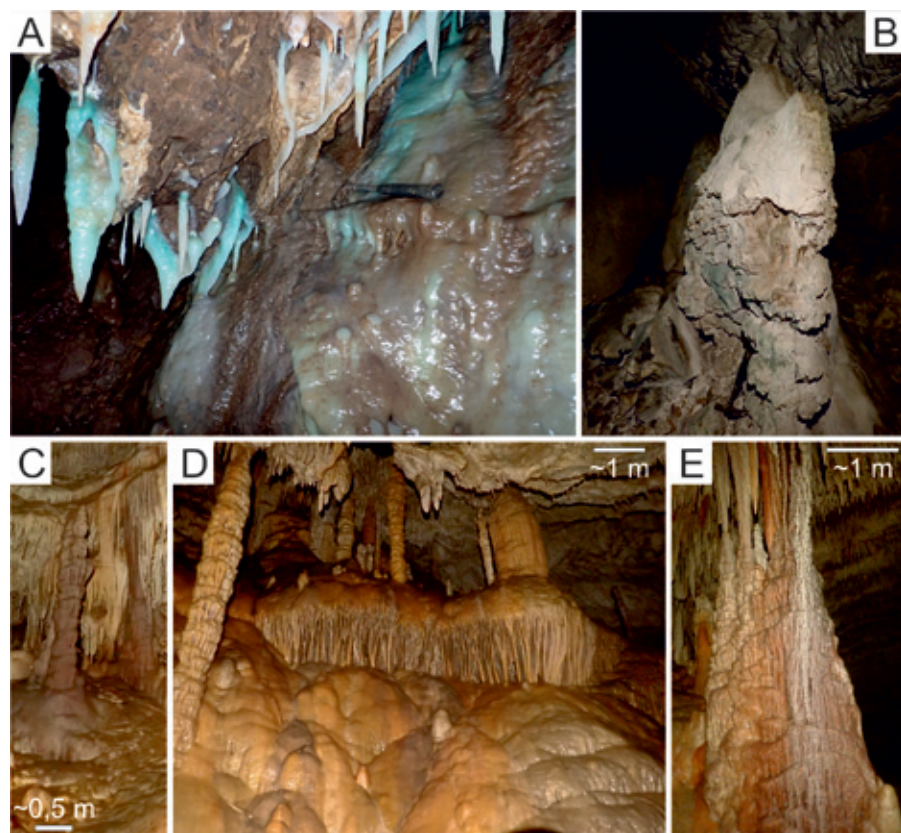
teriálu tiež môžu byť nadložné uhoľné sloje (Hill, 1982). Zdá sa, že niektoré typy čierneho organického sfarbenia možno prísúdiť i činnosti mikroorganizmov (Čílek, 2002; Lundberg a McFarlane, 2011; Kaal et al., 2021; Alonso et al., 2023; Bontemps et al., 2024).

ATYPICKÉ FARBY

V jaskyniach s atypicky sfarbenou výzdobou sú najbežnejším farbivom kovové prvky, ktoré sa buď vyskytujú vo forme samostatných minerálov alebo vstupujú do mriežky kalcitu/aragonitu. Rozdiel medzi týmito konceptmi sa môže niektorým čitateľom zdať máťuci, preto ho nižšie stručne objasním. Ako názorný príklad môže poslúžiť meď (Cu). V jaskyniach bol pozorovaný výskyt rôznych minerálov medi – napríklad zelený minerál malachit (chemický vzorec $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) či modrý minerál azurit (chemický vzorec $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$). No meď sa tiež môže vyskytovať v inej forme – v malých (stopových) množstvách môže vstupovať (odborne *substituovať*) do takých minerálov, ktoré nie sú minerálmi medi – napríklad kalcit a aragonit (chemický vzorec CaCO_3). Keďže ióny vápnika (Ca^{2+}) a medi (Cu^{2+}) majú podobné vlastnosti, atómy medi môžu v kryštálovej mriežke kalcitu/aragonitu miestami na-

hradzovať atómy vápnika. Hoci k tomuto javu dochádza vo veľmi obmedzenej miere, i toto nepatrné množstvo medi môže dosiahnuť dostatočné koncentrácie na to, aby menilo farbu kalcitov a aragonitov do modrozelená (White, 1981, 1997 a iní). Odlišný spôsob, ktorým sú do kryštálovej mriežky usporiadané atómy v kalcite a aragonite, spôsobuje, že aj atómy vstupujúcich cudzích prvkov majú odlišnú veľkosť. Preto do mriežky kalcitu a aragonitu stopové prvky vstupujú v odlišných pomeroch, napríklad do kalcitu vstupuje viac horčíka (ktorý je „menší“), kým do aragonitu viac stroncia (ktoré je „väčšie“). Spomínaná meď tiež do mriežky kalcitu vstupuje ľahšie než do aragonitu (White, 1981; Caddeo et al., 2011; Martín-García et al., 2014 a iní) a má aj mierne odlišný vplyv na ich sfarbenie – v kalcite produkuje skôr zelenšie odtiene, v aragonite skôr modrejšie tóny (White, 1997).

Vyčerpávajúci súhrn farebných jaskynných minerálov poskytli Hill a Forti (1997), preto čitateľov, ktorí sa podrobnejšie zaujímajú o širokú škálu bežných i vzácnějších farebných jaskynných minerálov, odkazujem na túto publikáciu. Zdôrazňujem, že výskyt mnohých nimi opísaných minerálov sú extrémne raritné a nezriedka boli opísané iba v jedi-



Obr. 7. Príklady atypického sfarbenia sintrovej výzdoby. A – modrozelená jaskynná výzdoba v Modrej jaskyni, všimnite si fialovkasté sfarbenie náteku sfarbeného sedimentmi v strede; B – stalagmit zafarbený prítomnosťou fotosyntetických mikroorganizmov v jaskyni Okno; C – sfarbenie sintrových foriem do ružovkastých až fialovkastých odtieňov v Demänovskej jaskyni slobody; D – zafarbenie nátekov sedimentmi do siva a hnedá – v kombinácii so sfarbením humínovými látkami nadobúda výsledné sfarbenie fialovkasté odtiene, Demänovská jaskyňa slobody; E – ružovkasté sfarbenie ako výsledok farebnej kombinácie sivobieleho náteku na oranžovom stalagmite, Demänovská jaskyňa slobody. Foto: autor

Fig. 7. Examples of atypical colouring of cave decorations. A – blue-green cave formations in Modrá Cave; note the purplish colouring of the flowstone stained by sediments in the centre; B – a stalagmite coloured by the presence of photosynthetic microorganisms in Okno Cave; C – colouration of sinter formations into pinkish to purplish shades in Demänovská Cave of Liberty; D – grey and brown colouration of flowstone by sediments – when combined with colouration by humic substances, the resulting colour takes on purplish shades, Demänovská Cave of Liberty; E – pinkish colouration resulting from the colour combination of grey-white flowstone on an orange stalagmite, Demänovská Cave of Liberty. Photos: author

nej jaskyni na svete. Prípady stopových prvkov vstupujúcich do mriežky kalcitu/aragonitu nie sú až tak rozsiahlo zdokumentované, keďže na ich zistenie je nutné realizovať ešte presnejšie a citlivejšie analýzy. V nasledujúcich statiach sa selektívne zameriam hlavne na také prvky a ich minerály, ktoré sú síce vzácne, no v jaskyniach sa môžu vyskytovať častejšie.

Najvýznamnejším prvkom zodpovedným za výskyt atypických farieb v jaskyni je meď (obr. 7A). Tá sa môže vyskytovať v podobe rôznych zelenomodrých minerálov medi, najčastejšie malachitu a azuritu (Hill a Forti, 1997). Na území Českej republiky bol výskyt malachitu opísaný v Zbrašovskej aragonitovej jaskyni (Geršl et al., 2013). Meď však môže vstupovať i priamo do mriežky kalcitu/aragonitu a zafarbovať ich tým do odtieňov zelenej a modrej (White, 1981, 1997; Cabrol, 1997a; Turner, 2002; Caddeo et al., 2011; Martín-García et al., 2011, 2014; Vlieghe et al., 2025, 2026 a iní), čo bolo na Slovensku zdokumentované i v Modrej jaskyni (Orvošová et al., 2016). Meď vo vápencoch a dolomitoch často sprevádza olovnato-zinkové zrudnenie, avšak zinok nepôsobí ako farbivo (White, 1981, 1997); výskum vplyvu olova na sfarbenie je v súčasnosti iba v zárodkoch (Dechamps, 2024; Vlieghe et al., 2025). Nedávno publikované výsledky naznačujú, že olovo by mohlo vo významnejšej miere vstupovať do mriežky aragonitu a zafarbovať ho modra a zelena, kým zinok môže do istej miery ovplyvňovať intenzitu farieb zapríčinených prítomnosťou medi a olova (Vlieghe et al., 2025).

Ďalším prvkom pôsobiacim ako farbivo sintrov je nikel a v niektorých prípadoch boli zistené i výskyty mangánu (Mn) v kalcitoch a stroncia v aragonitoch. Prítomnosť niklu (Ni) zapríčiňuje zelené až citrónovožlté sfarbenie (White a Van Gundy, 1974; White, 1981, 1997; Maltsev a Self, 1992; Cabrol, 1997a; Vlieghe et al., 2023; Dechamps, 2024). Zdá sa, že nikel môže vo väčšom množstve vstupovať hlavne do mriežky kalcitu, ktorý zafarbuje dožltá (White a Van Gundy, 1974; White et al., 1985; White, 1997), kým zelené kalcitové/aragonitové sintre sú sfarbené v nich rozptýlenými minerálmi niklu (White a Van Gundy, 1974; White et al., 1985; Hill a Forti, 1997, s. 182 a 186; White, 1997; Vlieghe et al., 2023; Dechamps, 2024). Na základe typickej cintiónovožltej farby existuje možné podozrenie na zafarbenie aragonitovej výzdoby niklom v jaskyni Cigalère (Francúzsko), no sprievodné zelené sintre sfarbené niklom sa v nej zatiaľ nenašli (Vlieghe et al., 2026). Autormi použité analytické metódy neboli dostatočne citlivé na to, aby dokázali prítomnosť niklu potvrdiť alebo vyvrátiť (Vlieghe et al., 2026). Problémom je, že starší výskum (White a Van Gundy, 1974) poukazuje na to, že nikel by vo významnejšej miere mal vstupovať do kryštálovej štruktúry kalcitu a len v malej miere do aragonitu, čo potvrdili i neskoršie práce (Brazier a Mavromatis, 2022). Samozrejme, existencia aragonitu zafarbeného prítomnosťou niklu v jeho mriežke teoreticky nie je vylúčená – koniec-koncov i meď vstupuje vo väčšej miere do mriežky kalcitu a napriek tomu vyššie odkazujem na viacero prípadov medou zafarbených aragonitov. Znamená to však, že niklom zafarbené aragonity mali byť

oveľa zriedkavejšie než kalcity. Na vyriešenie tejto problematiky budú nutné ďalšie štúdie. Do kryštálovej mriežky kalcitu ľahšie vstupuje i mangán, pričom ho zafarbuje do ružova (White, 1997; Martín-García et al., 2011, 2014 a iní). Opačným prípadom je stroncium (Sr), ktoré zas ľahšie vstupuje do kryštálovej mriežky aragonitu a zafarbuje ho do oranžova (Hill a Forti, 1997, s. 146; Maltsev, 1997).

Niektoré atypické farby sú tiež zapríčinené prítomnosťou mikroorganizmov. Mikrobiálne sfarbenia sa však vyskytujú hlavne v (prírodzene alebo umelo) osvetlených častiach jaskýň – obyčajne majú zelenú farbu (obr. 7B) a nimi spôsobené zafarbenie sintrov zvyčajne nie je trvalé, iba dočasné. Niekedy sa však môžu vyskytovať i inak sfarbené mikroorganizmy. Napríklad v menej osvetlených častiach niektorých austrálskych jaskýň sú známe výskyty ružového kalcitu zapríčinené mikroskopickými koralinnými riasami (James, 2003; obr. 8 v Smith, 2023 a iní). V neosvetlených jaskyniach boli opísané aj biologické povlaky bielej, sivej, krémovej, ružovej, žltej, prípadne až zlatožltej farby, ktoré vytvárajú komunity mikroorganizmov (Northup et al., 2011; Porca et al., 2012; Saiz-Jimenez, 2012 a iní). Zdá sa, že v niektorých prípadoch môžu dokonca tvoriť trvalo zafarbené povlaky a kôry jaskynných foriem, ako v prípade žltých opálových útvarov v jaskyniach na ostrove La Palma (Španielsko; Gonzalez-Pimentel et al., 2018). Existujú i domnienky, že činnosť mikróbov by mohla prispievať k tvorbe niektorých pestrofarebných jaskynných minerálov, ktoré sa konvenčne považujú za abiotické; ide však o nedoriešenú výskumnú otázku (Northup et al., 2011).

Podobne ako červené minerály železa spomínané v kapitole **Teplé farby**, aj iné druhy farebných minerálov sa môžu vyskytovať v jaskynných sedimentoch a po nanesení na sintre ich môžu druhotne zafarbovať. Niektoré atypické sfarbenia sintrov tiež môžu byť výsledkom prítomnosti dvoch alebo viacerých bežnejších druhov farbív, ktoré vedú k pomerne neočakávaným farebným mixom. Domnievam sa, že toto je i prípad niektorých ružovkastých a fialovkastých sintrových útvarov vo Fialovom dome v Demänovskej jaskyni slobody (obr. 7C). Na podlahe domu možno pozorovať hnedé zasintrované sedimenty prinášané priesakovými vodami a zároveň sa tam vyskytujú i hojné sintrové útvary zafarbené humínovými látkami. Farba niektorých útvarov by mohla vznikáť následkom miešania žltých až oranžových odtieňov zapríčinených humínovými látkami v kombinácii s hnedou a sivou farbou naplavených sedimentov (obr. 7D), prípadne i v kombinácii s bielymi nátekmi (obr. 7E). Potvrdenie tejto domnienky by si vyžadovalo podobnejší výskum s použitím analytických metód.

PRÍSPEVOK F. VITÁSKA A SKORSÍCH VÝSKUMNÍKOV

Napriek zameraniu článku na sfarbenia sintrovej výzdoby jaskýň som si sem dovolil zaradiť i samostatnú kapitolu o určitom „vedeckom prvenstve“ Davida A. Wellsa a Františka Vitásk. Domnievam sa, že tieto informácie sú zaujímavé nielen pre vedeckú, ale aj „ne-

vedeckú“ časť českej i slovenskej jaskyniarskej obce.

Vo všeobecnosti sa objav humínových látok ako kľúčových farbív sintrov pripisuje západným výskumníkom, ktorí svoje zistenia publikovali v sedemdesiatych až osemdesiatych rokoch minulého storočia (Gascoyne, 1977; White, 1981, 1984, 1986, 1997; Lauritzen et al., 1986). Z rešerše literatúry k tomuto príspevku však vyplynulo, že Wells k rovnakému záveru dospel o viac než stodvadsať rokov predtým (Wells, 1852) a nezávisle od neho aj Vitásek, približne o štyridsať rokov skôr ako výskumníci na západe (Vitásek, 1938a, b, 1940). Trocha nelogicky sa zameriam najskôr na mladšie Vitáskove práce, keďže som na ne narazil skôr než na príspevok Wellsa. V nasledujúcich častiach sa pokúsím priblížiť, ako k tomuto objavu Vitásek dospel a ako/prečo sa jeho poznatky (ne)rozšírili v Česku, na Slovensku a vo svete.

Prvotným popudom, ktorý viedol k preskúmaniu starších Vitáskových prác, bola zmienka Aloisa Krála (1971, 1975), ktorý stručne spomína, že Vitásek považoval humínové látky za hlavné farbivo sintrov. Bohužiaľ, do zoznamu literatúry nezahrnul nijaké Vitáskove práce, čo významne sťažilo dohľadanie konkrétnych prác. Domnievam sa, že kľúčovými sú hlavne články, v ktorých sa Vitásek venoval vzorkám sintrov z Demänovskej jaskyne slobody a kde sa okrem iného zaoberá aj ich sfarbením (Vitásek, 1938a, b, 1940). Vitásek spomína, že analýzy na tento účel vykonali pracovníci chemického a mineralogického ústavu Masarykovej univerzity (Vitásek, 1938b). Menovite je spomenutý iba Arnošt Okáč (Vitásek, 1938a), ktorý bol významnou osobnosťou v oblasti československej chémie. V prácach žiaľ neuvádza, aké konkrétne chemické a mineralogické metódy boli použité, na rozdiel od Wellsa (1852), ktorý uviedol celý postup, pomocou ktorého humínové látky z kvapľov extrahoval a následne potvrdil ich prítomnosť v organickom extrakte. V každom prípade je jasné, že sfarbenie sintrov nepripísal humínovým látkam iba na základe nepodložených domnienok, ale išlo o poznatok podporený výsledkami analytických metód.

Čo viedlo k tomu, že sa Vitáskove poznatky všeobecne nerozšírili mimo územia Česka? Istú rolu v tom nepochybne zohrala druhá svetová vojna, keďže prvé dve práce Vitásek publikoval rok pred jej začiatkom (Vitásek, 1938a, b) a tretiu počas jej počiatočných rokov, navyše v nemeckom jazyku (Vitásek, 1940). Čiastočne k tomu mohol prispieť i skepticizmus zo strany iných odborníkov, no nezdá sa, že by ten bol obzvlášť silný. Radim Kettner síce vo svojej učebnici farbu sintrov pripisuje zlúčeninám železa a mangánu – organické látky spomína iba okrajovo (Kettner, 1948b, s. 257). Avšak Vitáskov poznatok bol prevzatý do viacerých publikácií, a to nielen odborných, ale aj populárno-náučných. Čo tiež možno zohralo rolu, boli neskoršie Vitáskove práce. V práci vydané v ruskom jazyku (Vitásek, 1951), ktorá v podstate rekapitulovala skoršiu prácu publikovanú v nemčine (Vitásek, 1940), farby kvapľov prisudzuje zlúčeninám železa a mangánu. Zrejme tak urobil i na základe nových poznatkov z analýzy vody z Demänovskej jaskyne slobody (realizovanej Jaros-

lavom Pechom), ktoré preukázali prítomnosť hydroxidov železa a mangánu v priesakových vodách jaskyne. Tiež spomína analýzy sintrov z Javoříčských jaskýň (realizované mineralógom Jaroslavom Koktom), ktoré vo farebnejších vrstvičkách sintra identifikovali hydroxidy železa. No opakuje aj staršie zistenia Arnošta Okáča, že tmavšie vrstvičky sintra sú bohatšie na organické látky (Vitásek, 1951). I vo svojej prvej učebnici geografie spomína iba zlúčeniny železa a humínové látky nespomína vôbec (Vitásek, 1946, s. 190). No v neskôr vydaných učebniciach sa k humínovým látkam vracia, aj keď len čiastočne – v jednej časti učebnice sa zmieňuje iba o železe a mangáne (Vitásek, 1948, s. 278, 1953, s. 372, 1966, s. 195), v druhej časti však pred ne zaraďuje humínové látky (Vitásek, 1949, s. 375, 1954, s. 516, 1966, s. 361). Z týchto vyjadrení teda nie je úplne jasné, či a ako sa Vitáskove názory ohľadom sfarbenia sintrov menili. Na objasnenie týchto otázok by bol potrebný oveľa podrobnejší archívny výskum. Je však isté, že minimálne časť českých odborníkov Vitáskove závery prijala.

Viacerí českí odborníci Vitáskove závery ohľadom sfarbenia sintrov humínovými látkami akceptovali, o čom svedčí fakt, že jeho závery sa dostali do mnohých českých publikácií. Vitáskove závery sa objavujú nielen v odborných článkoch (Petránek a Pouba, 1951), knihách (Kunský, 1950, s. 80) a vysokoškolských učebniciach (Horník, 1982, s. 186), ale aj v obrazových publikáciách (Stehlík a Kunský, 1953, s. 12), dokonca aj v turistických sprievodcoch (Rubín a Skřivánek, 1963, s. 18 – 19; Vahala, 1976, s. 66). Tieto poznatky, prevzaté z publikácie Stehlíka a Kanského (1953), sa dokonca objavujú aj na súčasnej stránke Správy jeskyní České republiky v sekcii *Vznik jeskyní a krápníkové výzdoby* (<https://www.caves.cz/jeskyne-a-kras/vznik-jeskyni-a-krapnikove-vyzdoby>). Naproti tomu do slovenských publikácií Vitáskove závery prevzaté neboli a dokonca ich nespomína ani Anton Droppa (1957, s. 19), ktorý bol jeho žiakom a citovanú publikáciu mu venoval!

Veľkou otázkou ostáva úloha Davida A. Wellsa, ktorý tiež opisuje vzťah sfarbenia stalagmitov a stalaktitov a humínových látok (Wells, 1852). K jeho práci sa mi podarilo dopátrať vďaka tomu, že ho spomínajú Kunský (1950, s. 80) a Král (1975). Podobne ako v prácach Vitásky, aj v tomto prípade v zozname literatúry Wellsove práce chýbajú, čo významne sťažilo pátranie po nich. Preto nie je celkom isté, že mnou citovaná práca je jedným Wellsovým príspevkom týkajúcim sa sfarbenia sintrov. Na základe mne dostupných zdrojov neviem určiť, či niektorí odborníci zaoberajúci sa výskumom jaskýň o Wellsových poznatkoch náhodou nevedeli ešte pred tým, než k nim došiel Vitásek. Na jednej strane Kunský (1950, s. 80) spomína Wellsa a Vitásky, no na druhej strane vo svojej staršej práci Král (1971) spomína iba Vitásky – Wellsa k nemu pridáva až neskôr (Král, 1975). Okrem týchto prác sa mi nepodarilo dopátrať k nijakej inej speleologicky zameranej práci, ktorá by Wellsa (1852) citovala. Keďže sa zmenky o Wellsovi objavujú až po Vitáskových prácach, je pravdepodobné, že Kunský a Král sa k Wellsovej práci dopátrali spätne, potom, ako sa oboznámili s Vitáskovými poznatka-

mi. Overenie tejto domnienky i pátranie po dôvodoch, prečo aj Wellsova práca upadla do zabudnutia, by si vyžadovali podrobnejší historický výskum s prístupom k archívnym materiálom.

Wellsov (1852) príspevok si zaslúži ešte dve stručné poznámky. Autor v ňom zdôrazňuje, že nie je prvým výskumníkom, ktorý prišiel na vzťah sfarbenia sintrov a humínových látok, pričom vymenováva štyroch výskumníkov, ktorí dospeli k podobným záverom – Dr. C. T. Jackson, Dr. Hayes z Bostonu, Dr. J. Lawrence Smith, Dr. Emmons z mesta Albany. Na konkrétne publikácie však opäť neodkazuje, preto je momentálne bez ďalšieho veľmi detailného výskumu nemožné usúdiť, komu by v tomto výskumnom smere malo byť pripísané prvenstvo.

ZÁVER

Hlavnou príčinou bielych tónov farby sintrov nie je **ich chemická čistota, ale ich fyzikálna nedokonalosť**. Podobne ako ľad, ktorého mliečnobiely vzhľad je zapríčinený veľkým počtom defektov (pórov, inklúzií, komplikovaných kryštálových rozhraní, puklín, škra-bancov...), aj biela farba sintrov je výsledkom rozptylu svetla na defektoch v mikroštruktúre sintrov (obr. 2). Podobne ako sneh, i mnohé druhy snehovobielych sintrov sú zrejme tvorené kryštálkami s veľkým množstvom voľných medzikryštálových priestorov, a ich farba je teda výsledkom ich fyzikálnej štruktúry, nie chemickej čistoty. Zmeny vo fyzikálnej štruktúre môžu do biela zafarbiť dokonca aj sintre, ktoré by boli inak výrazne sfarbené. Podobný jav možno pozorovať pri bielej pivnej pene, ktorá sa pre početnejšie „defekty“ (bublínky) štruktúrne líši od farbeného piva. Podobné štruktúrne rozdiely možno predpokladať, ak vedľa seba rastú výrazne sfarbené aj biele útvary. Istú úlohu môže zohrávať i aragonitové zloženie niektorých sintrov, keďže existujú určité náznaky, že humínové látky, ktoré sú najbežnejším farbivom sintrov, aragonitové sintre nezafarbujú, kým kalcitové sintre áno. Pri súčasnom stave nášho poznania však úloha aragonitu v bielom sfarbení sintrov ostáva nedoriešenou otázkou.

Najbežnejšie vyskytujúcim sa farbivom jaskýňych sintrov **nie sú zlúčeniny železa, ale humínové („humusové“) látky**, teda zlúčeniny vznikajúce rozkladom organickej hmoty. Ich zdrojom je najčastejšie pôda, v ktorej sa zrážková voda tiež obohacuje o oxid uhličitý, potrebný na rozpúšťanie materskej horniny, do ktorej voda preniká. Tvorí sa sintre do seba inkorporujú humínové látky, pričom ich výsledná farba závisí od konkrétnych typov humínových látok (obr. 3, 4). O zafarbení sintrov humínovými látkami svedčí okrem iného i fakt, že sintre po ožiarení UV svetlom väčšinou slabo svetielkujú (obr. 5), čo je typické pre mnohé (ale nie všetky) humínové látky. „Čisté“ kalcity a aragonity v UV svetle nesvetielkujú (obr. 5C) a zlúčeniny železa UV žiarenie naopak silne pohlcujú, teda sú pod UV svetlom čierne. Ako bolo spomenuté v predošlej kapitole, mikroštruktúra sintra a s ňou spojený rovnomerný rozptyl svetla môže posunúť výsledný tón farby do belších odtieňov. Zriedkavejšie môžu byť sintrové útvary zafarbené prímiesami zlúčenín železa a/

alebo jaskýňych sedimentov, prípadne fosfátovými minerálmi vznikajúcimi z rozkladajúceho sa guána. V extrémne vzácnych prípadoch môže nikel sfarbovať kalcitové sintre do žltá a citrónovožltá a stroncium aragonitové sintre do oranžova; takisto boli zaznamenané povlaky vytvorené mikroorganizmami. Tieto veľmi vzácne prípady sa však obvyčajne vyskytujú v jaskyniach známych atypickými farbami výzdoby, preto je podrobnejšia diskusia o týchto javoch zaradená do inej kapitoly (**Atypické farby**).

Čierne sfarbenie sintrov v jaskyniach nie je častým javom, no na druhej strane nie je ani extrémne zriedkavé a môže mať rôznorodé príčiny. Medzi najvýznamnejšie z nich však patria **minerály mangánu** (zriedkavejšie i železa), sadze, popolčeky a iné **produkty horenia, guáno** a jeho produkty, ako aj **ďalšie organické látky** (obr. 6). Mangán však nevstupuje priamo do kryštálovej štruktúry kalcitu/aragonitu, ktorých farba by v takom prípade menil doručova, ale v podobe čiernych oxidov mangánu (obr. 6C). Tie sú v sintri rozptýlené ako inklúzie v kryštáloch alebo medzi kryštálmi kalcitu/aragonitu, čím menia ich farbu. Zlúčeniny mangánu môžu tvoriť i samostatne vystupujúce náteky alebo kôry. V podobných formách sa môžu vyskytovať i zlúčeniny železa, ktoré niekedy majú čiernu farbu, avšak v porovnaní so zlúčeninami mangánu nie sú takéto prípady ani zďaleka tak rozsiahle zdokumentované. Čierne tóny z produktov horenia často súvisia s otvoreným ohňom v jaskyni (obr. 6A), napríklad s ohniskami, lampami, pochodňami, ale i vznieteným guanom. Niekedy je však čierny uhlík ako produkt spaľovania do jaskyne priniesený zvonka, napríklad vzduchom, vodou alebo na tele a oblečení návštevníkov. Guáno a jeho produkty tiež môžu spôsobovať čierne sfarbenie sintrov, pričom o jeho prítomnosti svedčia netopiere, nestrávené organické zvyšky a zápach. V prípade pokročilejšieho rozkladu guána je však nutné podozrieť doložiť analyticky, konkrétne prítomnosťou fosforu, prípadne aj dusíka, ktoré sú pre guáno typické. Podobne ako pri teplých tónoch, i prítomnosť prímiesi sedimentov môže zafarbovať sintre do čiernych tónov, ktoré však zvyčajne zodpovedajú farbe okolitých sedimentov. Spomedzi ostatných organických látok sú najčastejším farbivom humínové látky, ktoré môžu sintre zafarbovať nielen do teplých, ale aj do čiernych odtieňov (obr. 4), ale aj prírodné alebo antropogénne ropné látky. Dôležitú úlohu pri vzniku čiernych zlúčenín mangánu a železa zohrávajú aj mikroorganizmy, pričom sa zdá, že iné druhy mikroorganizmov by mohli byť zodpovedné za tvorbu čiernych organických nátekov. Viacero rôznorodých príčin čierneho sfarbenia je určovanie jeho príčin komplikované a vyžaduje si si aplikáciu analytických metód.

V zriedkavých prípadoch môžeme v jaskyniach pozorovať farebné odtiene modrej, zelenej, fialovej, ružovej a iných farieb. Jaskýň s atypicky sfarbenou výzdobou je málo, preto sa ich vzácna výzdoba odoberá na výskumné účely len zriedka. Poznatky o atypicky sfarbenej výzdobe sú teda postavené na pomerne striedmom súbore analýz a ďalšie výskumy ich budú nepochybne meniť. Z tohto dôvodu treba poznatky zhrnúť v tejto kapitole

brať s významnou rezervou, obzvlášť ak tento článok čítate roky po jeho vydaní. Jaskyne s atypicky sfarbenou výzdobou sa veľmi často vyskytujú v rudných oblastiach, teda za značnú časť týchto farieb sú zodpovedné prvky kovov a ich zlúčeniny. Najčastejšie sa vyskytujúca med' a jej zlúčeniny zafarbiajú sintre do modra a zelena (obr. 7A), niekedy i nikel a jeho zlúčeniny farbja sintre do citrónovožltá a zelena, mangán, ktorý môže sintre farbiť do ružova, a stroncium, ktoré môže aragonitové sintre farbiť do oranžova. Kovové prvky môžu priamo vstupovať do kryštálovej mriežky kal-

citu alebo aragonitu (CaCO_3), kde nahrádzajú vápnik (Ca). Takisto sú súčasťou rôznych viac i menej vzácných farebných minerálov, ktoré sú rozptýlené v kalcitových/aragonitových sintroch, no niekedy môžu dokonca tvoriť samostatné útvary. Niektoré farebné minerály sa tiež môžu vyskytovať v jaskynných sedimentoch, ktoré následne môžu byť nanesené na sintre a zafarbiť ich. Existujú aj prípady atypického sfarbenia zapríčineného mikróbmami (obr. 7B). Za ružové alebo fialové sfarbenie sintrov napríklad jaskynnými sedimentmi môže byť zodpovedná aj farebná kombinácia humínových látok a iných farbív (obr. 7C, D, E). Pre rôznorodosť príčin tohto typu sfarbenia sintrov je na určenie ich pôvodu nutné použiť pokročilejšie a čo najpresnejšie analytické metódy.

Podakovanie

Za cenné rady a pripomienky ďakujem recenzentom P. Bosákovi, M. Orošovej a K. Žákovi. Ďakujem aj P. Bellovi, P. Bosákovi, P. Jakopinovi, M. Majerovi, A. Martín-Pérezovej a P. Staníkovi za poskytnutie niektorých fotografií.

Zoznam literatúry

- ALONSO, L. – POMMIER, T. – SIMON, L. – MAUCOURT, F. – DORÉ, J. – DUBOST, A. – TRÂN VAN, V. – MINARD, G. – VALIENTE MORO, C. – DOUADY, C. J. – MOËNNE-LOCCOZ, Y. 2023. Microbiome analysis in Lascaux Cave in relation to black stain alterations of rock surfaces and collembola. *Environmental Microbiology Reports*, 15, 2, 80–91. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.13133>
- BAKER, A. – GENTY, D. – SMART, P. L. 1998. High-resolution records of soil humification and paleoclimate change from variations in speleothem luminescence excitation and emission wavelengths. *Geology*, 26, 10, 903–906. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1998\)026%253C0903:HRROSH%253E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1998)026%253C0903:HRROSH%253E2.3.CO;2)
- BECK, B. F. 1976. Causes of colour differentiation in "fried egg" stalagmites. Prezentované na N.S.S. Convention, Morgantown, Western Virginia, USA.
- BECK, B. F. 1978. Color differentiation in "fried egg" stalagmites. *Journal of Sedimentary Research*, 48, 3, 821–824. <https://doi.org/10.1306/212F7577-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- BELLA, P. – BOSÁK, P. 2015. Ceiling erosion in caves: early studies and Zdeněk Roth as author of the concept. *Acta Carsologica*, 44, 1, 139–144.
- BLYTH, A. J. – BAKER, A. – COLLINS, M. J. – PENKMAN, K. E. H. – GILMOUR, M. A. – MOSS, J. <http://dx.doi.org/10.3986/AC.V44I1.7685>. – GENTY, D. – DRYSDALE, R. N. 2008. Molecular organic matter in speleothems and its potential as an environmental proxy. *Quaternary Science Reviews*, 27, 9, 905–921. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.02.002>
- BLYTH, A. J. – FUENTES, D. – GEORGE, S. C. – VOLK, H. 2015. Characterisation of organic inclusions in stalagmites using laser-ablation-micropyrolysis gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 113, 454–463. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.03.009>
- BONTEMPS, Z. – ABRIOU, D. – VENIER, S. – VERGNE, P. – MICHALET, S. – COMTE, G. – MOËNNE-LOCCOZ, Y. – HUGONI, M. 2024. Microbial diversity and secondary metabolism potential in relation to dark alterations in Paleolithic Lascaux Cave. *Npj Biofilms and Microbiomes*, 10, 121. <https://doi.org/10.1038/s41522-024-00589-3>
- BRAZIER, J.-M. – MAVROMATIS, V. 2022. Effect of growth rate on nickel and cobalt incorporation in aragonite. *Chemical Geology*, 600, 120863. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2022.120863>
- BRENNAN, E. S. – WHITE, W. B. 2013. Luminescence of speleothems: A comparison of sources and environments. *Journal of Cave and Karst Studies*, 75, 3, 210–217. <https://doi.org/10.4311/2012ES0280>
- CABROL, P. 1997a. The Blue Cave, France. In Hill, C. A. – Forti, P. (Ed.): *Cave Minerals of the World*, 2nd Edition. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, 312–316.
- CABROL, P. 1997b. Protection of speleothems. In Hill, C. A. – Forti, P. (Ed.): *Cave Minerals of the World*, 2nd Edition. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, 294–300.
- CADDEO, G. – WAELE, J. D. – FRAU, F. – RAILSBACK, L. 2011. Trace element and stable isotope data from a flowstone in a natural cave of the mining district of SW Sardinia (Italy): evidence for Zn^{2+} -induced aragonite precipitation in comparatively wet climatic conditions. *International Journal of Speleology*, 40, 2, 181–190. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.40.2.10>
- CALDWELL, J. – DAVEY, A. – JENNINGS, J. 1982. Colour in some Nullarbor Plain speleothems. *Helictite*, 20, 1, 3–10.
- CIGNA, A. A. 1958. Sulla luminescenza di alcune stalattiti calcaree. In *Attes du Deuxieme Congres International de Speleologie*. Zväzok. 1, Istituto Italiano di Speleologia, Castellana Grotte, 430–436.
- CÍLEK, V. 2002. Fenomén zakouřených jeskyní: příčiny, význam a náprava. *Aragonit*, 7, 13–15.
- DAVIS, D. G. 1982. Origin of black deposits in caves: discussion. *Bulletin of the National Speleological Society*, 44, 3, 42.
- DECHAMPS, M. 2024. Study of speleothem colours by X-ray photoelectron spectroscopy and time-of-flight secondary ion mass spectrometry. (Master's Thesis) Faculté des Sciences, Université de Namur, 66 s. dostupné na https://pure.unamur.be/ws/portalfiles/portal/104182670/2024_Dechamps_M_Memoire.pdf
- DROPPA, A. 1957. Demänovské jaskyne. Krasové zjavy Demänovskej doliny. Bratislava, Slovenská akadémia vied, 289 s.
- FRISA, S. – BORSATO, A. – HELLSTROM, J. 2018. High spatial resolution investigation of nucleation, growth and early diagenesis in speleothems as exemplar for sedimentary carbonates. *Earth-Science Reviews*, 178, 68–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.01.014>
- GASCOYNE, M. 1977. Trace element geochemistry of speleothems. In *Proceedings of the 7th International Speleological Congress*, 10 – 17 September 1977. Zväzok 1, Sheffield, England, International Union of Speleology, British Cave Research Association, 205–208. dostupné na <https://uis-speleo.org/wp-content/uploads/2020/08/Proceedings-of-The-7th-International-Speleological-Congress-Sheffield-England-September-1977.pdf>
- GÁZQUEZ, F. – CALAFORRA, J. M. – FORTI, P. 2011. Black Mn-Fe crusts as markers of abrupt palaeoenvironmental changes in El Soplao Cave (Cantabria, Spain). *International Journal of Speleology*, 40, 2, 163–169. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.40.2.8>
- GÁZQUEZ, F. – CALAFORRA, J. M. – RULL, F. – FORTI, P. – GARCÍA-CASCO, A. 2012. Organic matter of fossil origin in the amberine speleothems from El Soplao Cave (Cantabria, Northern Spain). *International Journal of Speleology*, 41, 1, 113–123. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.41.1.12>
- GÁZQUEZ, F. – RULL, F. – SANZ-ARRANZ, A. – MEDINA, J. – CALAFORRA, J. M. – DE LAS HERAS, C. – LASHERAS, J. A. 2017. In situ Raman characterization of minerals and degradation processes in a variety of cultural and geological heritage sites. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 172, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.04.035>
- GENTY, D. 1992. Les spéléothèmes du tunnel de Godarville (Belgique) – un exemple exceptionnel de concrétionnement moderne – intérêt pour l'étude de la cinétique de la précipitation de la calcite et de sa relation avec les variations d'environnement. *Speleochronos*, 4, 3–29.
- GENTY, D. – DEFLEANDRE, G. – QUINIE, Y. – VERHEYDEN, S. 1997. Les lames de croissance des spéléothèmes: origine et intérêt paléoclimatique. *Bulletin de la Société belge de Géologie*, 106, 63–77.
- GERŠL, M. – MATYŠEK, D. – GERŠLOVÁ, E. 2013. Malachitové speleotémy ve Zbrašovských aragonitových jeskyních, Hranický kras. *Acta Musei Moraviae*, 98, 1, 59–64.
- GILLSON, J. R. – MACCARTHNEY, E. 1954. Luminescence of speleothems from Devon, U.K.: The presence of organic activators. *Ashford Speleological Society Journal*, 6, 8–11.
- GONZALEZ-PIMENTEL, J. L. – MILLER, A. Z. – JURADO, V. – LAIZ, L. – PEREIRA, M. F. C. – SAIZ-JIMENEZ, C. 2018. Yellow coloured mats from lava tubes of La Palma (Canary Islands, Spain) are dominated by metabolically active Actinobacteria. *Scientific Reports*, 8, 1, 1944. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20393-2>
- GRADZIŃSKI, M. – BANAS, M. – UCHMAN, A. 1995. Biogenic origin of manganese flowstones from Jaskinia Czarna Cave, Tatra Mts., Western Carpathians. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 65, 1–4, 19–27.
- GRADZIŃSKI, M. – GÓRNY, A. – PAZDUR, M. F. 2003. Origin of black coloured laminae in speleothems from the Kraków-Wieluń; Upland, Poland. *Boreas*, 32, 3, 532–542. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2003.tb01233.x>
- GRADZIŃSKI, M. – HERCMAŃ, H. – BELLA, P. – DEBAENE, G. – NOWICKI, T. 2002. Tmavé laminácie v sintrových nátekoch jaskyne Domica ako indikátor aktivít pravekých ľudí (Dark coloured laminae within speleothems of the Domica Cave as an indicator of the prehistoric men activity). *Slovenský kras*, 40, 41–48.
- GRADZIŃSKI, M. – HERCMAŃ, H. – NOWAK, M. – BELLA, P. 2007. Age of black coloured laminae within speleothems from Domica Cave and its significance for dating of prehistoric human settlement. *Geochronometria*, 28, 39–45. <https://doi.org/10.2478/v10003-007-0029-7>

- HILL, C. A. 1982. Origin of black deposits in caves. *Bulletin of the National Speleological Society*, 44, 1, 15–19.
- HILL, C. A. 1987. Geology of Carlsbad Cavern and other caves in the Guadalupe Mountains, New Mexico and Texas. Roč. 117, Socorro, New Mexico, New Mexico Bureau of Mines and Minerals Resources Bulletin, 150 s.
- HILL, C. A. – FORTI, P. 1997. Cave Minerals of the World, 2nd Edition. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, 463 s.
- HOLUBEK, P. 2007. Správa z prieskumu Jaskyne v tuneli v Kľačovanoch. Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti, 38, 2, 22–26.
- HORNÍK, S. 1982. Základy fyzickej geografie. 1. vyd. Praha, Státní pedagogické nakladatelství, 398 s.
- CHALMIN, E. – PERRETTE, Y. – FANGET, B. – SUSINI, J. 2013. Investigation of organic matter entrapped in synthetic carbonates—a multimethod approach. *Microscopy and Microanalysis*, 19, 1, 132–144. <https://doi.org/10.1017/S1431927612013773>
- CHANG, S. J. – JEONG, G. Y. – KIM, S. J. 2008. The origin of black carbon on speleothems in tourist caves in South Korea: Chemical characterization and source discrimination by radiocarbon measurement. *Atmospheric Environment*, 42, 8, 1790–1800. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.11.042>
- CHRISTIDIS, G. E. – SAKELLARIOU, N. – REPOUSKOU, E. – MARKOPOULOS, T. 2004. Influence of organic matter and iron oxides on the colour properties of a micritic limestone from Kefalonia. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 36, 1, 72–79. <https://doi.org/10.12681/bgsg.16573>
- JAKUCS, L. 1962. Über die Färbung der Tropfsteine in den Höhlen. *Karszt-és Barlangkutatás*, 3, 21–47.
- JAMES, J. M. 2003. The Crystal Gallery. In Hamilton-Smith, E. – Finlayson, B. (Ed.): *Beneath the Surface: A Natural History of Australian Caves*. UNSW Press, 53–88.
- JAMES, J. M. – PATSAIDES, E. – COX, G. 1994. Amino acid composition of stromatolitic stalagmites. *Geomicrobiology Journal*, 12, 3, 183–194. <https://doi.org/10.1080/01490459409377985>
- JEONG, G. Y. – KIM, S. J. – CHANG, S. J. 2003. Black carbon pollution of speleothems by fine urban aerosols in tourist caves. *American Mineralogist*, 88, 11–12, 1872–1878. <https://doi.org/10.2138/am-2003-11-1230>
- KAL, J. – MARTÍNEZ-PILLADO, V. – MARTÍNEZ CORTIZAS, A. – SANJURJO SÁNCHEZ, J. – ARANBURU, A. – ARSLUAGA, J. L. – IRIARTE, E. 2021. Bacteria, guano and soot: Source assessment of organic matter preserved in black laminae in stalagmites from caves of the Sierra de Atapuerca (N Spain). *International Journal of Speleology*, 50, 2, 121–135. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.50.2.2382>
- KAUSHAL, N. – YANG, L. – TANZIL, J. T. I. – LEE, J. N. – GOODKIN, N. F. – MARTIN, P. 2020. Sub-annual fluorescence measurements of coral skeleton: relationship between skeletal luminescence and terrestrial humic-like substances. *Coral Reefs*, 39, 5, 1257–1272. <https://doi.org/10.1007/s00338-020-01959-x>
- KETTNER, R. 1948a. O netopýřím guanu a guanových korosích v jeskyni Domici. *Sborník Státního geologického ústavu Československé republiky*, 15, 41–64.
- KETTNER, R. 1948b. Všeobecná geologie. III. Vnější síly geologické, povrch zemský /. 1. vyd. Praha, Melantrich, 765 s.
- KLEIN, C. 2006. Mineralógia. Bratislava, Oikos-Lumon, 688 s. (preklad Manual of Mineral Science, 22nd Edition, 2002, prel. Majzlan, J.).
- KRÁL, Z. 1971. Studie vzniku a barevnosti krápníkových útvarů. *Československý kras*, 23, 7–15.
- KRÁL, Z. 1975. Die Bedingungen der Farbigkeit von Tropfsteinformationen. In Panoš, V. (Ed.): *Proceedings of the 6th International Congress of Speleology*, Olomouc – ČSSR. Zvázok 1, Academia, Praha, 269–271. dostupné na <https://uis-speleo.org/wp-content/uploads/2020/08/1973-ICS-proceedings-v-1.pdf>
- KUNSKÝ, J. 1939. Ardoňská jaskyň ve Slovenském krasu. *Rozpravy České akademie věd a umění. Třída II, Matematicko-přírodovědecká*, 49, 21, 1–12.
- KUNSKÝ, J. 1950. Kras a jaskyň. 1. vyd. Praha, Přírodovědecké nakladatelství, 163 s.
- LAURITZEN, S.-E. – FORD, D. C. – SCHWARTZ, H. P. 1986. Humic substances in speleothem matrix, paleoclimate significance. In *Proceedings of the 9th International Congress of Speleology*, 1 – 7 August, 1986. Zvázok 2, Catalan Federation of Speleology, Barcelona, Spain, 77–79. dostupné na <https://uis-speleo.org/wp-content/uploads/2020/08/IX-Int-Congr-Speleol-1986-Barcelona-Spain-VOL-II.pdf>
- LITVIA, J. – BELLA, P. – HERICH, P. – MELECA, M. – VIŠŇOVSKÁ, Z. – HAVIAŘOVÁ, D. – PAPÁČ, V. – DUŠKOVÁ, L. – ŽILKA, A. – REHÁKOVÁ, D. – HALÁSOVÁ, E. 2023. Jaskyň pri Hrboltovej objavené pri výstavbe diaľnice D1 Hubová – Ivachnová / Caves near the Hrboltová discovered during the construction of the highway D1 Hubová – Ivachnová (northern Slovakia). *Aragónit*, 28, 1–2, 5–17.
- LUNDBERG, J. – MCFARLANE, D. A. 2011. Subaerial freshwater phosphatic stromatolites in Deer Cave, Sarawak – A unique geobiological cave formation. *Geomorphology*, 128, 1, 57–72. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.12.022>
- MALTSEV, V. A. 1997. Cupp-Coutunn Cave, Turkmenistan. In Hill, C. A. – Forti, P. (Ed.): *Cave Minerals of the World*, 2nd Edition. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, 323–328.
- MALTSEV, V. A. – SELF, C. A. 1992. Cupp-Coutunn cave system, Turkmenia, Central Asia. *Proceedings of the Bristol Speleological Society*, 19, 2, 117–149.
- MANN, K. – POUBA, Z. – ŠANTRŮČEK, P. 1949. Nová speleologická studia v Domici. *Sborník Československé společnosti zeměpisné*, 54, 2, 99–106.
- MARTÍNEZ-PILLADO, V. – YUSTA, I. – IRIARTE, E. – ÁLVARO, A. – ORTEGA, N. – ARANBURU, A. – ARSLUAGA, J. L. 2020. The red coloration of Goikotxe Cave's speleothems (Busturia, Spain): An indicator of paleoclimatic changes. *Quaternary International*, 566–567, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.006>
- MARTÍN-GARCÍA, R. – ALONSO-ZARZA, A. M. – MARTÍN-PÉREZ, A. – SCHRÖDER-RITZAU, A. – LUDWIG, T. 2014. Relationships between colour and diagenesis in the aragonite-calcite speleothems in Basajaún Etxea cave, Spain. *Sedimentary Geology*, 312, 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2014.08.001>
- MARTÍN-GARCÍA, R. – MARTÍN-PÉREZ, A. – ALONSO-ZARZA, A. M. – MELÉNDEZ, A. – FACI, E. 2011. The coloured aragonite speleothems from Mina de Lantz Cave, Navarra, Spain: origin and diagenesis. In Bádenas, B. – Aurell, M. – Alonso-Zarza, A. M. (Ed.): *Abstracts, 28th IAS Meeting of Sedimentology*, Zaragoza, Spain, 122.
- MENGLER, Z. – VLK, L. – ZÁVIŠKA, M. – ŽÁK, K. – MARTINEK, M. 2011. Petzoldovy jaskyň – nový významný speleologický objav v Českém krasu. *Český kras*, 37, 5–14.
- MURI, G. – JOVIČIĆ, A. – MIHEV, A. 2013. Source assessment of deposited particles in a Slovenian show cave (Postojnska jama): evidence of long-lasting anthropogenic impact. *International Journal of Speleology*, 42, 3, 225–233. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.42.3.6>
- NORTHUP, D. E. – MELIM, L. A. – SPILDE, M. N. – HATHAWAY, J. J. M. – GARCIA, M. G. – MOYA, M. – STONE, F. D. – BOSTON, P. J. – DAPKEVICIUS, M. L. N. E. – RIQUELME, C. 2011. Lava cave microbial communities within mats and secondary mineral deposits: implications for life detection on other planets. *Astrobiology*, 11, 7, 601–618. <https://doi.org/10.1089/ast.2010.0562>
- ONAC, B. P. – PEDERSEN, R. B. – TYSSELAND, M. 1997. Presence of rare-earth elements in black ferromanganese coatings from Vântului Cave (Romania). *Journal of Cave and Karst Studies*, 59, 3, 128–131.
- ORVOŠOVÁ, M. – MILOVSKÁ, S. – MIKÚŠ, T. – ŠMOLL, J. – MAJERNÍKOVÁ, G. – KAROŠIAK, I. 2016. Sintre zafarbené kovovými iónmi v Modrej jaskyni, Nízke Tatry, Slovensko. *Slovenský kras*, 54, 2, 131–138.
- PÁLYI, G. 1959. Csepőkővek és bevonatok színének tanulmányozása (I) / Study on coloured stalactites and coatings (I). *Karszt- és Barlangkutatás*, 1, 109–113.
- PÁLYI, G. 1960. Study on coloured stalactites end coatings (II) Some geochemical and karst-hydrological aspects of the formation of colourations in caves. *Karszt- és Barlangkutatás*, 2, 137–145.
- PÁLYI, G. 1962. Study on coloured stalactites and coatings (III). *Karszt- és Barlangkutatás*, 4, 69–79.
- PAPIER, S. – BAELE, J.-M. – GILLAN, D. – BARRIQUAND, L. – BARRIQUAND, J. 2011. Manganese geomicrobiology of the black deposits from the Azé Cave, Saône-et-Loire, France. *Quaternaire, Hors-série*, 4, 297–305.
- PAWLYTA, M. – HERCMAN, H. 2016. Transmission electron microscopy (TEM) as a tool for identification of combustion products: application to black layers in speleothems. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 86, 2, 237–248. <https://doi.org/10.14241/asgp.2016.004>
- PEARSON, A. R. – HARTLAND, A. – FRISIA, S. – FOX, B. R. S. 2020. Formation of calcite in the presence of dissolved organic matter: Partitioning, fabrics and fluorescence. *Chemical Geology*, 539, 119492. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119492>
- PECK, S. B. 1986. Bacterial deposition of iron and manganese oxides in North American caves. *Bulletin of the National Speleological Society*, 48, 1, 26–30.
- PERRETTE, Y. 2000. Etude de la structure interne des stalagmites : contribution à la connaissance géographique des évolutions environnementales du Vercors (France): développement et application d'une approche multiparamètre des archives stalagmitiques. (Doctoral Thesis) Université de Savoie, Chambéry, 324 s. dostupné na <https://theses.fr/2000CHAM008>
- PERRETTE, Y. – DELANNOY, J.-J. – DESMET, M. – LIGNIER, V. – DESTOMBES, J.-L. 2005. Speleothem organic matter content imaging. The use of a Fluorescence Index to characterise the maximum emission wavelength. *Chemical Geology*, 214, 3, 193–208. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.09.002>
- PETRÁNEK, J. – POUBA, Z. 1951. Pokus o datování vývoje jaskýň Domici na základě studia tmavých zón v krápnících a sintru. *Sborník Ústředního ústavu geologického*, 8, 245–272.
- PHILLIPS, R. – LARSEN, C. – GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA 2025. Dinosaur tracks, caves, springs, & more in San Antonio, TX! dostupné na <https://www.youtube.com/watch?v=YT7KkubWeQs>
- POLYAK, V. J. 1992. The mineralogy, petrography and diagenesis of carbonate speleothems from caves in the Guadalupe Mountains, New Mexico. (Master's Thesis) Texas Tech University, 165 s. dostupné na <http://hdl.handle.net/2346/61231>

- PORCA, E. – JURADO, V. – ŽGUR-BERTOK, D. – SAIZ-JIMENEZ, C. – PAŠIĆ, L. 2012. Comparative analysis of yellow microbial communities growing on the walls of geographically distinct caves indicates a common core of microorganisms involved in their formation. *FEMS Microbiology Ecology*, 81, 1, 255–266. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2012.01383.x>
- QUINLAN, J. F. – TRAVERSE, A. 1967. Humic acid and humate deposits in Salts Cave and Mammoth Cave. *Bulletin of the National Speleological Society*, 29, 3, 98–99.
- RAMSEYER, K. – MIANO, T. M. – D'ORAZIO, V. – WILDBERGER, A. – WAGNER, T. – GEISTER, J. 1997. Nature and origin of organic matter in carbonates from speleothems, marine cements and coral skeletons. *Organic Geochemistry*, 26, 5, 361–378. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(97\)00008-9](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00008-9)
- ROSSI, C. – LOZANO, R. P. – ISANTA, N. – HELLSTROM, J. 2010. Manganese stromatolites in caves: El Soplo (Cantabria, Spain). *Geology*, 38, 12, 1119–1122. <https://doi.org/10.1130/G31283.1>
- ROTH Z. 1937. Vývoj jeskyně Domice (L' evolution des grottes de Domica). Bratislava, 11, 129–163.
- ROTH, Z. 1941. Vývojový vztah jeskyně Baradel k jeskyni Domici v Jihošlovenském Krase. *Věstník Královské české společnosti nauk. Třída mathematicko-přírodovědecká*, 1–9.
- ROWLING, J. 2004. Studies on aragonite and its occurrence in caves, including New South Wales caves. *Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales*, 137, 3–4, 123–149. <https://doi.org/10.5962/p.361537>
- RUBÍN, J. – SKRIVÁNEK, F. 1963. Československé jeskyně: turistické zajímavosti ČSSR. 1. vyd. Praha, Sportovní a turistické nakladatelství, 105 s.
- SAIZ-JIMENEZ, C. 2012. Microbiological and environmental issues in show caves. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 7, 2453–2464. <https://doi.org/10.1007/s11274-012-1070-x>
- SAIZ-JIMENEZ, C. – HERMOSIN, B. 1999. Thermally assisted hydrolysis and methylation of the black deposit coating the ceiling and walls of Cueva del Encajero, Quesada, Spain. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 49, 1–2, 349–357. [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(98\)00113-2](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(98)00113-2)
- SALA, P. – BELLA, P. – POSTAWA, T. – WRÓBLEWSKI, W. – GRADZIŃSKI, M. 2023. Corrosion of carbonate speleothems by bat guano. *Sedimentary Geology*, 454, 106454. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2023.106454>
- SAWLÓWICZ, Z. – PRZYBYŁO, J. – BORON, K. 2014. Colourful speleothems in the Wieliczka Salt Mine. *Geological Quarterly*, 58, 3, 449–458. <https://doi.org/10.7306/gq.1155>
- SHOPOV, Y. Y. 2006. Speleothem paleoluminescence – The past twenty years. In Harmon, R. S. – Wicks, C. M. (Eds.): *Perspectives on Karst Geomorphology, Hydrology, and Geochemistry – A Tribute Volume to Derek C. Ford and William B. White*, Geological Society of America, 319–330.
- SLÁČEK, J. 1974. Využití fotoluminiscenčních jevů v jeskyních. *Československý kras*, 26, 94–96.
- SMITH, G. K. 2023. Non-carbonate Caves: Boulder, fissure, piping and sea. In Webb, J. – White, S. – Smith, G. K. (Ed.): *Australian Caves and Karst Systems*. Springer International Publishing, Cham, 253–266.
- SPLIDE, M. N. – NORTHUP, D. E. – BOSTON, P. J. – SCHELBLE, R. T. – DANO, K. E. – CROSSEY, L. J. – DAHM, C. N. 2005. Geomicrobiology of cave ferromanganese deposits: A field and laboratory investigation. *Geomicrobiology Journal*, 22, 3–4, 99–116. <https://doi.org/10.1080/014904505090945889>
- STEELMAN, K. L. – ROWE, M. W. – BOUTTON, T. W. – SOUTHERN, J. R. – MERRELL, C. L. – HILL, R. D. 2002. Stable isotope and radiocarbon analyses of a black deposit associated with pictographs at Little Lost River Cave, Idaho. *Journal of Archaeological Science*, 29, 10, 1189–1198. <https://doi.org/10.1006/jasc.2001.0791>
- STĚHLÍK, V. – KUNSKÝ, J. 1953. Macocha a Moravský kras. 1. vyd. Praha, Orbis, 268 s.
- STEVENSON, F. J. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & Sons, 516 s.
- ŠEBELA, S. – MILLER, M. – SKOBE, S. – TORKAR, S. – ŽUPANČIČ, N. 2015. Characterization of black deposits in karst caves, examples from Slovenia. *Facies*, 61, 6. <https://doi.org/10.1007/s10347-015-0430-z>
- TURNER, K. 2002. Chromophores producing blue speleothems at Cliefden, NSW. *Helictite*, 38, 1, 3–6.
- VAHALA, M. 1976. *Okolí Brna, průvodce*. 1. vyd. Praha, Olympia, 256 s.
- van Beynen, P. – Bourbonniere, R. – Ford, D. C. – Schwarcz, H. P. 2001. Causes of colour and fluorescence in speleothems. *Chemical Geology*, 175, 3, 319–341. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(00\)00343-0](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(00)00343-0)
- VITÁSEK, F. 1938a. Krasové problémy Demänové. In *Otisk ze sborníku IV. sjezdu československých geografů v Olomouci 1937*, 98–102.
- VITÁSEK, F. 1938b. Nové práce v Demänovských jeskyních. Zvláštní otisk ze „Sborníku Československé společnosti zeměpisné“ v Praze, 44, 3–4, 54–59.
- VITÁSEK, F. 1940. Der Rhythmus im Wachstum der Tropfsteine und die Demänovhöhlen. *Zeitschrift für Geomorphologie special issue*, 11, 2–3, 113–122.
- VITÁSEK, F. 1946. Všeobecný zeměpis v hlavních obrysech. Praha, Státní nakladatelství, 266 s.
- VITÁSEK, F. 1948. Fysický zeměpis. 1. díl, Ovzduší a vodstvo. 2. vyd. Praha, Melantrich, 395 s.
- VITÁSEK, F. 1949. Fysický zeměpis. 2. díl, Pevnina. 2. vyd. Praha, Melantrich, 441 s.
- VITÁSEK, F. 1951. О структуре, ритмическом росте и возрасте сталагмитов Деменовских пещер в Словакии. *Известия Академии наук СССР*, 1, 144–147.
- VITÁSEK, F. 1953. Fysický zeměpis. 1. díl, Ovzduší a vodstvo. 3. vyd. Praha, Nakladatelství Československé akademie věd, 487 s.
- VITÁSEK, F. 1954. Fysický zeměpis. 2. díl, Pevnina. 3. vyd. Praha, Nakladatelství Československé akademie věd, 598 s.
- VITÁSEK, F. 1966. *Základy fyzického zeměpisu*. / 1. vyd. Praha, Academia, 531 s.
- VLEGHE, M. – ROCHEZ, G. – PIRE-STEVENNE, S. – FELTEN, A. – DECHAMPS, M. – MOUCHET, S. R. – CECCHET, F. – BRUGUIER, O. – GALÉRA, J.-L. – LIMA-MENDEZ, G. – LUIRÓS DUPRÉ, M. – YANS, J. 2025. Polymetallic interactions of Zn-Pb-Cu in blue/green-colored speleothems from Malaval Cave (France). *Geochemistry*, 85, 3, 126285. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2025.126285>
- VLEGHE, M. – ROCHEZ, G. – PIRE-STEVENNE, S. – STORME, J.-Y. – DEKONINCK, A. – VANBRABANT, Y. – NAMUR, O. – ZHANG, Y. – VAN HAM-MEERT, A. – DONNADIEU, J.-P. – BERBIGÉ, M. – HASBROUCQ, J.-L. – YANS, J. 2023. Ni-rich mineral nepouite explains the exceptional green color of speleothems. *Scientific Reports*, 13, 1, 15017. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41977-7>
- VLEGHE, M. – WOUTERS, J. – FANUEL, G. – DRION DU CHAPOIS, J.-F. – GALLEZ, A. – PIRE-STEVENNE, S. – ROCHEZ, G. – YANS, J. 2026. Non-destructive characterization of variously colored gypsum and aragonite/calcite speleothems from the Cigalère Cave (Ariège, France). *International Journal of Speleology*, 55, 1, ijs2564. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.ij.s2564>
- VYTRÁS, K. – VYTRÁSOVÁ, J. 1975a. Spectrophotometric determination of iron in limestones and cave fillings. In Panoš, V. (Ed.): *Proceedings of the 6th International Congress of Speleology, Olomouc – ČSSR. Svazek I*, Academia, Praha, 205–208. dostupné na <https://uis-speleo.org/wp-content/uploads/2020/08/1973-ICS-proceedings-v-1.pdf>
- VYTRÁS, K. – VYTRÁSOVÁ, J. 1975b. Stanovení obsahu železa ve vápencích a jeskynních výplních ve vztahu k jejich zbarvení. *Československý kras*, 27, 21–28.
- WEBER, J. Properties of humic substances [online]. dostupné na <http://karnet.up.wroc.pl/~weber/kwas2.htm>
- WELLS, D. A. 1852. On the existence of organic matter in stalactites and stalagmites, forming crystallized and amorphous crenate of lime. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 4, 23, 155–156. <https://doi.org/10.1080/14786445208647092>
- WHITE, W. B. 1981. Reflectance spectra and color in speleothems. *Bulletin of the National Speleological Society*, 43, 1, 20–26.
- WHITE, W. B. 1984. Humic substances as pigments in cave calcite deposits. *Bulletin of the National Speleological Society*, 46, 1, 20.
- WHITE, W. B. 1986. Luminescence in cave calcite deposits: A current appraisal. *Bulletin of the National Speleological Society*, 48, 1, 40.
- WHITE, W. B. 1997. Color of speleothems. In Hill, C. A. – Forti, P. (Ed.): *Cave Minerals of the World*, 2nd Edition. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, 239–244.
- WHITE, W. B. – BRENNAN, E. S. 1989. Luminescence of speleothems due to fulvic acid and other activators. In *Proceedings of the 10th International Congress of Speleology*, 13 – 20 August 1989, MTA Sokszorosító, Budapest, Hungary, 212–214. dostupné na <https://uis-speleo.org/wp-content/uploads/2020/08/1989-ICS-proceedings-v-1.pdf>
- WHITE, W. B. – SCHEETZ, B. E. – ATKINSON, S. D. – IBBERTSON, D. – CHESSE, C. A. 1985. Mineralogy of Rohrer's Cave, Lancaster County, Pennsylvania. *Bulletin of the National Speleological Society*, 47, 1, 17–27.
- WHITE, W. B. – VAN GUNDY, J. J. 1974. Reconnaissance geology of Timpanogos Cave, Wasatch County, Utah. *Bulletin of the National Speleological Society*, 36, 1, 5–17.
- WHITE, W. B. – VITO, C. – SCHEETZ, B. E. 2009. The mineralogy and trace element chemistry of black manganese oxide deposits from caves. *Journal of Cave and Karst Studies*, 71, 2, 136–173.
- ŽÁK, K. – TÁBORSKÝ, Z. – KADLEC, J. – ČÍLEK, V. 2004. Jeskynní sedimenty a vývoj krasových jevů v údolí řeky Berounky v Českém krasu: Závěrečná zpráva a dokumentace provedených prací projektu Grantové agentury ČR c. 205/02/0449. Česká geologická služba, Praha, 16 s. archiv Geofond – Česká geologická služba, archivné číslo: CGS P000009/2004
- ŽUPAN HAJNA, N. – MIHEVC, A. – BOSÁK, P. – PRUNER, P. – HERCMAN, H. – HORÁČEK, I. – WAGNER, J. – ČERMÁK, J. – PAWLAK, J. – SIERPIEŃ, P. – KDÝR, Š. – JUŘÍČKOVÁ, L. – ŠVARA, A. 2021. Pliocene to Holocene chronostratigraphy and paleoenvironmental records from cave sediments: Račička pečina section (SW Slovenia). *Quaternary International*, 605–606, 5–24. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.02.035>
- ŽUPANČIČ, N. – ŠEBELA, S. – MILLER, M. 2011. Mineralogical and chemical characteristics of black coatings in Postojna cave system. *Acta Carsologica*, 40, 2, 307–317. <https://doi.org/10.3986/ac.v40i2.15>

DATA BÁZA PRIESTOROVÝCH 3D DÁT MOBILNÉHO LASEROVÉHO SKENOVANIA SLOVENSKÝCH JASKÝŇ A ICH UPLATNENIE

Pavel Herich^{1,2,3} – Laura Dušeková^{1,3}

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

² Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoinformatiky, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4

³ Slovenská speleologická spoločnosť, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš

P. Herich, L. Dušeková: Database of 3D spatial data from mobile laser scanning of Slovak caves and their applications

Abstract: High-quality spatial data from caves remain significantly underdeveloped compared to surface datasets, largely due to the inaccessibility, complexity, and technical limitations of subterranean environments. Since 2021, a comprehensive 3D database of Slovak caves has been systematically developed using mobile laser scanning (MLS) with GeoSLAM Zeb Horizon systems, supported by precise cave entrance localization, stabilised survey networks, and polygonal referencing. The resulting spatial dataset currently represents the most extensive 3D cave documentation in Slovakia, covering dozens of cave systems and major corridors. This paper presents the methodology of MLS data acquisition, georeferencing, and database architecture, and evaluates the accuracy, limitations, and practical usability of MLS in comparison with traditional surveying. Despite higher noise levels than terrestrial laser scanning (TLS), MLS provides highly efficient and morphologically complete 3D representations with minimal occlusions, enabling applications across geomorphology, geology, hydrology, climatology, glaciology, biospeleology, management, and cave protection. Examples demonstrate its contribution to structural mapping, monitoring of ice-body changes, detection of anthropogenic impacts, modelling of microclimate processes, and integration with surface LiDAR for assessing cave-surface relationships. The findings confirm MLS as an effective and versatile tool for large-scale cave documentation, offering long-term baseline data essential for research, monitoring, and protection of karst geosystems.

Key words: SLAM based lidar, MLS, 3D cave database, cave surveying, cave and karst protection, cave geomorphology.

ÚVOD

Základné priestorové dáta z jaskýň čo do obsahu, kvality a množstva významne zaostávajú za poznatkami o povrchu planéty Zem. Jeho prieskum je dnes do značnej miery automatizovaný a realizovaný širokou paletou senzorov umiestnených najmä na lietadlách a satelitoch, kým pre podzemné priestory sa takmer žiadna z týchto technológií a postupov diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) nedá uplatniť. Je to spôsobené nedostupnosťou a nehostinnosťou jaskynného podzemia, najmä

morfológickými a klimatickými podmienkami (stiesnené, členité a nezriedka nebezpečné priestory, tma, vlhkosť a pod.), kde absentujú mobilné či satelitné signály a s výnimkou sprístupnených jaskýň nie je vybudovaná žiadna podporná infraštruktúra. Mapovanie jaskýň je preto dlhodobou a náročnou úlohou, no v súčasnosti prebieha veľký evolučný krok v možnostiach prístupu, efektívnosti a predovšetkým kvalite získavaných dát, reprezentovaný najmä laserovým skenovaním jaskýň, ktoré tak predstavuje analógiu k metódam DPZ aplikovaným na povrchovú krajinu.

V rámci úloh Správy slovenských jaskýň a z vlastnej iniciatívy sa od roku 2021 buduje databáza 3D údajov zo slovenských jaskýň, ktorá má slúžiť celému radu aplikácií a potrieb. Účelom predkladaného textu je priniesť speleologickej aj širšej odbornej komunite na Slovensku základný prehľad o možnostiach, dostupnosti, kvalite a uplatniteľnosti priestorových 3D dát pri výskume, manažmente, využívaní a ochrane krasu a jaskýň v SR.

LASEROVÉ SKENOVANIE V JASKYNIACH

TERESTRICKÉ LASEROVÉ SKENOVANIE – TLS

V poslednom desaťročí je získavanie dát prostredníctvom TLS čoraz častejšie a stáva sa významnou súčasťou výskumu v speleológii. Príklady využívania TLS pri mapovaní jaskýň vo svete uvádzajú Idrees a Pradhan (2016), z novších štúdií sa realizovalo napr. TLS jaskyne Akçakale v Turecku na zistenie vzťahov medzi povrchovou krajinou a jaskyňou s využitím pre manažment jaskyne a na stanovenie možných rizík (Çömert et al., 2023), marockej jaskyne Aziza na jej virtuálnu reprezentáciu a spresnenie mapy (Benani et al., 2022), na 3D mapovanie a dokumentáciu jaskyne Dutch Cave (west Java; Kartiny et al., 2022), či sprístupnenej časti Mechowo Caves v Poľsku (Klapa et al., 2024). Na Slovensku sa TLS dosiaľ realizovalo v Dobšinskej ľadovej jaskyni (Gašinec et al., 2012; Pukanská et al., 2024), v jaskyni Dúpnica (Bella et al., 2015) a Domici (Gallay et al., 2015 a 2016; Hofierka et al., 2016), v Medvedej jaskyni v Slovenskom raji (Pukanská et al., 2018), Belianskej jaskyni (Bartoš et al., 2018),



Obr. 1. Práca s MLS Zeb Horizon v uránových baniach Kirgizska. Foto: Tanguy Racine

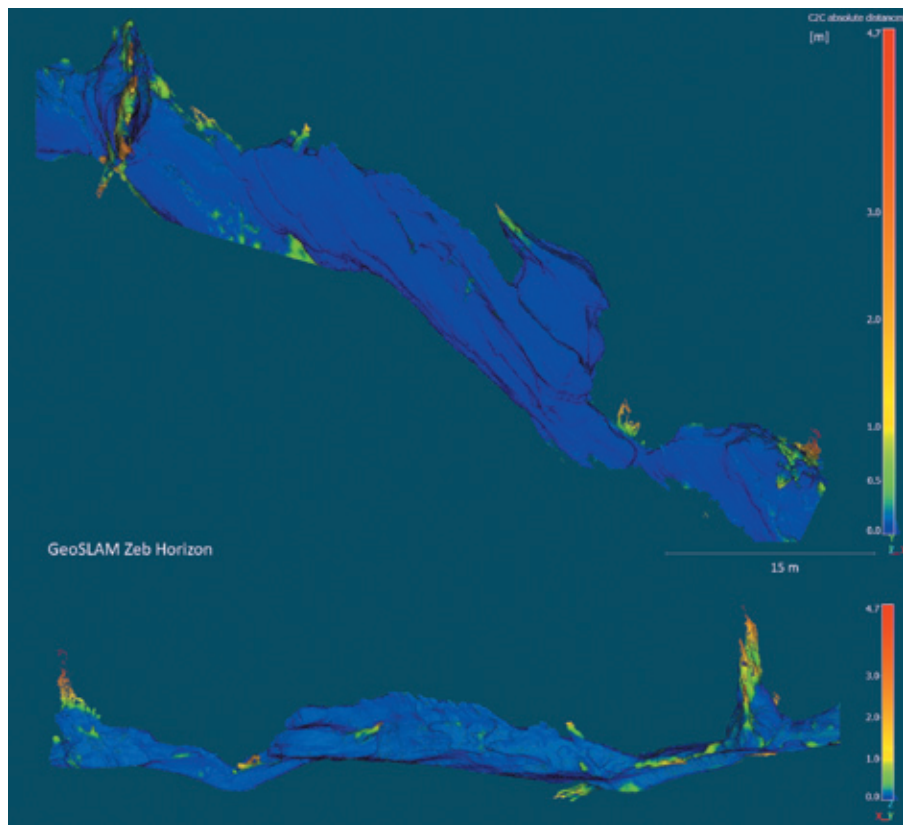
Silickej ľadnici (Šupinský et al., 2019 a 2024), Ochtinskej aragonitovej jaskyni (Pukanská et al., 2020; Bartoš et al., 2021; Bella et al., 2022) a Jaskyni mŕtvych netopierov (Nováková et al., 2022 a 2023). Ukazuje sa ako užitočný nástroj najmä v geomorfologickom a geologickom výskume (Bella et al., 2015; Gallay et al., 2015 a 2016; Hofierka et al., 2016; Fabbri et al., 2017; De Waele et al., 2018; Petrovic et al., 2018; Pukanská et al., 2020; Bartoš et al., 2021; Bella et al., 2022; Santagata et al., 2022; Nováková et al., 2022 a 2023; Pasierb et al., 2024; Littva et al., 2024; Sevil-Aguarele et al., 2025), pri mapovaní zmien ľadových výplní (Petters a Milius, 2011; Milius a Petters, 2012; Gómez-Lende et al., 2014; Gómez-Lende a Sánchez-Fernández, 2018; Šupinský et al., 2019 a 2024; Blatnik et al., 2022; Pfeiffer et al., 2023; Pukanská et al., 2024), no aj v biospeleológii (McFarlane et al., 2015; Fabbri et al., 2017; Shazali et al., 2017) či pri mapovaní antropogénnych javov a zmien (Jalandoni et al., 2021; Kartini et al., 2023).

MOBILNÉ LASEROVÉ SKENOVANIE – MLS

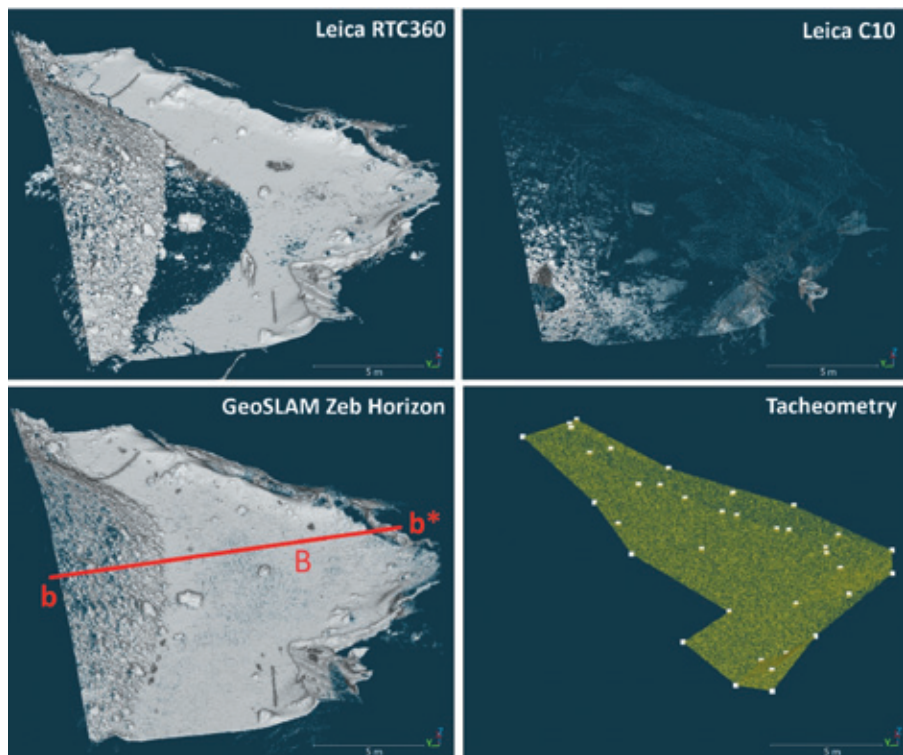
Kľúčovú zmenu v efektívnosti (skenovanie je rýchlejšie a plynulejšie) a kvalite (výsledné mračná majú väčší šum, ale naopak menej zakrytých oblastí – miest bez dát v priestore) však prináša až mobilné laserové skenovanie (obr. 1), resp. MMS (z angl. *Mobile Mapping Systems*), alebo inak SLAM-based scanning (z angl. *Simultaneous Localization and Mapping*; Durrant-Whyte a Bailey, 2006), ktoré v jaskynnom prostredí ako prví demonštrovali Zlot a Bosse (2014) v dvoch jaskynných systémoch – Jenolan Caves a Koonalda Cave v Austrálii. Prvé výsledky a skúsenosti z prostredia jaskýň na Slovensku uvádza na príklade Zbojníckej jaskyne Herich (2021); na ich základe pokračoval s MLS aj v ďalších jaskyniach v Demänovskej doline (Herich, 2023). V súčasnosti štúdie o MLS jaskýň sú aj v zahraničí zamerané najmä na jeho potenciál využitia či prípadné limitácie, najmä v súvislosti s nižšou presnosťou (najmä šum a registračné chyby) v porovnaní s TLS (Di Stefano et al., 2023; Tando et al., 2023; Pluta a Siemek, 2023; Cera, 2024; Littva et al., 2024; Dušeková et al., 2024; Redovniković et al., 2025; Dušeková, 2025).

POROVNÁVANIE A TESTOVANIE MLS

Spôľahlivosť MLS dát z jaskýň bola testovaná v rámci spolupráce s Ústavom geodézie, kartografie a GIS Technickej univerzity v Košiciach (Dušeková, 2025), a to na rôznych typoch povrchov a jaskynných výplní. Na obr. 2 možno vidieť **porovnanie vzájomných vzdialeností** mračna z MLS GeoSLAM Zeb Horizon, k mračnu z referenčného skenera Leica Scanstation C10 na výskumnej lokalite – v Sieni smútočnej vrby jaskyne Okno (Demänovská dolina). Z obrázka je zrejmé, že rozdiely sú na väčšine povrchu sledovanej siene minimálne – priemerná C2C vzdialenosť po filtrácii šumu bola na reprezentatívnom priečnom reze len 0,0172 m. Mračná sa líšia najmä v miestach nedostupných pre stacionárny skener, kde nachádzame diery, resp. dátové tieňe, no pre jaskynné prostredie skenované TLS sú charakteristické a **naopak** MLS ich dokáže celistvo zachytiť. Registračná chyba (RMS) na približne 200 m dlhom úseku jaskyne zahŕňajúcom aj skúmanú lokalitu dosahovala 0,074 m.



Obr. 2. Mračno bodov z MLS (Zeb Horizon) ofarbené podľa vzájomnej vzdialenosti k referenčnému mračnu z TLS (Leica C10) v Sieni smútočnej vrby jaskyne Okno z pohľadu zhora (hore) a z bočného pohľadu (dole) (Dušeková, 2025).



Obr. 3. Porovnanie dát z MLS (Zeb Horizon) a TLS (RTC360 a C10) s referenčným povrchom získaným tachymetriou. Na zaľadnenom horizontálnom povrchu čiastočne pokrytom vodnou plochou s hĺbkou do 10 cm v Zrútenom dome Dobšinskej ľadovej jaskyne sa síce 3D mračno zo skenera Zeb Horizon vyznačuje vyšším šumom, no ako jediné je spojitý a zachytáva celý povrch bez dier spôsobených výskytom vodnej plochy (Dušeková et al., 2024).

Testovanie prebehlo aj v prostredí Dobšinskej ľadovej jaskyne z dôvodu potreby dlhodobého monitoringu zmien ľadu, kde sa vlnová dĺžka lasera uvedeného MLS ukázala ako najuniverzálnejšia z hľadiska celistvosti

dát na rôznych typoch ľadu (obr. 3). Registračné chyby (RMS) dvoch trajektórií zachytávajúcich celú zaľadnenú časť jaskyne boli 0,111 m a 0,112 m a vzájomné vzdialenosti mračen k referenčnému povrchu z tachymetrie (na

horizontálnych povrchoch) alebo fotogrametrie (na vertikálnych povrchoch a v tuneli) tu po filtrácii šumu dosahovali na skúmaných priečných rezoch od 0,009 po 0,020 m (Dušeková et. al., 2024; obr. 4).

Z hľadiska **časovej náročnosti získavania dát** predstavuje MLS výraznú výhodu oproti TLS. Reprezentatívne porovnanie bolo dosiahnuté v hlavnej úrovňovej chodbe jaskyne Okno, ktorej precízne MLS skenovanie aj s príslušnými odbočkami trvalo kumulatívne do 2 hodín (4 trajektórie s trvaním do 20 minút, jedna osoba), rýchly MLS sken celého úseku jaskyne dokonca len 23 min. Rovnaký úsek jaskyne si v rámci TLS skenovania vyžiadala dva plné pracovné dni (3 osoby), výsledný sken bol navyše menej celistvý, s množstvom dátových tieňov a bez častí bočných chodieb (na detailnejšie porovnanie pozri Dušeková, 2025).

Z uvedených a ďalších testovaní vyplynulo, že **MLS je v súčasnosti najvhodnejšia technológia pre potreby SSJ**, pretože významne znižuje časovú a personálnu náročnosť procesu získavania priestorových dát z jaskýň a prináša dostatočnú, resp. vyššiu kvalitu zachytenia morfológie jaskynného prostredia ako TLS.

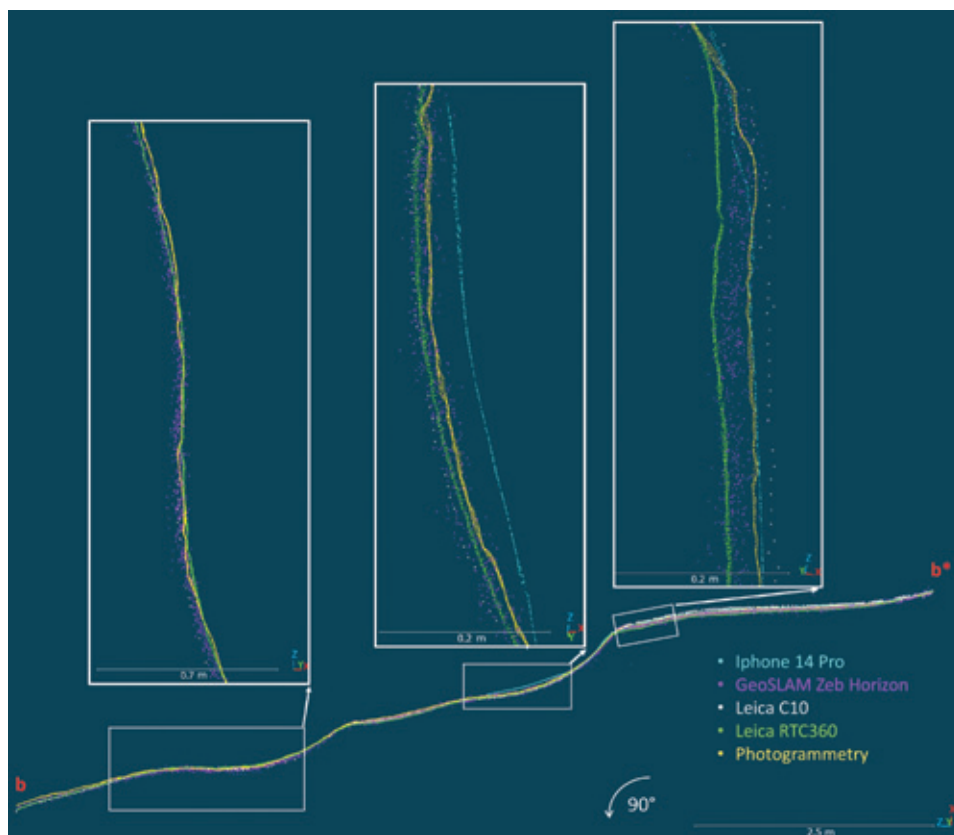
V prípade potreby detailného mapovania vo veľkej mierke je však nutné naďalej siahnuť po TLS alebo fotogrametrii. Existencia MLS dát databázy je i v tom prípade výhodou – precízne detailné dáta z TLS je možné jednoducho referencovať priamo na existujúce mračná MLS (napr. už len pomocou C2C metódy).

TVORBA A KVALITA DÁT MLS DATABÁZY

Tvorba 3D dát je založená na technológii MLS a dvoch prístrojoch Geoslam Zeb Horizon využívajúcich LiDAR (z angl. *Light Detection and Ranging*). Prístroje majú dosah 100 m a rýchlosť senzora 300 000 bodov za sekundu. Úloha sa rieši pod vedením P. Hericha od roku 2021 spolu s L. Duškovou od roku 2023 za dobrovoľnej spolupráce členov Slovenskej speleologickej spoločnosti.

Na vytváranie kvalitných údajov sú nutné tri nadväzujúce činnosti: správne **určenie polohy jaskyne**, dostatočne **presne zameraný polygón** so stabilizovanými meračskými bodmi a vyvážený **sken s minimom zakrytých oblastí**, tzv. dátových tieňov (Herich a Budaj, 2024).

V súčasných podmienkach SSJ sa poloha jaskyne stanovuje GNSS meraním s RTK prístrojom Trimble R12i, odchýlky ukotvenia začiatku polygónového ťahu od skutočnej polohy sú odhadované do 15 cm (vzhľadom na často obmedzenú dostupnú oblohu pri vchodoch jaskýň je nutné vytváranie polygónu medzi anténou a prvým bodom jaskyne). Polygónový ťah jaskýň sa zameriava prístrojom DistoX2 (kompasová metóda), hlavný ťah so spätnými zámerami dosahuje odhadovanú nepresnosť 0,05 – 0,1 % z dĺžky ťahu, bez spätných zámer je chyba na úrovni 0,1 – 0,5 %. V prípade dostupnosti overeného teodolitického merania sa preferuje tento po-



Obr. 4. Porovnanie dát z MLS (Zeb Horizon, Iphone 14Pro) a TLS (RTC360 a C10) s referenčným povrchom získaným fotogrametriou v Ruffiniho koridore Dobšinskej ľadovej jaskyne na vertikálnej ľadovej stene s vrstvami ľadu rôznych vlastností. Na priečnom reze vidieť hrúbky mračen (šum; najmä Zeb Horizon), prenikanie lasera do ľadu (penetrácia; Zeb Horizon, RTC360) ale aj generalizáciu v dátach (Iphone 14Pro). Dáta z C10 ukazujú stav ľadu pred 5 rokov (Dušeková et al, 2024).

lygón. Presnosť polygónových meraní sa tiež následne overuje pomocou referenčných bodov MLS. Referencovanie prebieha v systéme iJTSK (kód 5514), spracovanie a exporty polygónových dát sú tvorené pomocou speleologického programu Therion (Budaj a Mudrák, 2025). Do výpočtov vstupujú údaje o magnetickej deklinácii podľa modelu IGRF 13, pre každý polygónový ťah je určená prislúchajúca deklinácia s rozlíšením jedného roka.

Jednotlivé skeny MLS sú referencované a spájané pomocou referenčných bodov polygónovej siete, nie prekryvov 3D dát. Cieľom je zamedzenie posunom (driftom) a polohových chýb vo výslednom mračne vplyvom pákovej kumulácie začiatkovej chyby. Takisto na mnohých miestach skenovaných jaskýň je nutné prerušenie kontinuity skenov, napríklad v plazivkách, úžinách a podobne, čo vyžaduje prekryvný spôsob skenovania priestorov (metóda registrácie C2C, z angl. *Cloud to Cloud*). Chyby registrácie sú závislé od hustoty a kvality meracích bodov využívaných na georeferencovanie, väčšinou sa pohybujú do 10 cm, v ojedinelých prípadoch max. do 15 cm. Chybné a nízkokvalitné polygónové ťahy sa prejavujú aj väčšími chybami registrácie. Kvalita MLS dát je adekvátna technológii, šum mračna bodov dosahuje väčšinou šírku do 6 cm s odlišiteľným stredom. Pri vysokej hustote vzácnosť sa vyskytujúcich mikromorfologických foriem, najmä skupín brk či iných drobných foriem stalagmitov a stalaktitov, sa šum lokálne zvyšuje na +/- 4 cm až +/- 7 cm (Dušeková, 2025). V dátach je tak zhoršená možnosť sledovať jemné tvary povrchu jas-

kýň, ale naopak zachytené sú aj veľmi jemné štruktúry (napr. osamotené brčká a pod.). Hustota bodov na plochu je nerovnomerná a závislá od vzdialenosti plochy od prístroja a doby jej viditeľnosti pri skenovaní; mračno bodov plynulo a komplexne vyplňa naskenovaný priestor.

MLS DATABÁZA

Uvedeným postupom získané a čiastočne spracované dáta sú ukladané v databáze radenej podľa jednotlivých jaskýň a nižších priestorových celkov, ktorá pozostáva z týchto častí (súborov):

1. Nespracované (raw) dáta z loggera skenera
2. Export z primárneho (SLAM) softvéru skenera:
 - a) 100 %, resp. 50 % mračno (point-cloud) vo formáte ply s normálami
 - b) mračno s riedením na 50 mm vo formáte ply s normálami
 - c) referenčné body zo skenovania
3. Zoznam prislúchajúcich referenčných bodov v iJTSK (export z sql databázy Therionu)
4. Referenčná matica s uvedením chyby referencovania
5. Spracované, zreferencované a očistené mračno, spojené z viacerých skenov, príp. upravené ako podklad na tvorbu mapy

Takto usporiadané dáta sú optimalizované na rýchly prehľad, kontrolu a použitie na rôznorodé účely, so zachovaním zdrojových a originálnych údajov. 3D databáza má rov-

Tab. 1. 3D dáta zo slovenských jaskýň získané pomocou MLS k septembru 2025. Pre referenčný polygón vytvorený teodolitickým meraním sa uvádza skratka „Theo“, pre kompasové meranie pomocou DistoX skratka „Dist“. Polygóny označené * majú nižšie presnosti a je žiaduce ich opraviť.

Názov jaskyne	Časť	Katastrálne územie	Ref. polygón	Primárny dôvod MLS
Barania	hlavný ťah	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Beniková	hlavný ťah	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Čierna jaskyňa-Ladová	hlavné ťahy – časti, sprístupnená časť	Demänovská Dolina	Theo	mapovanie, zmeny ťadových povrchov
Čierna jaskyňa-Mier	hlavné ťahy – časti, sprístupnená časť	Demänovská Dolina	Theo	projektovanie, kontrola, objemové zmeny pri revitalizácii, mapovanie
Demänovská jaskyňa slo-body	časti sprístupnenej časti, Dóm trosiek, Labyrint nad Jazerom, Brichtova sieň, Za Bobrím sífónom a iné	Demänovská Dolina	Theo, Dist	mapovanie, projektovanie, kontrola, objemové zmeny pri revitalizácii
Dobšinská ľad. j.	zaľadnené časti	Dobšiná	Theo	zmeny ťadových povrchov
Erňa	hlavný priestor	Zádiel	Dist	mapovanie, objemy
Gombasecká j.	sprístupnená časť, Jazerný dóm, Eufória	Slavec	Dist	mapovanie, objemy
Haraska	hlavný ťah	Liptovský Ján	Dist	mapovanie
Harmanecká j.	sprístupnená časť	Dolný Harmanec	Dist*	geologický výskum – tektonika
Havrana priepasť	hlavný ťah	Liptovská Porúbka	Dist	zmeny ťadových povrchov
Hladový prameň	hlavný ťah	Čachtice	Dist	mapovanie
Hrboltová (odfážené jaskyne pod D1)	hlavné ťahy	Hrboltová	Dist	mapovanie, dokumentácia a projektovanie
Jazerná v Korenci	hlavný ťah	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie, objemy
Jaskyňa mŕtvych netopierov	Bystrický dóm, Šálková	Brezno	Dist*	objemy
Jaskyňa pod útesom	hlavný ťah	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Jaskyňa v Malom Sokole	celá	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Krásnohorská jaskyňa	sprístupnená časť	Krásnohorská Dlhá Lúka	Dist	projektovanie, mapovanie
Kresanica	vchod	Štrbské Pleso	Dist	mapovanie
Kryštálová jaskyňa	celá	Terchová	Dist	objemy, výskum hypogénnych javov
Ľadová priepasť	vchod, 1. ľadový kužeľ	Štrbské Pleso	Dist	zmeny ťadových povrchov
Malé Okno	hlavný ťah	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Modrá jaskyňa	hlavné ťahy	Nižná Boca	Dist	mapovanie, iný výskum
Mošnická jaskyňa	hlavný ťah	Lazisko	Dist	mapovanie, iný výskum
Okno	úrovňová chodba	Demänovská Dolina	Theo	mapovanie, geoeologický výskum
Pec	hlavné ťahy	Plavecké Podhradie	Dist	geomorfologický výskum
Plavecká jaskyňa	hlavné ťahy	Plavecké Podhradie	Dist	geomorfologický, geoeologický výskum
Portálová jaskyňa	hlavný ťah	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Plavecká priepasť PP-2	celá	Plavecké Podhradie	Dist	geomorfologický výskum
Priechodná jaskyňa	celá	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Pustá	hlavné ťahy známe do r. 2000	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Silická ľadnica	hlavný ťah – časti	Silica	Dist*	objemy
Šingliarka	vstup a zaľadnená časť	Muráň	Dist	zmeny ťadových povrchov
Štefanová	Eldorado	Demänovská Dolina	Dist*	mapovanie
Stratenská jaskyňa	časť najväčších dómov	Dobšiná	Theo, Dist*	objemy
Strieborná jaskyňa	hlavný ťah	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Studená diera	celá	Pavčina Lehota	Bez refer.	biospeleologický výskum
Studňa v Okne	hlavné ťahy	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Tunelová jaskyňa s bivakom	celá	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Veľké Okno	celá	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Veľký portál	celá	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Za Siedmimi otvormi	hlavný ťah	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Zbojnická jaskyňa	celá	Demänovská Dolina	Dist	mapovanie
Zlepencová jaskyňa	celá	Zuberec	Dist	mapovanie, geomorfologický výskum
Jaskyňa zlomísk	siene s výskytom CCC	Liptovský Ján	Dist*	paleoklimatologický výskum
Zvonica	hlavné ťahy	Plešivec	Dist	mapovanie, objemy

nakú štruktúru ako databáza vektorových dát Therionu (polohy, polygóny, mapy), preto sú tieto plne kompatibilné a prepojitelné. Metadáta sa vytvárajú len na úrovni jednotlivých súborov, jednoduchá štruktúra dát si zatiaľ nevyžaduje iné ako priestorové prepojenia.

Databáza je v súčasnosti uložená na externom serveri (súkromný server riešiteľov úlohy), vzhľadom na nevyhovujúcu IT infraštruktúru a najmä zamedzenú administráciu prístupov k serverom SSJ. Prístup je zriadený dosiaľ len pre riešiteľov úlohy do vyriešenia problémov vedenia a ukladania databázy, zálohovaná je na fyzické nosiče. Je žiaduce však tieto dáta sprístupniť obmedzenému okruhu pracovníkov v rámci Národnej databázy jaskýň, ktorá je aktuálne v rekonštrukcii pod gesciou SMOPaJ.

ZOZNAM EXISTUJÚCICH DÁT

MLS skenery (ani žiadne iné existujúce skenery v súčasnosti) neslúžia na komplexné zmapovanie podzemných priestorov najmä z dôvodov obmedzení ich používania v malých a inak nedostupných priestoroch, a tak nenahrádzajú, ale len dopĺňajú konvenčné mapovanie jaskýň (ktoré navyše slúži ako referenčné pre skutočné umiestnenie MLS dát v priestore). V tab. 1 uvedené naskenované priestory predstavujú najmä hlavné chodby či odbočky hlavných ťahov, ktoré je možné prechádzať v stoj, resp. v obmedzenej miere „štvornožky“, t. j. v dimenziách minimálne 1 × 1 m profilu chodby.

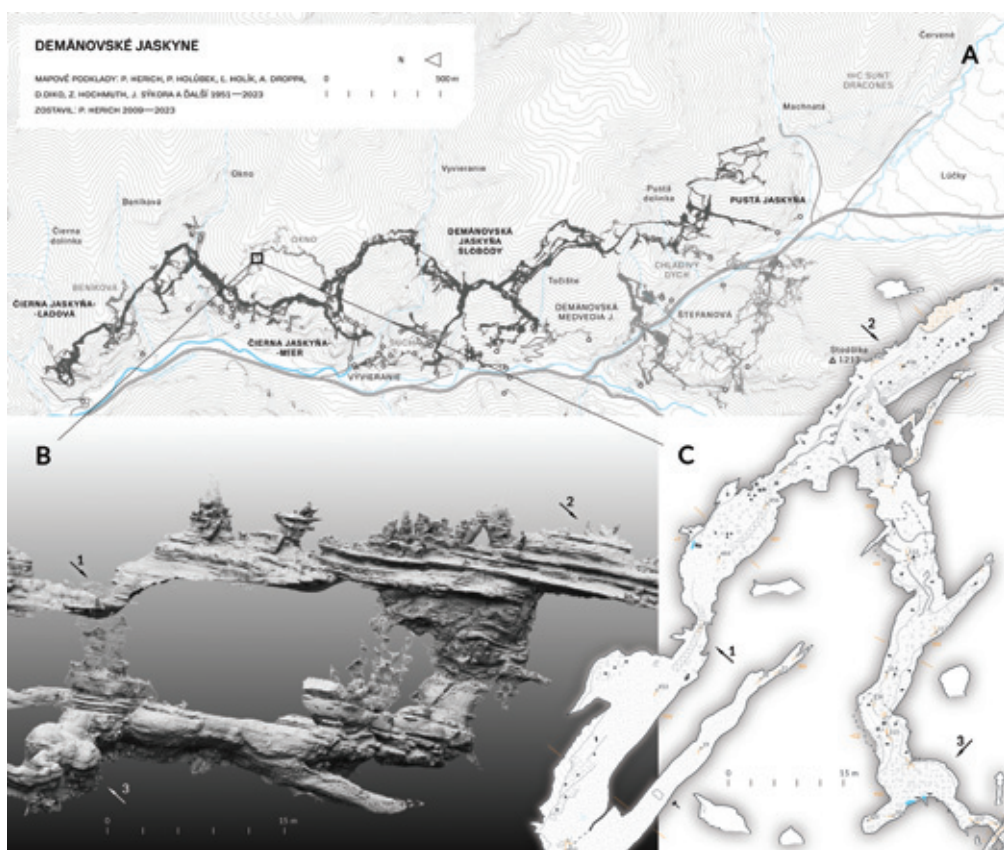
MOŽNOSTI UPLATNENIA PRIESTOROVÝCH DÁT

Na základe uvedených výskumov spoľahlivosti MLS a ďalších skúseností autorov zo zberu a spracovania dát nižšie uvádzame realizované aj potenciálne praktické aplikácie a uvádzame ich podľa účelu, resp. vedeckých disciplín:

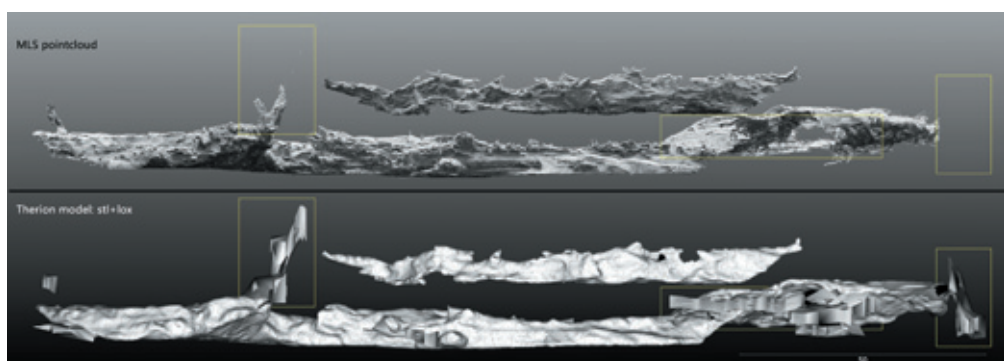
MAPOVANIE JASKÝŇ A KOMPLEXNÉ 3D MODELY

Slovenská speleológia ako jedna z prvých na svete používa od roku 2021 MLS priamo pri mapovaní jaskýň (obr. 5). MLS skenovanie slúži ako náhrada ručného kreslenia mapy jaskyne pri terénnych prácach (Herich a Budaj, 2024), zachovaná ostáva tvorba polygónu a kreslenie len v ťažšie dostupných priestoroch.

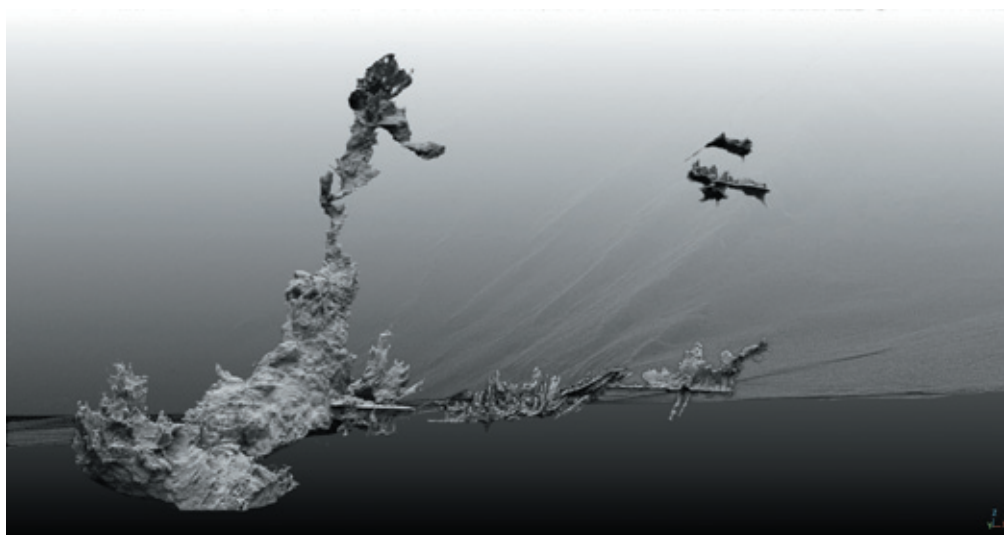
MLS dáta vstupujú do tvorby modelov jaskýň a povrchu, sú dopĺňané o 3D dáta z programu Therion (ručne mapované miesta; obr. 6) a ALS dáta povrchu Zeme (obr. 7). Výsledné exporty sú vo forme komplexného mračna bo-



Obr. 5. Priestorové dáta Demänovských jaskýň: výrez približnej časti jaskyne Okno (A), pohľad na mračno 3D bodov (B), od ktorého je odvodená speleologická mapa (C).



Obr. 6. Porovnanie modelu jaskyne len z MLS dát (hore), komplexný model jaskyne (bez povrchu) s využitím všetkých dostupných dát z podzemia. Jazerná v Korenci.



Obr. 7. Jaskyne Plaveckého hradného vrchu. Šírka pohľadu s perspektívou je približne 600 m. Autor: P. Herich

dov alebo triangulovaného modelu (pozri aj obr. 8 a 9). Takto získané dáta boli základom na tvorbu máp všetkých v tabuľke uvedených jaskýň v k. ú. Demänovská Dolina (pozri Herich, 2023).

PROJEKTOVANIE, PRIESTOROVÉ ANALÝZY, PREVÁDZKA A VYUŽÍVANIE JASKÝŇ

Priestorové dáta môžu slúžiť na najrôznejšie projekčné aktivity, napríklad predstavovali

základ projektu (polohové a objemové parametre priestorov) na stabilizáciu svahového zárezu a telesa cesty na diaľnici D1 pri Hrboltovej, kde sa našli jaskynné priestory priamo pod cestou, resp. v príslahlom svahu (obr. 10).

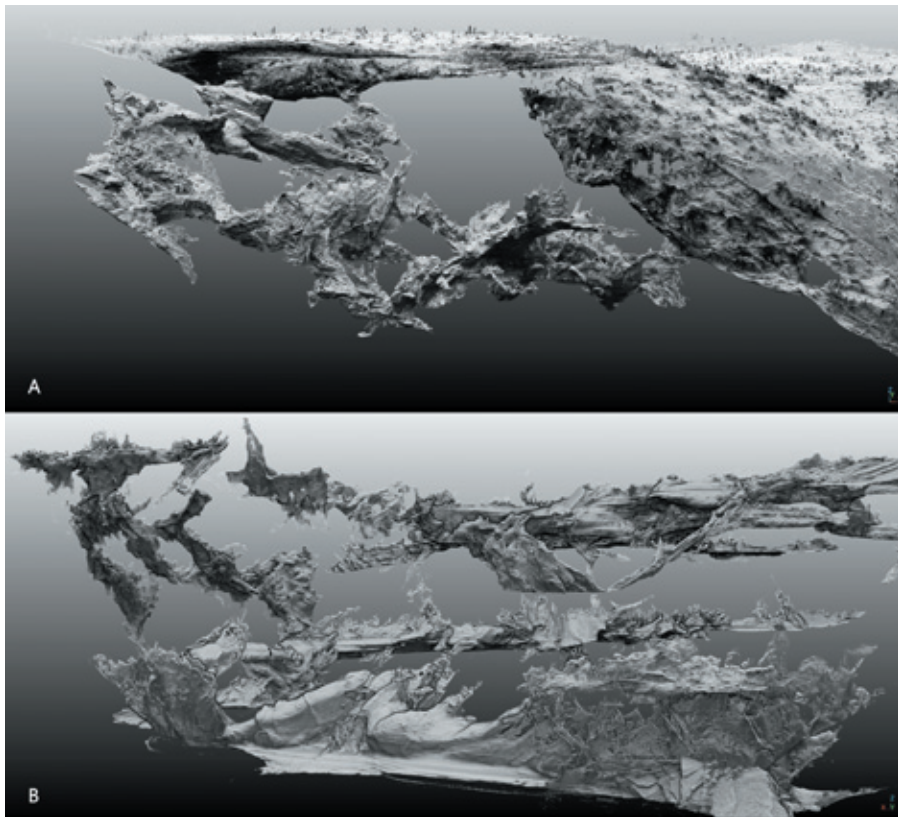
Z MLS dát sa dajú odvodzovať rozmery, plochy a objemy akýchkoľvek objektov, od infraštruktúry (chodníky, zábradlia), cez prvky jaskýň (kvaple, jazerá, bloky) až po samotné podzemné priestory (siene, dómy, chodby). V Krásnohorskej jaskyni slúžili dáta z MLS na projekčnú činnosť turistickú, infraštruktúry, konkrétne napr. výpočet dĺžky prehliadkovej trasy pre potreby zabezpečenia dostatočného množstva materiálu, resp. súčastí rozmerov, ktoré sa budú dať jaskyňou prenášať bez nutných narušení morfológie (obr. 11). Tiež je možné vyhodnocovanie základných parametrov jednotlivých objektov jaskýň (vodné plochy či objemy vôd) či výpočet objemových a iných charakteristík aj najväčších jaskynných priestorov Slovenska.

GEOMORFOLOGICKÉ TVARÝ A MORFOMETRIA

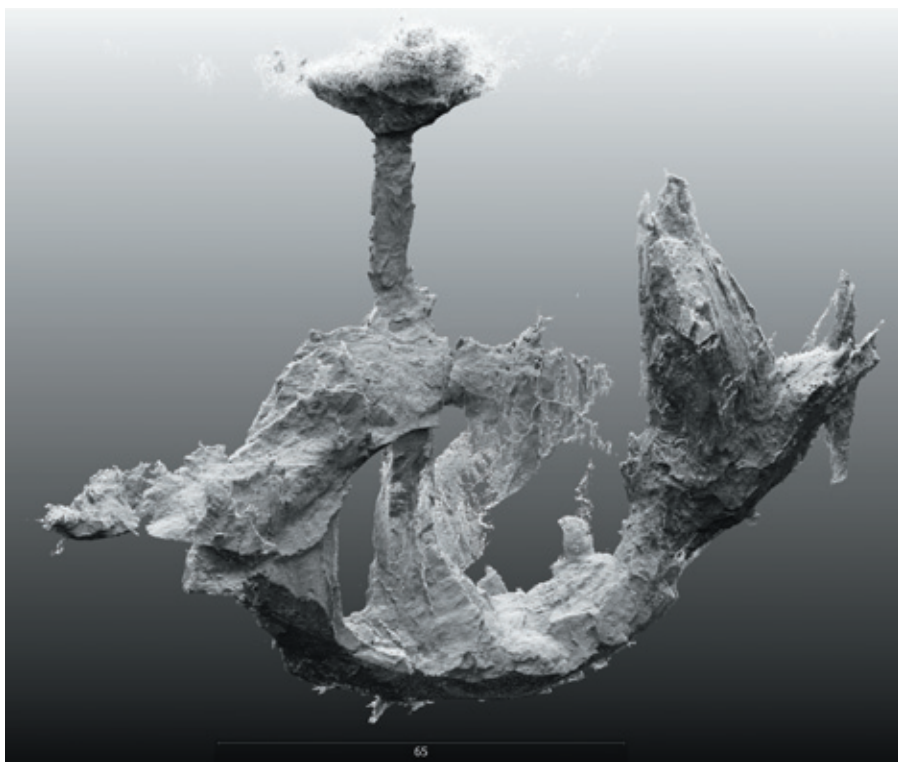
MLS so skenerom Zeb Horizon sa vyznačuje vysokou efektívnosťou pri mapovaní geomorfologických makroforiem, resp. jaskyne ako celku, keďže dáta majú výborný pomer komplexného zachytenia reálneho reliéfu s minimom dátových tieňov a času skenovania. Aj keď zatiaľ získané dáta z MLS neboli využité na geomorfologický výskum, môžeme na základe analýz presnosti (Dušeková, 2025) tvrdiť, že v týchto dátach nie je problém identifikovať formy podobne ako v dátach z TLS: zarovnané stropy a facety (Pukanská et al., 2020; Bartoš et al., 2021; Bella et al., 2022), anastomózy a stropné korytá (Gallay et al., 2015; De Waele et al., 2018) alebo kopulovité formy a megaskalopy (Fabbri et al., 2017) a iné morfológické formy a zmeny, ktoré by však mali byť väčšie než šum skenera. Napr. pri skúmaní obvodov stalagmitov z mračna bodov MLS dochádza vinou vysokého šumu (na dáta neboli aplikované algoritmy na jeho odstránenie) k miernemu nadhodnoteniu v porovnaní s realitou. V šume sa strácajú aj niekoľkokocentimetrové ichnofosílie. Dajú sa rozpoznať lokality s výskytom skalopov, no sklony ich stien indikujúce prúdenie vody sú nevýrazné. Mapy *Roughness* (hrúbka/drsnosť mračna) v tomto prípade s identifikáciou jednotlivých skalopov vedú napomôcť, ale potenciál pre ďalšie analýzy nezvyšujú.

ŠTRUKTÚRNE, TEKTONICKÉ A LITOLOGICKÉ ROZHRANIA

MLS je aktuálne najefektívnejšou metódou, ktorá umožňuje identifikáciu násobne väčšieho množstva tektonických porúch v porovnaní s klasickým terénnym mapovaním. Počas terénneho mapovania v jaskyni Okno boli identifikované rôzne tektonické poruchy, celkovo takmer 100, kým z 3D mračna bodov skenera Zeb Horizon ich bolo s využitím nástroja *Compass* v softvéri *CloudCompare* možné identifikovať algoritmom využívajúcim krivosť reliéfu (obr. 12A) takmer 300 (Littva et al., 2024). 3D model nemôže úplne nahradiť terénne geologické mapovanie, no prácu vie podstatne zefektívniť. Práve geomorfologické



Obr. 8. Zložitá morfológia Modrej jaskyne v Malužinej, ktorá sa nachádza len tesne pod povrchom (na snímke s odfiltrovanou vegetáciou povrchu; šírka pohľadu s perspektívou je približne 120 m; A); Čierna jaskyňa-Mier v okolí Siene objaviteľov (B). V ľavej hornej časti snímky sú nové objavy demänovských jaskyniarov nad Portálom, v strede dole chodba 4. úrovne, v strede Guľôčková chodba, v pravej hornej časti je úrovňová Chodba Snehového jazierka. Šírka pohľadu s perspektívou je približne 170 m. Autor: P. Herich

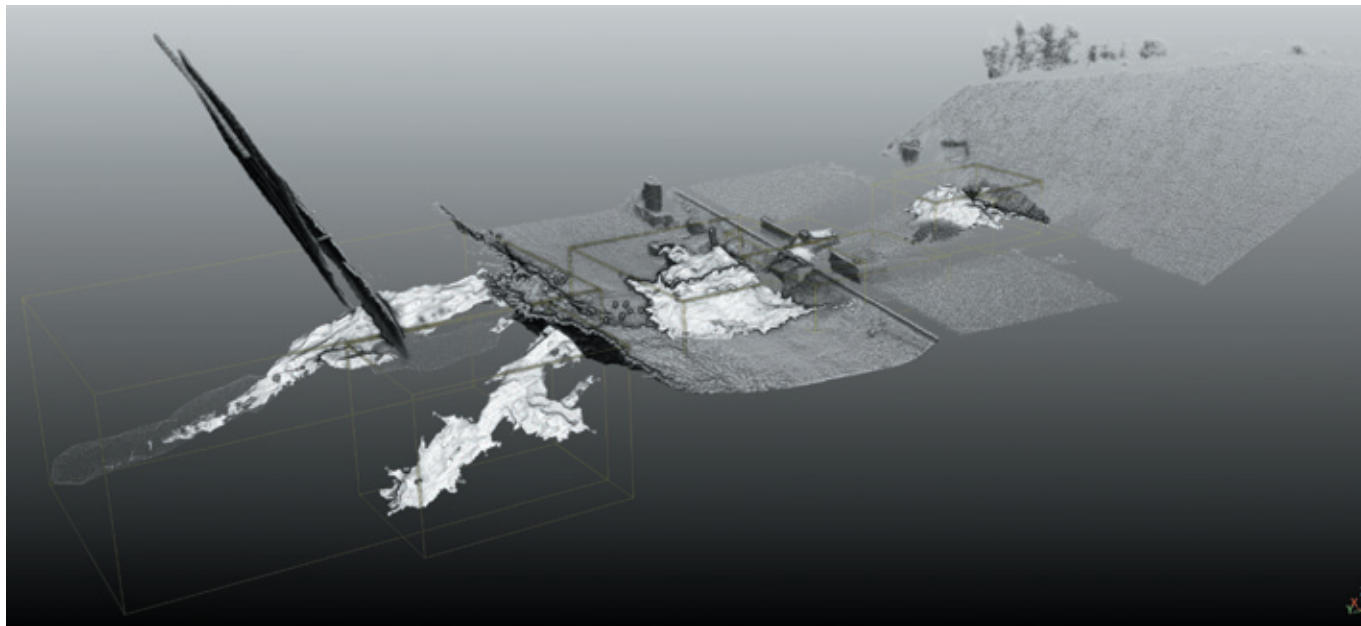


Obr. 9. Zvonica na Plešiveckej planine. 97 m hlboká, mohutná priepasť so zložitým, viacfázovým vývojom. Autor: P. Herich

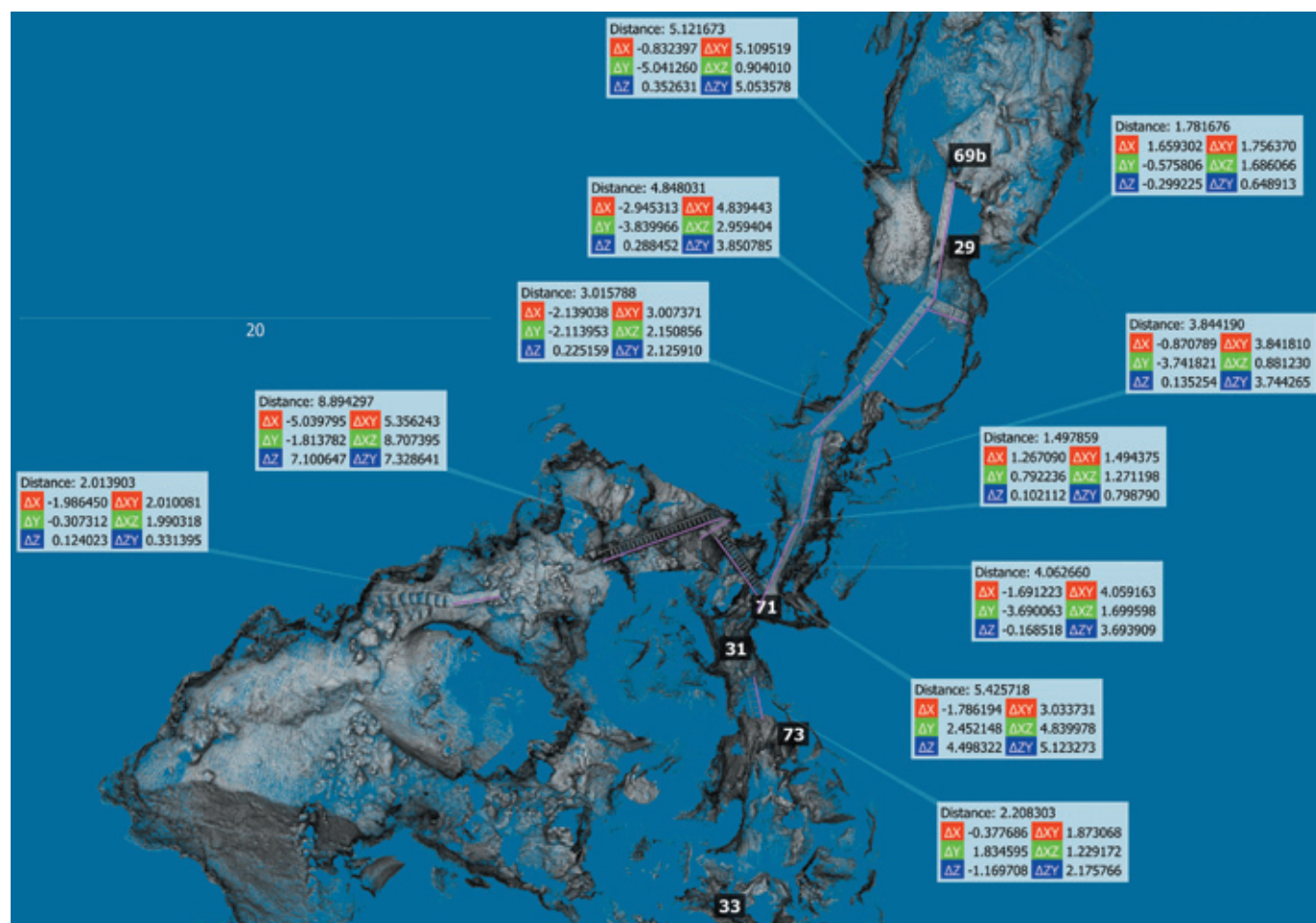
formy indikujúce výskyt tektonických diskontinuit dokáže MLS zachytiť najlepšie, keďže prispôbiť polohu skenera orientácii či tvarom reliéfu je možné operatívne v priebehu skenovania. Hodnoty meraní sklonu a smeru sklonu z 3D mračien považujeme v zmysle Littva et al. (2024) za výpovednejšie než dáta zistené meraniami s geologickým kompasom,

keďže v jaskyni geológ často nemá priestor na ústup do dostatočnej vzdialenosti na objektívne vyhodnotenie priebehu tektonických porúch, a nevidí tak priestorové súvislosti a generálne smerovanie, ktoré je náročné zblízka vystihnúť, a to aj napriek realizácii viacerých meraní v rámci jednej diskontinuity. V porovnaní s kompasovým meraním sa rozdiely

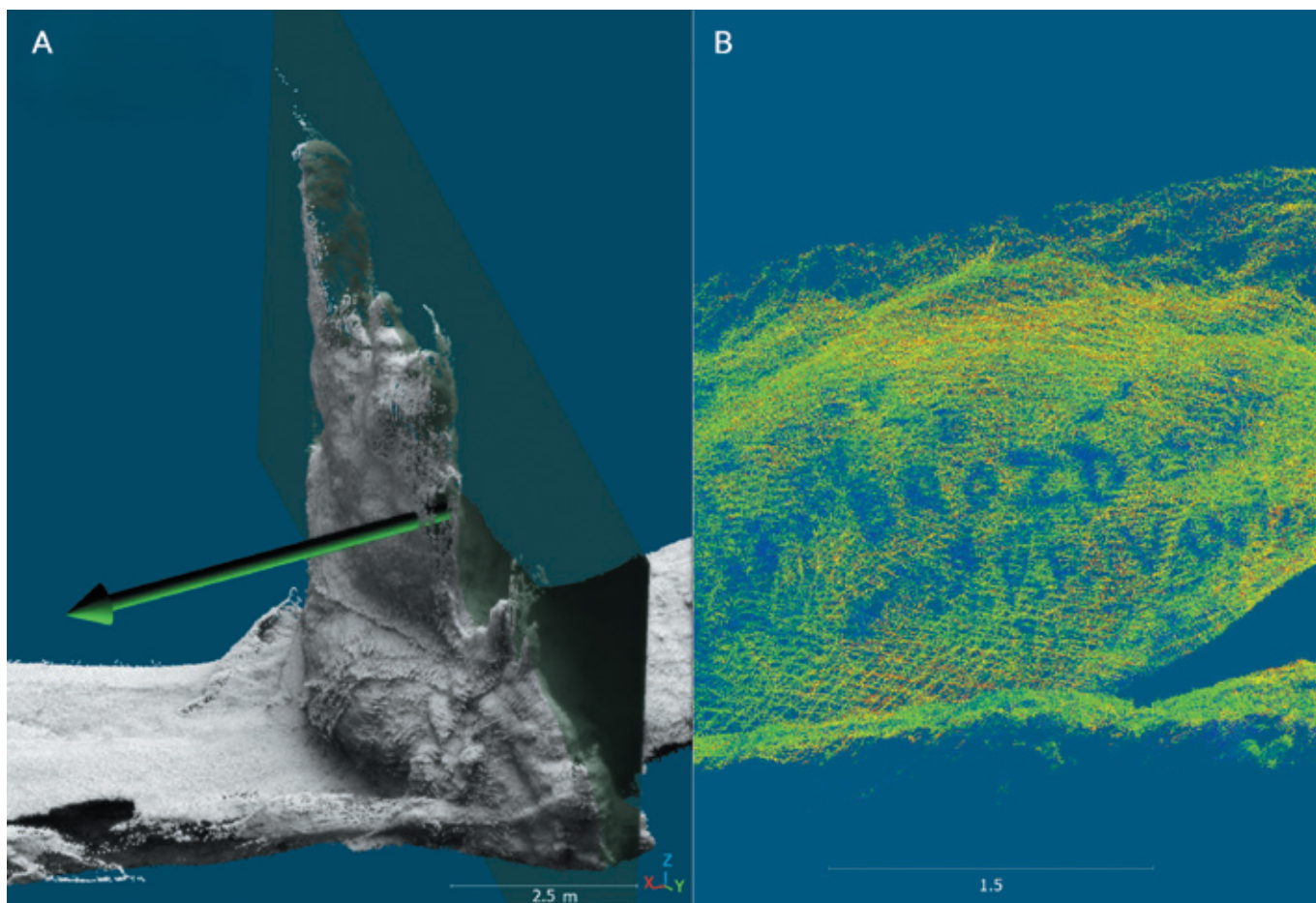
sklonu a smeru sklonu s využitím MLS väčšinou pohybovali okolo 10° (Littva et al., 2024). Nadhľad v jaskynných priestoroch, ktorý je pri geologickom mapovaní potrebný, sa ukázal ako kľúčový na príklade troch klasicky vymapovaných fraktúr v jaskyni Okno, ktoré sa následne v 3D mračne bodov identifikovali ako jedna a tá istá tektonická diskontinuita, avšak



Obr. 10. Komplexný model jaskýň objavených pri stavbe diaľnice D1 v úseku Hubová – Ivachnová. S výnimkou jaskyne vľavo hore (Hrboltová 3), sú všetky ostatné priestory v roku 2026 odťažené, resp. zaliate betónovou výplňou. Autor: P. Herich



Obr. 11. Krásnohorská jaskyňa, mračno s odstránenými bodmi stropu a stien zadných priestorov sprístupnenej časti jaskyne. 3D dáta umožňujú zameriavanie jednotlivých prvkov infraštruktúry prehliadkovej trasy ako prípravu na projektovanie opráv, výmeny a pod.



Obr. 12. Identifikácia tektonickej diskontinuity v jaskyni Okno pomocou nástroja Fit Plane v prostredí CloudCompare umožňujúcom výpočet sklonu a smeru sklonu (A); vandalizmus v jaskyni Okno vo forme nápisov na stenách na základe zobrazenia hodnôt intenzity odrazov (B).

s nelineárnym, nepriamym priebehom, ktorý nebolo možné priamo v teréne odsledovať, keďže ani podľa nameraných hodnôt sklonu a smeru sklonu sa čiastkové fraktúry nejavili ako totožné. Uvedené výhody MLS sú totožné aj pri výskume vrstvitosti hornín.

V rámci výskumu sedimentárnych výplní v súčasnosti sa dá v mračne bodov z MLS morfológicky identifikovať typy a tvary výraznejších sedimentov (s rozmermi väčšími než je šum mračna bodov: väčšiu sutinu, výraznejšie okruhlíky, menšie bloky, prípadne mohutnejšie sintrové platne a čiastočne aj výrazné formy vypreparovaných rohovcov), no pri menších rozmeroch nie je možné z 3D mračna bodov zistiť, či ide o štrk, drobnú sutinu alebo piesok, resp. definovať alochtónny alebo autochtónny sediment, a na tieto účely je stále potrebný klasický terénny výskum alebo iné metódy.

Z hľadiska litologického zloženia je možné výraznejšie rozdiely horninového zloženia pozorovať v 3D dátach z MLS pri zobrazení hodnôt intenzity odrazov. Aj napriek vysokému šumu sa však podarilo identifikovať v mračne bodov z jaskyne Okno, z okolia Siene smútočnej vrby aj menej kontrastné rozhranie rohovcových a demänovských vápencov. Ak by však litologické rozhranie nebolo zmapované v teréne, jeho identifikácia len z mračna bodov by nebola možná. Ak o rozhraní vieme, vieme ho pomocou rôznych nastavení zobrazenia polohovo priradiť v 3D priestore, čo zvyšuje presnosť v procese tvorby geologickej mapy.

HYDROLOGICKÉ TVARY

Optické vlastnosti vody môžu spôsobovať v mračne bodov prázdne miesta alebo zrkadlenie povrchov a vo všeobecnosti tak pri laserovom skenovaní predstavujú skôr obmedzenia pri zbere dát, než skúmaný objekt.

Na mapovanie foriem pod vodou sú v rámci laserového skenovania určené konkrétne typy skenerov s prislúchajúcou vlnovou dĺžkou, v prípade vlnovej dĺžky 903 nm, ktorou disponuje Zeb Horizon, dochádza k výskytu dier alebo výraznému zrkadleniu povrchov na lokalitách s väčšou hĺbkou vodných plôch. Len výnimočne znečistená voda a najmä výrazné povlaky na hladine umožňujú zachytenie hladiny vody. Šum a odrazy sú identifikovateľné a ručne odstrániteľné. Presný výpočet objemu jazera prebehol vďaka úbytku vody napr. v Jazernej v Korenci v Demänovskej doline (Herich, 2025, in print).

KLÍMA A ĽADOVÉ VÝPLNE

Vzhľadom na časté výrazné vertikálne zvrstvenie teploty vzduchu v jaskyniach je MLS vhodné na tvorbu detailného podkladu pre interpretácie prúdenia vzduchu, kde je presná lokalizácia meracích prístrojov veľmi dôležitá. V dátach z MLS nie je problém identifikovať aj menšie meracie prístroje položené alebo zavesené v jaskyniach (napr. *barologger* s priemerom 2,2 cm a dĺžkou 16 cm alebo vlhkomer s rozmermi 6 × 9 × 3 cm) a sledovať napr. zmeny mikroklimatických parametrov s ohľadom na prvky reliéfu pôsobiace ako bariéry umožňujúce stagnáciu a hromadenie vzduchových mäs

alebo na smerovanie chodieb, ich rozdielne výškové úrovne či iné morfometrické parametre dôležité z pohľadu modelovania letných a zimných režimov prúdenia v jaskyniach.

MLS so skenerom Zeb Horizon sa ukázalo ako veľmi vhodné pri dlhodobom monitoringu zmien ľadových výplní v Dobšinskej ľadovej jaskyni, najmä univerzálnosťou vlnovej dĺžky lasera (903 nm), prejavujúcou sa dostatočným zachytením širokého spektra typov a foriem ľadu, dokonca aj pri ľade pokrytom plytkou vodnou plochou. Pri mapovaní zmien povrchov, a tým aj objemových zmien ľadových výplní je MLS s využitím skenera Zeb Horizon, vzhľadom na chyby registrácie, nepresnosti v podobe šumu aj penetrácie, vhodné najmä na viacročné pozorovania. Menej výrazné zmeny, aké predstavujú napríklad medziročné rozdiely medzi začiatkom letnej sezóny a začiatkom zimnej sezóny na lokalitách s horizontálnym ľadom v Dobšinskej ľadovej jaskyni, sú blízke chybám registrácie a hodnotám šumu MLS, a to najmä na priehľadnejších vrstvách ľadu, a pohybujú sa preto na hranici ich mapovateľnosti, resp. výsledky analýz môžu pri sledovaní zmien ľadových výplní počas kratších období disponovať vysokou mierou nespoľahlivosti. Z rovnakých dôvodov sú na sledovanie pohybu – poklesu vrstiev ľadu odtápaním spodných vrstiev na kontakte s podložíom (pri poklese rýchlosťou 1,45 cm/rok) 3D dáta získané MLS relevantné až z pohľadu viacročných období, keďže jednotlivé vrstvy sú viditeľné v mračne len nejasne (podľa *Roughness* máp alebo hodnôt

intenzity). Podobne je to aj pri posunoch ľadu o 2 až 4 cm za rok; tieto zmeny sa napriek šumu v skenoch dobre prejavujú, rizikom je však nerovnaká chyba registrácie, ktorá môže prevýšiť tieto hodnoty.

CHIROPTEROLOGICKÝ MONITORING

Pri mapovaní jaskynnej bioty (najmä netopierov) s cieľom sčítavania, resp. mapovania na úrovni jedincov napr. podľa Shazali et al. (2017) alebo Fabbri et al. (2017) je MLS podľa analýz šumu mračien bodov z MLS nedostatočné. MLS dokáže zachytiť mierny rozdiel hodnôt intenzity odrazov oproti hodnotám, ktoré vykazuje hornina, aj nepatrné zmeny morfológie (výraznejšie pri väčších skupinách netopierov), no vzhľadom na rozmery väčšiny netopierov vyskytujúcich sa na Slovensku, ktoré sa pohybujú približne v rozmedzí hodnôt šumu mobilných skenerov (a treba brať do úvahy aj vysoký šum hodnôt intenzity), MLS pravdepodobne nie je v aktuálnom stave poznania efektívne.

MLS by mohli byť efektívne pri sčítaní veľkého počtu jedincov vo vopred (bez výskytu netopierov) naskenovaných priestoroch, ktoré sú následne preskenované aj so sčítavacou kolóniou. Porovnanie plošných odchýlok v polohe stien (stropu) jaskyne a určenie hustoty jednotlivcov na referenčnej ploche by mohlo umožniť výpočet a odhad jedincov v danom priestore.

V porovnaní s klasickými výsledkami monitoringu netopierov, pri ktorých sú jedince sčítavané na väčších úsekoch, dáta z MLS vytvárajú priestor na spresnenie lokalizácie netopierov, a tým vytvárajú podmienky na rôzne priestorové analýzy, či už v súvislosti s morfológiou priestoru alebo textúrou povrchov a podobne. Zhodne je to aj pri mapovaní osteologických pozostatkov, kde je stále potrebný klasický terénny prieskum a MLS predstavuje výhodu len v presnej lokalizácii v digitálnom modeli.

ANTROPOGÉNNE A PRIRODZENÉ ZMENY PROSTREDIA

MLS môže byť užitočným nástrojom pri mapovaní antropogénnych javov v rámci sekundárnej krajiny (jaskynnej) štruktúry v podobe epigrafie či vandalizmu, ktoré sú v mračne bodov viditeľné prostredníctvom zobrazenia hodnôt intenzity odrazov v zmysle Jalandoni et al. (2021) alebo Kartini et al. (2023) (obr. 12B). V prípade menších nápisov s rozmermi pod hranicu hodnôt šumu MLS môže byť ich identifikácia problematická. MLS dáta môžu slúžiť na vyhodnotenie rozs-

hu poškodenia sintrovej výzdoby, pokiaľ bol skenovaním zachytený pôvodný stav jaskyne. MLS je tiež možné na základe hodnôt intenzity odrazov využiť na sledovanie rozširovania lampenflóry.

Na sledovanie objemových zmien, ako napr. odťaženie sedimentov, sledovanie závalov či prerážky kvôli sprístupneniu jaskýň, je MLS veľmi efektívnou metódou. Opakované skenovanie v Čiernej jaskyni-Mieri (Demänovskej jaskyni mieru) a Demänovskej jaskyni slobody na rovnakých úsekoch slúžilo ako podklad na výpočty objemových zmien pred a po realizovaní vynášok horninového materiálu v rámci revitalizácie po necitlivých zásahoch pri tvorbe prehliadkovej trasy v minulosti.

Podobne môže byť MLS efektívne, so zohľadnením nepresnosti, pri prirodzených zmenách prostredia, ako je presun riečnych korýt (a obmedzene zmeny vodných hladín), pohyb a vznik závalov, akumulácia a odnos sedimentov či spomínané zmeny ľadových výplní a podobne.

OCHRANA JASKÝŇ

Realistický model jaskyne z MLS v kombinácii s dátami povrchového reliéfu dostupnými z leteckého laserového skenovania umožňuje sledovať vzťahy a prepojenia medzi povrchovými a podzemnými krasovými javmi, ktoré sú dôležité z hľadiska ochrany jaskýň pred znečistením rôznymi aktivitami na povrchu, a tým kľúčové z hľadiska komplexného manažmentu krasových území. Dobrým príkladom z praxe je tiež aktuálne prebiehajúca analýza viacerých etáp skenovania v Dobšinskej ľadovej jaskyni pri vyhodnocovaní vhodnosti manažmentových opatrení realizovaných s cieľom zabrániť úbytkom ľadových výplní.

ZÁVER

Postupne naplňaným cieľom vytvárania databázy je (aspoň pre vybrané jaskyne) dostupnosť komplexných MLS dát, založených na presne určenej polohe jaskyne, sústave stabilizovaných meračských bodov a referenčnom polygóne s chybou na okruhu nepresahujúcou 0,1 % z dĺžky ľahu. Vzhľadom na všeobecne nízku kvalitu mapových podkladov slovenských jaskýň, ich referenčných polygónov a (často až mimoriadne) nepresných súradníc vchodov jaskýň sa práce na vytváraní databázy nemôžu viazať len na získavanie MLS dát, ale nevyhnutne im predchádza zameriavanie polygónu a polohy jaskyne. Extrémna stálosť jaskynného prostredia v kontraste k zmenám na povr-

chu navádza na získavanie kvalitných priestorových dát, ktorých platnosť je potom ďalej neobmedzená. Aktuálne používané techniky (GNSS s RTK, polygón na kompasovom princípe a MLS) nie sú najpresnejšími dostupnými možnosťami na takéto zber dát. Avšak v porovnaní s dlhým statickým GNSS meraním, polygónom budovaným uhlovou metódou s pomocou totálnej stanice a TLS (terestrickým skenovaním), teda technikami, ktoré dosahujú presnosť v milimetroch, ide podľa nášho názoru o efektívne riešenie z hľadiska času, ľudských nákladov a využiteľnosti dát. Navyše v mnohých jaskynných priestoroch nie je možné alebo praktické použitie totálnych staníc a kvalitných, rozmerných TLS.

MLS databáza SSJ sa naplňa podľa aktuálnych priorit a potrieb výskumu, monitoringu, mapovania či technického zabezpečenia jaskýň. Uvedeným spôsobom získavané dáta je potrebné vnímať ako nevyhnutný základ priestorového poznania jaskynných útvarov Slovenska. Vzhľadom na svoju povahu sú doplnkom mapovania jaskýň, avšak vďaka ich využívaniu pri tvorbe máp sú súčasne aj ich najrealistickejší podkladom. Preto je namieste pokračovať v uvedených prácach aspoň v súčasnom rozsahu, resp. urýchliť získavanie minimálne polohových údajov vstupov do jaskýň a ich kvalitných polygónov, na ktoré možno dáta z MLS v budúcnosti pripojiť.

Získané priestorové dáta z MLS jaskýň Slovenska už boli využité pri mapovaní jaskýň (napr. Herich, 2023; Herich, 2025 – in print), geologickom výskume (napr. Littva et al., 2024), kontrole objemu vynášaných antropogénnych sedimentov pri revitalizácii Čiernej jaskyne-Mieru (Demänovskej jaskyne mieru) a Demänovskej jaskyne slobody, projektovaní rekonštrukcie prehliadkovej trasy Krásnohorskej jaskyne, pri dokumentácii odťaženia jaskýň v Hrboltovej a následných potrebných projekčných prácach v súvislosti s výstavbou diaľnice D1. Na báze dát z MLS aktuálne prebieha aj výskum objemovo najväčších jaskynných domov Slovenska, monitoring stavu ľadu v ľadových jaskyniach Slovenska, analýza sezónnej dynamiky, objemovej bilancie a priestorových zmien ľadových výplní v Dobšinskej ľadovej jaskyni a výskum korelácie jaskynných úrovní Demänovskej a Jánskej doliny s povrchovými zarovnanými formami georeliéfu. 3D dáta majú tiež slúžiť ako východiskový stav prírodného prostredia v kontraste potenciálnych zmien a zásahov. Na základe týchto dát je aj ochrana prírody – krasu a jaskýň exaktnejšia a objektívnejšia.

Literatúra

- BARTOŠ, K. – PUKANSKÁ, K. – RAKAV, S. – SABOVÁ, J. – BELLA, P. 2018. 3D digital mapping of cave spaces in Slovakia by terrestrial laser scanning. In *Advances and Trends in Geodesy, Cartography and Geoinformatics*.
- BARTOŠ, K. – PUKANSKÁ, K. – BELLA, P. 2021. High resolution topography of a world heritage cave. *GIM International*, 35, 5, 29–31.
- BELLA, P. – LITVA, J. – PUKANSKÁ, K. – GAŠINEC, J. – BARTOŠ, K. 2015. Využitie terestrického laserového skenovania pri skúmaní štruktúrno-geologických diskontinuit a morfológie jaskýň: príklad jaskyne Dúpnica v Západných Tatrách. *Acta Geologica Slovaca*, 7, 2, 93–102.
- 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: Ochitná Aragonite Cave, Slovakia. *International Journal of Speleology*, 51, 1, 13–28. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.51.1.2397>.
- BENANI, H. – OUZZAQOUT, L. A. – BOUDAD, L. – RHINANE, H. – NEHILI, A. – EL KHALKI, Y. – SLIMANI, N. 2022. Topographic survey with Disto X and 3D representation of the caves by laser grammar: case of the Aziza Cave, Errachidia, Morocco. *Iraqi Geological Journal*, 55, 1D, 21–34. <https://doi.org/10.46717/igj.55.1D.2Ms-2022-04-18>.
- BLATNIK, M. – OBU, J. – KOŠUTNIK, J. – GABROVŠEK, F. 2022. 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.
- CERA, V. 2024. Rapid speleological survey procedures for hermitages: The cave of the angel in Montesano (SA). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-2/W8, 85–91. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLVIII-2-W8-2024-85-2024>.

- ÇÖMERT, R. – ÖZDEMİR, S. – BİLGİLIOĞLU, B. B. – ALEMDAG, S. – ZEYBEK, H. I. 2023. 3D data integration for geo located cave mapping based on unmanned aerial vehicle and terrestrial laser scanner data. *Baltica*, 36, 1, 37–50. <https://doi.org/10.5200/baltica.2023.1.4>.
- DE WAELE, J. – FABBRI, S. – SANTAGATA, T. – CHIARINI, V. – COLUMBU, A. – PISANI, L. 2018. Geomorphological and speleogenetical observations using terrestrial laser scanning and 3D photogrammetry in a gypsum cave (Emilia Romagna, N. Italy). *Geomorphology*, 319, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.07.012>.
- DI STEFANO, F. – TORRESANI, A. – FARELLA, E. M. – PIERDICCA, R. – MENNA, F. – REMONDINO, F. 2021. 3D surveying of underground built heritage: opportunities and challenges of mobile technologies. *Sustainability*, 13, 23, 13289. <https://doi.org/10.3390/su132313289>.
- DURRANT-WHITE, H. – BAILEY, T. 2006. Simultaneous localization and mapping: Part I. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 13, 2, 99–110. <https://doi.org/10.1109/MRA.2006.1638022>.
- DUŠEKOVÁ, L. – HERICH, P. – PUKANSKÁ, K. – BARTOŠ, K. – KSEŇAK, Ľ. – ŠVEDA, J. – FEHÉR, J. 2024. Comparison of non contact measurement technologies applied on the underground glacier – the choice for long term monitoring of ice changes in Dobšiná Ice Cave. *Remote Sensing*, 16, 20, 3870. <https://doi.org/10.3390/rs16203870>.
- DUŠEKOVÁ, L. 2025. Analýza priestorovej štruktúry a antropogénnych zmien jaskynných geosystémov Západných Karpát bezkontaktnými meracími technológiami. Dizertačná práca. Košice, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií. 140 s.
- FABBRI, S. – SAURO, F. – SANTAGATA, T. – ROSSI, G. – WAELE, J. D. 2017. High resolution 3D mapping using terrestrial laser scanning as a tool for geomorphological and speleogenetical studies in caves: an example from the Lessini mountains (North Italy). *Geomorphology*, 280, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.12.001>.
- GALLAY, M. – KAŇUK, J. – HOCHMUTH, Z. – MENEELY, J. D. – HOIERKA, J. – SEDLÁK, V. 2015. Largescale and high resolution 3D cave mapping by terrestrial laser scanning: a case study of the Domica Cave, Slovakia. *International Journal of Speleology*, 44, 3, 277–291. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.44.3.6>.
- GALLAY, M. – HOCHMUTH, Z. – KAŇUK, J. 2016. Geomorphometric analysis of cave ceiling channels mapped with 3D terrestrial laser scanning. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, 5, 1827–1849. <https://doi.org/10.5194/hess-20-1827-2016>.
- GÓMEZLENDE, M. – SERRANO, E. – BERENGUER, F. 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, 2, 141–150.
- GÓMEZLENDE, 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. – BUDAJ, M. 2024. O udržateľnom mapovaní jaskýň. *Aragonit*, 29, 1, 46–47.
- HOIERKA, J. – HOCHMUTH, Z. – KAŇUK, J. – GALLAY, M. – GESSERT, A. 2016. Mapovanie jaskyne Domica pomocou terestrického laserového skenovania. *Geografický časopis*, 68, 1, 25–38.
- IDREES, M. O. – PRADHAN, B. 2016. A decade of modern cave surveying with terrestrial laser scanning: a review of sensors, method and application development. *International Journal of Speleology*, 45, 1, 71–88. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.45.1.1923>.
- JALANDONI, A. – WINANS, W. – WILLIS, M. 2021. Intensity values of terrestrial laser scans reveal hidden black rock art pigment. *Remote Sensing*, 13, 7, 1357.
- KARTINI, G. A. J. – RIZKY, A. – RAFIQ, F. A. 2022. Utilization of terrestrial laser scanner technology for analyzing shape of Dutch Cave (Bandung, West Java). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1047, 1, 12007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1047/1/012007>.
- KARTINI, G. A. J. – GUMILAR, I. – ABIDIN, H. Z. – YONDRI, L. – BRAMANTO, B. – DWISATRIA, M. I. 2024. 3D model of Pawon Cave: the first prehistoric dwelling discovery in West Java, Indonesia. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 32, e00311. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2023.e00311>.
- KLAPA, P. – MITKA, B. – DURAZIŇSKI, D. – PODŽORSKA, A. 2024. Use of terrestrial laser scanning point cloud in the inventory of Mechowo Caves. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*, 1. <https://doi.org/10.15576/GLL/2024.1.03>.
- LITVA, J. – HERICH, P. – GAÁL, Ľ. – DUŠEKOVÁ, L. 2024. A comparison of the structural data acquired in the Okno Cave (Slovakia) by field research versus the 3D LiDAR models. In *Inogovšek, B. – Švara, A. – Gabrovšek, F. – Zupan-Hajna, N. (Eds.): Data Acquisition and Analysis in Karst Systems: 31st International Karstological School „Classical Karst“: abstracts & guide book. Ljubljana/Postojna: Založba ZRC, 2024.*
- MCFARLANE, D. A. – ROBERTS, W. – BUCHROITHNER, M. – VAN RENTERGEM, G. – LUNDBERG, J. – HAUTZ, S. 2015. Terrestrial LiDAR based automated counting of swiftlet nests in the caves of Gomantong, Sabah, Borneo. *International Journal of Speleology*, 44, 2, 191–195. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.44.2.8>.
- MUDRÁK, S. – BUDAJ, M. 2025. Therion: new approach to cave surveying [online]. Prístupné na <https://therion.speleo.sk/index.php>, 20.10.2025.
- NOVÁKOVÁ, M. – GALLAY, M. – ŠUPINSKÝ, J. – FERRÉ, E. – ASTI, R. – DE SAINT BLANQUAT, M. – BAJOLET, F. – SORRIAUX, P. 2022. Correcting laser scanning intensity recorded in a cave environment for high-resolution lithological mapping: A case study of the Gouffre Georges, France. *Remote Sensing of Environment*, 280, 113210. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113210>.
- NOVÁKOVÁ, M. 2023. Korekcia intenzity odrazeného laserového lúča pre pozemné laserové skenovanie a jej aplikácia v jaskynnom prostredí. Dizertačná práca. Košice: Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, Prírodovedecká fakulta. 121 s.
- PASIERT, B. – GAJEK, G. – URBAN, J. – NAWROCKI, W. 2024. Integrated geophysical and geomorphological studies of caves in calcarenite limestones (Jaskinia pod Świecami Cave, Poland). *Surveys in Geophysics*, 45, 3, 663–694.
- PETROVIĆ, A. – CALIC, J. – PANTIĆ, M. 2018. Through cave on the Zamna River in Eastern Serbia: new morphogenetic interpretations. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 98, 2, 29–44.
- PEIFFER, J. – RUTZINGER, M. – SPÖTL, C. 2023. Terrestrial laser scanning for 3D mapping of an alpine ice cave. *The Photogrammetric Record*, 38, 181, 6–21. <https://doi.org/10.1111/phor.12437>.
- PLUTA, P. – SIEMEK, D. 2023. Possibilities and limitations of using iPhone 13 Pro with built in LiDAR sensor in cave research – on the example of paleoflow analysis in Mylna Cave (Western Tatra Mts, Poland). *Landform Analysis*, 42, 51–62. <https://doi.org/10.12657/landfana-042-004>.
- PETERS, C. – MILLIS, 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, Salzburg*, 1–10.
- PUKANSKÁ, K. – BARTOŠ, K. – SABOVÁ, J. – TOMETZOVÁ, D. 2018. High resolution 3D mapping for the survey of valuable inaccessible Medvedia Cave in the National Park of Slovenský raj. In *Advances and Trends in Geodesy, Cartography and Geoinformatics*.
- PUKANSKÁ, K. – BARTOŠ, K. – BELLA, P. – GAŠINEC, J. – BLISTAN, P. – KOVANIČ, Ľ. 2020. Surveying and high-resolution topography of the Ochtná Aragonite Cave based on TLS and digital photogrammetry. *Applied Sciences*, 10, 13, 4633. <https://doi.org/10.3390/app10134633>.
- PUKANSKÁ, K. – BARTOŠ, K. – GAŠINEC, J. – PAŠTEKA, R. – ZAHOREC, P. – PAPČO, J. – KSEŇAK, Ľ. – BELLA, P. – ANDRÁSSY, E. – DUŠEKOVÁ, L. – BOBIKOVÁ, D. 2024. Methodological approaches to survey complex ice cave environments – the case of Dobšiná (Slovakia). *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1484169. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1484169>.
- REDOVNIKVIĆ, L. – JAKOPEC, A. – BĘDKOWSKI, J. – JACETIĆ, J. 2024. The affordable DIY Mandeye LiDAR system for surveying caves, and how to convert 3D clouds into traditional cave ground plans and extended profiles. *International Journal of Speleology*, 53, 3, 2535. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.53.3.2535>.
- SANTAGATA, T. – MARRAFA, A. – DE WAELE, J. – SAURO, F. 2022. Detecting morphological changes through terrestrial laser scanning in salt and ice caves: the cases of Cueva Lechuza (Atacama, Chile) and Cenote Abyss (Dolomites, Italy). In *Häuselmann, P. – Jailet, S. (Eds.): Proceedings of the 18th International Congress of Speleology – Vol. VI: Karstologia Mémoires n°26: S09: Topography, Mapping, 3D, Documentation. Savoie Mont Blanc 2022.*
- SEVIL AGUIALES, J. – PISANI, L. – CHIARINI, V. – SANTAGATA, T. – DE WAELE, J. 2025. Gypsum cave notches and their palaeoenvironmental significance: a combined morphometric study using terrestrial laser scanning, traditional cave mapping, and geomorphological observations. *Geomorphology*, 471, 109576. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109576>.
- SHAZALI, N. – CHEW, T. H. – SHAMSIR, M. S. – TAWIE TINGGA, R. C. H. – MOHD RIDWAN, A. R. – ANWARALI KHAN, F. A. 2017. Assessing bat roosts using the LiDAR system at Wind Cave Nature Reserve in Sarawak, Malaysian Borneo. *Acta Chiropterologica*, 19, 1, 199–210. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2017.19.1.016>.
- ŠUPINSKÝ, J. – KAŇUK, J. – HOCHMUTH, Z. – GALLAY, M. – SAŠAK, J. 2019. Spracovanie a zdieľanie dát z pozemného laserového skenovania komplexného jaskynného systému na príklade jaskyne Domica. *Slovenský kras: Acta Carsologica Slovaca*, 57, 2, 165–176.
- ŠUPINSKÝ, J. – NOVÁKOVÁ, M. – GALLAY, M. – KAŇUK, J. 2024. Microclimatic and ice accumulation change monitoring in Silická ľadnica cave. In *Proceedings of the 10th International Workshop on Ice Caves, Werfenweng, Austria, May 12–18, 2024*, 39. <https://doi.org/10.25651/1.2024.0002>.
- TANDUO, B. – CHIABRANDI, F. – COLUCCIA, L. – AURIEMMA, R. 2023. Underground heritage documentation: the case study of Grotta Zinzulusa in Castro (Lecce, Italy). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M2, 1527–1534. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M2-2023-1527-2023>.
- ZLOT, R. – BOSSE, M. 2014. Three-dimensional mobile mapping of caves. *Journal of Cave and Karst Studies*, 76, 3, 191–206. <https://doi.org/10.4311/2012EX0287>.

SUBTERÁNNA FAUNA SEZÓNNE PREMŔZAJÚCEHO PODZEMIA ĽADOVEJ JASKYNE V OSTRÝCH SKALÁCH (ĽUBOVNIANSKA VRCHOVINA)

Miloš Melega¹ – Vladimír Papáč¹ – Tomáš Jászay² – Peter Ľuptáčik³
– Tomáš Čejka⁴ – Bernd Grundmann⁵ – Adrián Purkart⁶

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

² Šarišské múzeum v Bardejove, Radničné námestie 13, 085 01 Bardejov; jaszaytomas@gmail.com

³ Katedra zoológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Šrobárova 2, 041 54 Košice; peter.ľuptacik@upjs.sk

⁴ Centrum biológie rastlín a biodiverzity SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 845 23 Bratislava; t.cejka@gmail.com

⁵ Diekstraße 6, D – 33824 Werther (Westf.), Germany; bernd.grundmann@t-online.de

⁶ Katedra zoológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4;
purbart.adrian@gmail.com

M. Melega, V. Papáč, T. Jászay, P. Ľuptáčik, T. Čejka, B. Grundmann, A. Purkart: Subterranean fauna of seasonally freezing underground of the Ľadová jaskyňa v Ostrých skalách Cave (Lubovnianska vrchovina Mts.)

Abstract: The Ľadová jaskyňa v Ostrých skalách Cave is formed in the Middle to Upper Jurassic Czorsztyn nodular limestones of the Pieniny Klippen Belt. It is a relatively short cave of a shaft-like character (26 m length/8 m depth) with the seasonal formation of ice. Based on its genesis, it is a fissure-talus cave.

Until now, only the fauna of the Aksamitka Cave (Pieniny Klippen Belt) was known in the nearby regional area. Our faunistic research was carried out in 2024. In total, we recorded 61 taxa from 15 higher-level taxonomic groups of invertebrates. We found the obligate-cave species *Megalothorax hipmani* and the relict *Protaphorura janosik* (Collembola). Significant are also the records of the glacial relict mite *Poecilophysis spelaea* (Prostigmata), and nine other eutroglophilous species belonging to Coleoptera, Collembola, Diptera, and Gamasina. We found two Carpathian endemic species such as *Faustina faustina* (Gastropoda) and *Mundochthonius carpathicus* (Pseudoscorpionida). In this cave, obligate aquatic fauna was absent. Species diversity and abundance were highest at the bottom of the cave, where organic material was accumulated. The high number of invertebrates, 7,265 specimens, was mainly due to the abundant eutroglophilous springtail *Ceratophysella granulata*. For comparison, the fauna of this cave showed greater taxonomic diversity compared to the relatively nearby Aksamitka Cave. However, this does not relate to the subterranean fauna. In general, the subterranean fauna was more diverse in Aksamitka Cave. In the study cave, the stygobitic and troglitic fauna, such as the endemic springtails *Neelus koseli* Kováč and Papáč, 2010 and *Deuteraphorura kratochvili* (Nosek, 1963), were absent. In contrast, the cave springtail *Megalothorax hipmani* was not observed in Aksamitka Cave, and in the study cave species reached its northernmost occurrence. The studied cave habitat represents an important phenomenon worthy of protection in view of the occurrence of obligate cave species and Carpathian endemic species. We recorded an increase in the maxima of the air temperature in the rear parts of the cave compared with historical data. This can clearly indicate a change in the microclimatic regime of this cave. We conclude that observed changes can affect the formation of the ice fill, and thus distribution of stenothermic invertebrate species associated with specific habitat conditions, stable and cold microclimate.

Keywords: ice cave, subterranean fauna, Klippen Belt, Western Carpathians

ÚVOD

Ľadová jaskyňa v Ostrých skalách bola miestnym obyvateľom známa už dávnejšie pod viacerými názvami, ako napr. Ľadová jaskyňa, Ľadovňa či Litmanovská jaskyňa. Lokalizovaná je na ľavom úbočí Ostrých skaliek v severozápadnej časti Ľubovnianskej vrchoviny. Vchod je v nadmorskej výške 772 m v západne orientovanom zalesnenom svahu pokrytom kamenitou sutinou (Fudaly a Pavlarčík, 1984).

Prvé známe prieskumné aktivity sa v jaskyni uskutočnili v roku 1931 a v tom istom roku došlo aj k pokusu preniknúť hlbšie do podzemia (ústna informácia Hlinka, 1979 podľa Fudaly a Pavlarčík, 1984). Väčšia pozornosť sa začala jaskyni venovať až od druhej polovice 20. storočia. Z pohľadu speleológie a dokumentácie jaskýň sa o jaskyňu zaujímal Jirásek (1953). Komplexnejšie informácie o jaskyni s prehľadom výskumov, hodnotenie lokality zo speleologického hľadiska, výsledky z vykonaných sondážnych prác v rokoch 1978 –

1979 či poznatky z geológie a genézy jaskyne priniesli Fudaly a Pavlarčík (1984). Jaskyni alebo aj geologickej stavbe okolia sa postupne venovalo viacero autorov, ako Andrusov et al. (1959), Roth et al. (1963), Scheibner (1962), Borza a Martiny (1964), Srnánek a Salaj (1965), Nemčok (1977) či Hochmuth (1984).

Biospeleologické údaje z jaskyne doteraz známe neboli. Približne 12 km vzdušnou čiarou smerom na západ sa nachádza väčšia jaskyňa Aksamitka (Pieniny), ktorá má dĺžku 335 m a hĺbku 18 m. Je to zlomovo-korózná jaskyňa s vchodom v nadmorskej výške 756 m (Bela et al., 2018). Subterránnej faune jaskyne Aksamitka sa venovalo viacero autorov (Stach, 1934, 1949; Panigaj, 1992; Kováč a Mock, 1999; Kováč, 2000; Svatoň, 2000, 2002; Košel, 2001; Kováč et al., 2010). Prieskum fauny netopierov má tiež dlhú históriu a netopiere boli predmetom záujmu mnohých zoológov. Prehľad starších literárnych zdrojov doplnený o vlastné údaje z terénu publikovali Pjenčák a Danko (2002). Višňovská et al. (2015) skúmali zimovanie netopierov v deviatich jasky-

niach Pienin, pričom jaskyňa Aksamitka bola vyhodnotená ako najvýznamnejšie zimovisko netopierov tohto územia. Jedným zo stimulov k poznaniu fauny Ľadovej jaskyne v Ostrých skalách bol krátky orientačný faunistický prieskum zo dňa 9. 8. 2021 pre potreby realizácie náučného chodníka v blízkosti jaskyne. V snahe komplexnejšie podchytiť miestne pomery z hľadiska výskytu subterránnej fauny sme v roku 2024 začali s biospeleologickým výskumom zameraným na terestrickú faunu bezstavovcov. Vodné biotopy vrátane priesakovej vody chýbali. Vzhľadom na relatívne krátku dĺžku jaskyne (26 m dĺžka, 8 m hĺbka), charakter jaskyne s dočasným ľadom a samotnú zoogeografickú polohu územia v rámci Západných Karpát sme neočakávali početný a frekventovaný výskyt pravých jaskynných druhov – troglobiontov, ale skôr prítomnosť vzácných endemických a reliktných (stenotermných) druhov, ktoré by mohli nachádzať útočisko v tejto jaskyni vďaka priaznivej (a relatívne stabilnej) chladnej a vlhkej mikroklimu.



Obr. 1. Vstupný portál Ľadovej jaskyne v Ostrých skalách. Foto: M. Melega
Fig. 1. Entrance portal of the Ľadová jaskyňa v Ostrých skalách Cave. Photo: M. Melega

CHARAKTERISTIKA LOKALITY

Ide o rozsadinovo-sutinovú jaskyňu (Bella et al., 2018). Jaskyňa je vytvorená v strednojurských až vrchnojurských čorštynských hľuznatých vápencoch pieninského bradlového pásma. Patrí do krasu Jarabinských bradiel (Hochmuth, 2008). Jaskynné priestory sú založené na tektonických puklinách prestupujúcich vápencový masív. Tie ho členia na jednotlivé bloky, ktoré vzájomným pohybom vytvorili pomerne úzke, prevažne puklinové priestory. Tie boli neskôr sekundárne vyplnené vápencovými úlomkami a hlinou. Jaskyňa má dva vchody oddelené od seba veľkým vápencovým blokom (obr. 1). Vstupné otvory majú rozmery $1,7 \times 1,5$ m a $0,4 \times 1,5$ m (podľa Fudaly a Pavlarčíka, 1984). Jaskynné priestory vedú stupňovite smerom dolu, až sa zužujúca chodba končí zasutím.

Výplň jaskyne tvoria drobné až hrubé, nespávané ostrohranné vápencové úlomky. Nachádzajú sa najmä vo vstupných priestoroch jaskyne, odkiaľ sa gravitáciou dostávajú na dno. Terajšie dno jaskyne v spodnej časti vyplňa tmavohnedá a červenkastá vlhká hlina, ktorá je pomešaná s drobným

vápencovým skeletom (veľkosť 2 – 20 mm) a väčšími vápencovými úlomkami (priemerne 10 – 20 cm). V značnom množstve hlina obsahuje aj drobný rohový skelet (veľkosť najčastejšie 2 – 6 mm). Jaskyňa je sezónne vyplňaná ľadom vo forme sublimačného ľadu (srieň) a nátekového ľadu. Nátekový ľad vzniká počas zimného a predjarného obdobia, keď sa vplyvom ochladenia horninového masívu roztopená voda zo snehovej pokrývky dostáva do podchladených priestorov a zamŕza. Výsledkom sú rôznorodé morfológické formy, ako plošné náteky, povlaky a brká. So zvyšujúcou sa priemernou teplotou sa ľad topí a koncom leta až začiatkom jesene je jeho výskyt minimálny. Jaskyňa má dynamický režim prúdenia vzduchu – v letných mesiacoch vzduch prúdi smerom von z jaskyne, v zimných naopak dovnútra. Tento mechanizmus výrazne ovplyvňuje teplotný režim v podzemí, ktorý je

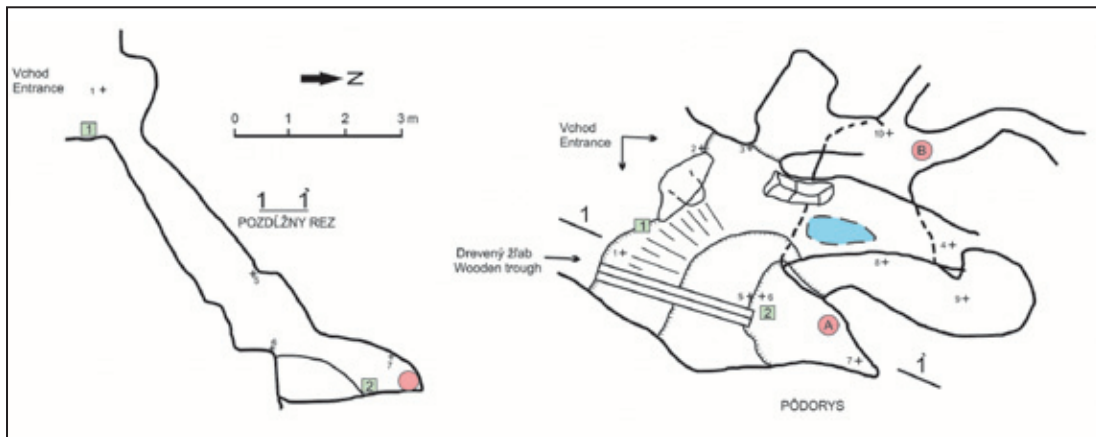
klúčovým faktorom pre udržiavanie či zánik ľadovej výplne (Fudaly a Pavlarčík, 1984).

ZBER MATERIÁLU

Faunistický výskum bol v jaskyni realizovaný v dňoch 28. 5. a 18. 10. 2024. Časť priestorov sme si orientačne pomenovali podľa meračích bodov na mape od Fudalyho a Pavlarčíka (1979), zobrazenej na obr. 2. Vzhľadom na to, že každá z použitých metód zberu materiálu má selektívny charakter (porov. Jureková et al., 2019), s cieľom čo najkomplexnejšieho zachytenia spoločenstva bezstavovcov sme použili viacero nasledujúcich štandardných

odchytočných metód, pričom pri odchYTE do zemných pascí sme využili dva rôzne fixačné roztoky:

- Odchyty do zemných pascí a exponovanie návnad – pri meračích bodoch (skrátka m. b.) 7 a 10 v spodnej časti jaskyne, dysfotická zóna; na stanovišti boli v období máj – október 2024 uložené návnady (ovsené vločky, sušené drożdžie), ako aj pôvodné kusy drevenej hmoty z jaskyne. Uložené boli k týmto inštalovaným zemným pasciam (obr. 3):
 - Miesto uloženia zemných pascí pri m. b. 7 (A) – piesčito-kamenitý sediment so zastúpením organického materiálu, ako staré tlejúce drevo, lístie, konáre. Umiestnené 2 zemné pasce (jogurtové poháre, 150 ml, Ø 7 cm, konzervačný roztok 4 % formalínu).
 - Miesto uloženia zemných pascí pri m. b. 10 (B) – piesčito-hlinitý sediment bez zastúpenia organického materiálu. Umiestnené 2 zemné pasce (polyetylénové fľaše, 100 ml, Ø 2,5 cm, konzervačný roztok 50 % etylenglykolu).
- Odber vzoriek organického materiálu (semikvantitatívne vzorky, 28. 5. a 18. 10. 2024) a následná extrakcia v modifikovanom vysokogradientnom fotoelektore podľa Crossley a Blair, 1991) s fixovaním v 75 % etylalkohole:
 - Miesto odberu vzorky pri m. b. 1 a 2 (č. 1) – vo vchode jaskyne (do 1 m od vchodu); vstupná zóna jaskyne; pôdny typ rendzina; vrchná vrstva pôdnej opadanky s prítomným ihličím a bukovým opadom; v bezprostrednom okolí vchodu menej rozvinutá bylinná etáž s lesnou asociáciou typu vápencové (smrekovo)-jedľovo-bukové lesy; odber formou preosevu, 16 plôšok 25×25 cm (1 m^2) s použitím preosievadla s hranami 25×25 cm a okami s veľkosťou 1×1 cm.
 - Miesto odberu vzorky pri m. b. 6 (č. 2), 18. 10. 2024 – dolné časti jaskyne; dysfotická zóna jaskyne; odobraté spráchnivené časti dreva; odber 2 dm^2 starého tlejúceho dreva a rozdrobenej drevenej hmoty.
- Individuálny zber jedincov pozdĺž jaskyne z rôznych mikrohabitatov (jaskynné steny, povrch sedimentov, povrch organického materiálu) s použitím entomologickej pinzety a jemného štetca.



Obr. 2. Bokorys a pôdorys Ľadovej jaskyne v Ostrých skalách. Upravené z mapového podkladu: Fudaly a Pavlarčík (1979)

Legenda: červený krúžok (A, B) – označenie polohy uloženia zemných pascí, zelený štvorček (1, 2) – miesto odberu organického materiálu na extrakciu, modrá farba – miesto sezónneho zaľadnenia v roku 2024, +1 – pôvodné meračské body
Fig. 2. Cross-section and ground plan of the Ľadová jaskyňa v Ostrých skalách Cave. Modified from the base map: Fudaly a Pavlarčík (1979). Legend: red circle (A, B) – location of ground traps, green square (1, 2) – organic material sampling site for extraction, the blue color – the location of the seasonal glaciation in 2024, +1 – original measuring points

Tab. 1. Prehľad fauny bezstavovcov ľadovej jaskyne v Ostrých skalách zistenej v roku 2024. Poznámka: ▪ troglobiontný druh, ° eutroglofilný druh

Tab. 1. Overview of the invertebrate fauna of the ľadová jaskyňa v Ostrých skalách Cave found in 2024. Notes: ▪ troglobiotic species, ° eutroglophilous species

Poloha nálezu/ Finding place	vchod	m. b. 5 (v strede hĺbky jaskyne)	m. b. 7 (dno vpredu)	m. b. 10 (dno vzadu)	Celkove / Σ total
Metóda prieskumu/ Search method	EXT + PZ	PZ + VIZ	ZS (A) + EXT + PZ + VIZ	ZS (B) + VIZ	
Mikrohabitat/ Type of habitat	sediment – hrabanka, steny	sediment, steny, drevo	sediment, steny, drevo	sediment, steny	
Taxóny/ Taxa					
MOLLUSCA					
Gastropoda					
<i>Alinda biplicata</i> (Montagu, 1803)		1			1
<i>Clausilia dubia</i> Draparnaud, 1805	1				1
<i>Ena montana</i> (Draparnaud, 1801)	1				1
<i>Faustina faustina</i> (Rossmässler, 1835)	4		5		9
<i>Macrogastra plicatula</i> (Draparnaud, 1801)	1				1
<i>Oxychilus deubeli</i> (A.J. Wagner, 1914)			1		1
<i>Semilimax semilimax</i> (Ferussac, 1802)		1			1
<i>Succinea putris</i> (Linnaeus, 1758)	1				1
<i>Vitrea transsylvanica</i> (Clessin, 1877)				1	1
ARACHNIDA					
Acari					
Prostigmata					
° <i>Poecilophysys spelaea</i> (Wankel, 1861)			1		1
Prostigmata indet.	10		1		11
Mesostigmata, Gamasina					
<i>Veigaia nemorensis</i> (Koch, 1839)			2		2
° <i>Vulgarogamasus remberti</i> (Oudemans, 1912)			2		2
Cryptostigmata, Oribatida					
<i>Achipteria coleoptrata</i> (Linnaeus, 1758)	1				1
<i>Achipteria nitens</i> (Nicolet, 1855)	1				1
<i>Carabodes rugosior</i> Berlese, 1916	1				1
<i>Ceratoppia bipilis</i> (Hermann, 1804)	7				7
<i>Damaeus crispatus</i> (Kulczynski, 1902)	1				1
<i>Eremaeus hepaticus</i> C.L. Koch, 1835	2				2
<i>Fuscozetes setosus</i> (C.L. Koch, 1839)	1				1
<i>Oribatella calcarata</i> (Koch, 1835)	1				1
<i>Oribatella</i> sp.	1				1
<i>Oribatula tibialis</i> (Nicolet, 1855)	6				6
<i>Scheloribates (Hemileius) initialis</i> (Berlese, 1908)	1				1
<i>Sphaerozetes piriformis</i> (Nicolet, 1855)	2				2
Araneae					
<i>Meta menardi</i> (Latreille, 1804)		> 3	> 5		8
<i>Metelliina merianae</i> (Scopoli, 1763)	1	2	1		4
<i>Trochosa terricola</i> Thorell, 1856			1		1
Pseudoscorpiones					
<i>Mundochthonius carpaticus</i> Rafalski, 1948	1				1
<i>Neobisium carcinoides</i> (Hermann, 1804)			3	1	4
MYRIAPODA					
Diplopoda					
<i>Enantiulus nanus</i> (Latzel, 1884)			1		1
HEXAPODA					
Collembola					
° <i>Ceratophysella granulata</i> Stach, 1949	1		6542	302	6845
<i>Desoria</i> sp.	3				3
<i>Dicyrtoma fusca</i> (Lucas, 1849)	1	2	1		4
<i>Hypogastrura manubrialis</i> (Tullberg, 1869)			1		1
<i>Lepidocyrtus lignorum</i> (Fabricius, 1775)	2				2

Poloha nálezu/ Finding place	vchod	m. b. 5 (v strede hĺbky jaskyne)	m. b. 7 (dno vpredu)	m. b. 10 (dno vzadu)	Celkovo / Σ total
Metóda prieskumu/ Search method	EXT + PZ	PZ + VIZ	ZS (A) + EXT + PZ + VIZ	ZS (B) + VIZ	
Mikrohabitat/ Type of habitat	sediment – hrabanka, steny	sediment, steny, drevo	sediment, steny, drevo	sediment, steny	
HEXAPODA					
Collembola					
<i>Lepidocyrtus violaceus</i> (Fourcroy, 1785)			1		1
<i>Megalothorax</i> cf. <i>incertus</i> Börner, 1903			3		3
▪ <i>Megalothorax hipmani</i> Papáč & Kováč, 2013			14		14
▫ <i>Megalothorax minimus</i> Willem, 1900			21		21
▫ <i>Plutomurus carpaticus</i> Rusek et Weiner, 1977		1		1	2
<i>Pogonognathellus flavescens</i> (Tullberg, 1871)			1	1	2
▫ <i>Protaphorura armata</i> (Tullberg, 1869)			2		2
▪ <i>Protaphorura janosik</i> Weiner, 1990			13	5	18
<i>Protaphorura subarmata</i> (Gisin, 1957)			1		1
▫ <i>Pygmarrhopalites pygmaeus</i> (Wankel, 1860)			79		79
Insecta					
Coleoptera					
<i>Catops longulus</i> Kellner, 1846			26	39	65
<i>Omalium validum</i> Kraatz, 1857			1	10	11
<i>Pterostichus melas</i> (Creutzer, 1799)			1		1
<i>Tachinus pallipes</i> (Gravenhorst, 1806)				1	1
▫ <i>Quedius mesomelinus mesomelinus</i> (Marshall, 1802)			1	13	14
Diptera					
Bolitophilidae			1		1
▫ <i>Heleomyza captiosa</i> (Gorodkov, 1962)		1			1
Sciaridae			2		2
Sphaeroceridae					
▫ <i>Herniosina bequaerti</i> (Villeneuve, 1917)			2	5	7
indet.			2		2
Phoridae					
<i>Triphleba antricola</i> (Schmitz, 1918)			1		1
Trichoceridae			7		7
Diptera larvae			19	47	66
Hymenoptera					
<i>Formica rufa</i> Linnaeus, 1761		1			1
Lepidoptera					
<i>Scoliopteryx libatrix</i> (Linnaeus, 1758)		> 5			5
<i>Triphosa dubitata</i> (Linnaeus, 1758)			> 2	> 3	5
Počet taxónov/ Number of taxa	24	10	35	13	
Počet taxónov celkovo/ Σ taxa	24	10	38		61
Počet jedincov/ Number of ind.	52	17	6767	429	
Počet jedincov celkovo/ Σ ind.	52	17	7196		7265

d) Vizuálne pozorovanie – niektoré väčšie druhy ulitníkov, pavúkovcov a hmyzu sme výlučne pozorovali a bližšie identifikovali priamo na mieste („in situ“) alebo neskôr prostredníctvom vyhotovenej fotodokumentácie.

Získaný zoologický materiál bol identifikovaný pomocou stereoskopického mikroskopu Nikon SMZ645 a mikroskopu Leica DM1000 s fázovým kontrastom ako dočasné (napr. štúriky) alebo trvalo fixované (napr. chvostoskoky) preparáty s využitím determinačných kľúčov zameraných na stredo európsku faunu (Zacharda, 1980; Bretfeld, 1999; Schneider,

2022 a iné). V dôsledku absencie špecialistov nebolo možné determinovať všetky čeľade spomedzi prostigmátnych roztočov (Prostigmata) či dvojkrídlovcov (Diptera).

Na jednorazové meranie okamžitej (aktuálnej) teploty vzduchu sme použili teplomer Checktemp (Hanna Instruments, presnosť merania $\pm 0,2$ °C). Teplotu vzduchu sme merali na 4 stanovištiach v smere od vonkajšieho prostredia po koncové vnútorné, resp. najhlbšie miesta jaskyne (pred vchodom, vchod, stred – m. b. 5, miesto uloženia zemných pasíc – m. b. 8). Miesto dočasného zaľadnenia jaskyne sme vyznačili na mape (obr. 2.).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

V období nášho výskumu sme v jaskyni zaznamenali celkovo 7265 exemplárov z 15 vyšších taxonomických skupín. Zo zistenej fauny sa nám podarilo determinovať 61 taxónov, z ktorých 54 bolo dosiaľ identifikovaných až do druhovej úrovne (tab. 1). Medzi faunu s väčšou afinitou k subteránnemu prostrediu môžeme zaradiť dva významné troglobiontné druhy a ďalších 10 eutroglofilných. V spoločenstve fauny v jaskyni počtom druhov aj jedincov dominovali chvostoskoky (Collembola). Z nich mal najvyššiu dominanciu

eutroglofilný druh *Ceratophysella granulata* (D = 94 %). Najväčšia diverzita, 35 taxónov, bola zaznamenaná na dne jaskyne pri m. b. 7. V tejto časti sa akumulovalo najviac organickej hmoty, akou boli zvyšky starého dreva

a listový opad. Významným potravným zdrojom jaskyne bola stará drevená výstuž a drevený vodiaci žľab; Pavlarčík (1978) spomína, že im slúžil na transport materiálu z jaskyne na povrch (obr. 4). Na týchto miestach nechýbali

vytvára početné a stabilné populácie (Kováč et al., 2014). Druhovovo najpestrejšou skupinou roztočov boli pancierniky (Oribatida), ktoré sa vyskytovali len v jaskynnom vchode a žiaden z nájdených pôdných druhov nemá väčšiu afinitu k jaskynnému prostrediu. Z pavúkov (Araneae) sme vo vnútorných priestoroch jaskyne zaznamenali metu temnostnú (*Meta menardi*). Tento pavúk, ale i meta jaskynná (*Metellina merianae*), zástupcovia čeľade čelustnatkovité (Tetragnathidae) sa vyskytujú najmä vo vstupných priestoroch jaskýň (Mammola a Isaia, 2014). Posledným z pavúkov bol strehúň zemný (*Trochosa terricola*), ktorý je euryekným druhom (Krause et al., 2013). Štúriky (Pseudoscorpiones) reprezentoval druh z komplexu *Neobisium carcinoides*. Vyskytoval sa tu aj druh karpatského pôvodu *Mundochthonius carpaticus*. Tento štúrik čeľade Chthoniidae je edafickým druhom, vyskytuje sa v opadaných zmiešaných lesoch, v humuse, pod kameňmi a kusmi dreva (Christophoryová a Krajčovičová, 2019).

Veľmi vzácné boli v jaskyni zastúpené viacnôžky (Myriapoda), a to mnohonôžka *Enantiulus nanus* (Diplopoda). Ide o epigeický a hygrofilný druh z čeľade Julidae (Hal'ková et al., 2021).

Šesťnôžky (Hexapoda) boli v skúmanej jaskyni zastúpené dominantnou skupinou, a to chvostoskokmi (Collembola), výrazne menej chrobákmi (Coleoptera), dvojkrídlavcami (Diptera), blanokrídlavcami (Hymenoptera) a motýľmi (Lepidoptera). Chvostoskoky patrili medzi najviac diverzifikovanú skupinu článkonožcov. Početne sme ich nachádzali na starom dreve. Spomedzi nich patrí k najvýznamnejším nálezom troglobiont *Megalothorax hipmani*. Vyskytuje sa v jaskyniach najmä centrálnych krasových regiónov Západných Karpát, ale nájdený bol napr. aj v kamennej sutine blízko vchodu jaskyne Zlatnica na Muránskej planine (Papáč a Kováč, 2013; Melega et al., 2023). Nález druhu v Ľadovej jaskyni v Ostrých skalách je jeho najsevernejšie zaznamenaný výskyt. Ďalším zaujímavým druhom bol *Protaphorura janosik*, s rozšírením v Západných aj Východných Karpatoch strednej Európy. Ide o reliktný druh obývajúcí chladné habitaty jaskýň, sutinových svahov a subalpínske pôdy (Parimuchová et al., 2017). Dominantným druhom v jaskyni bol *Ceratophysella granulata*, ktorý je častým obyvateľom chladnejších a vlhších habitatov jaskýň alebo sutinových svahov jaskynných vchodov (Raschmanová et al., 2018; Marcin et al., 2021). Najmä na dreve sme našli aj ďalšie eutroglofilné, ale menej početné chvostoskoky. Takými boli *Pygmarrhopalites pygmaeus* (obr. 6), ktorý je bežným obyvateľom európskych jaskýň, a *Megalothorax minimus*. Ďalej aj *Protaphorura armata*, ktorá obýva chladné a vlhké habitaty, napr. jaskyne, jaskynné vchody (Pomorski, 1998; Raschmanová et al., 2018). Eutroglofilný a psychrofilný druh *Plutomurus carpaticus* je karpatským endemitom (Weiner, 1981; Raschmanová et al., 2018; Marcin et al., 2021; Barjadze et al., 2022).

Z nájdených druhov chrobákov majú väčšiu afinitu k jaskynnému prostrediu najmä dva druhy. *Quedius mesomelinus mesomelinus*, ktorý je hojne zastúpený na celom území Slovenska, najmä v teplejších jaskyniach s dostatkom organického materiálu, podobne ako i ďalší, *Catops longulus* (Kováč et al., 2014).



Obr. 3. Miesto uloženia zemných pascí (časť A pri m. b. 7) v Ľadovej jaskyni v Ostrých skalách. Foto: M. Melega

Fig. 3. Location of ground traps (part A to m. b. 7) in the Ľadová jaskyňa v Ostrých skalách Cave. Photo: M. Melega



Obr. 4. Pohľad na vchod do Ľadovej jaskyne v Ostrých skalách z dna jaskyne. Foto: M. Melega

Fig. 4. View of the entrance to the Ľadová jaskyňa v Ostrých skalách Cave from the bottom of the cave. Photo: M. Melega



Obr. 5. Plodnica huby na dreve v Ľadovej jaskyni v Ostrých skalách. Foto: M. Melega

Fig. 5. Fruiting body of a fungus on wood in the Ľadová jaskyňa v Ostrých skalách Cave. Photo: M. Melega

huby (Fungi), ktoré vyrastajú z drevenej hmoty (obr. 5). Väčšinu zistených živočíchov (40 taxónov) sme odchytili len v nízkych počtoch jedincov (1 – 2 ex.). V smere z dna jaskyne k jej vchodu sme zistili zvýšené zastúpenie parietálnej fauny v podobe ulitníkov (Gastropoda – 6 spp.), pavúka mety jaskynnej (*Metellina merianae*) a motýľa mory pivničnej (*Scoliopteryx libatrix*). Bližšie k vchodu boli na stenách, dreve i sedimente nájdení zástupcovia chvostoskokov (Collembola) rodu *Desoria*, *Dicyrtoma fusca*, *Lepidocyrtus lignorum* či roztoč panciernik (Oribatida) *Damaeus crispatus*. V sedimente vchodu sme hojne nachádzali roztoče zo skupín Prostigmata a pancierniky (Oribatida), z nich najpočetnejšie druhy *Ceratoppia bipilis* a *Oribatula tibialis*.

Jednotlivé zistené taxonomické skupiny boli v jaskyni zastúpené rôznym počtom druhov aj jedincov. Spomedzi pavúkovcov (Arachnida) sme zaznamenali roztoče (Acari), pavúky (Araneae) a štúriky (Pseudoscorpiones). Z roztočov skupiny Prostigmata bol zaujímavým nálezom dravý roztoč, glaciálny relik *Poecilophysis spelaea*. Ide o jedného z najčastejších sa vyskytujúcich chladnomilných druhov čeľade Rhagidiidae v jaskyniach Európy (Kováč et al., 2014). Klieštikovce (Mesostigmata) zastupovali dva druhy: *Veigaia nemoensis* patrí medzi euryvalentné druhy, ktoré sa síce v jaskyniach rozmnožujú, ale nevytvárajú početné populácie, *Vulgarogamasus remberti* je eutroglofilným druhom, ktorý



Obr. 6. Chvostokok *Pygmarrhopalites pygmaeus* (Collembola). Foto: M. Melega
Fig. 6. *Pygmarrhopalites pygmaeus* (Collembola). Photo: M. Melega

Dvojkrídlovce boli najviac prítomné na dne jaskyne (m. b. 7) s dostatkom organického materiálu. Zaujímavý je výskyt muchy *Heleomyza captiosa* (Heleomyzidae), ktorá je psychrofilným, saprofágny a koprofágny druhom (Košel a Martinek, 1989). Pokladá sa za eutroglofilný druh (Kocot-Zalewska a Woźnica, 2021). Nájdená bola vo viacerých jaskyniach Slovenska (pozri napr. Papáč et al., 2020). Ďalším eutroglofilným druhom bola *Hermiosina bequaerti* (Sphaeroceridae), druh blízko asociovaný so subteránnymi habitatmi, ako sú jaskyne či nory rozličných menších cicavcov (pozri napr. Rotheray, 1991 a iní). V jaskyniach sa dokáže aj vyvíjať (Papp a Plachter, 1976). Ďalší druh *Triphleba antricola* je jediný zástupca čeľade Phoridae vo viacerých jaskyniach Slovenska (Grundmann et al., 2023). Z dvojkrídlovcov bola početnejšie zastúpená aj čeľaď Trichoceridae.

Do jaskyne vo väčšom počte naliezali aj robotnice mravca lesného (*Formica rufa*). Nachádzali sme ich aj na dne jaskyne, kde prejavovali zníženú aktivitu. Ide o typický druh lesov a ich okrajov s vysokou teritorialitou.

Zo skupiny motýľov (Lepidoptera) sa na lokalite vyskytovali len mora pivničná (*Scoliopteryx libatrix*) a piadivka jaskynná (*Triphosa*

dubitata), ktorá prenikala od vchodu hlbšie do jaskyne. Tieto motýle spolu s dvojkrídlovcami, pavúkmi a ulitníkmi tvorili významnú zložku parietálnej (stenovej) fauny.

Jedinou skupinou nepatriacou k taxonomickému kmeňu článkonožcov (Arthropoda) boli ulitníky (Gastropoda, kmeň Mollusca). Z deviatich nájdených druhov bol v jaskyni najpočetnejším karpatský endemit slimák opásaný (*Faustina faustina*). Ide o horský druh vyskytujúci sa v lesoch, medzi vegetáciou, na tienistých skalách a v sutinách (Wiktor, 2004). S obmedzeným areálom v strednej Európe sa vyskytuje i bliktra východná (*Oxychilus deubeli*). Regionálne významným karpatským druhom je *Vitrea transsylvanica*. Tri nájdené druhy z čeľade vretienkovité (Clausiliidae): alinda priplietavá (*Alinda biplicata*), ciha premenlivá (*Clausilia dubia*) a *Macrogastra plicatula*, sa v jaskynných vchodoch živia na stenách nárstmi rias (Kováč et al., 2014). Zaznamenali sme aj ulitníka *Semilimax semilimax* so stredo-európsko-alpským rozšírením. Spoločenstvo ulitníkov tvorili aj rozšírenejšie lesné (*Ena montana*) a vlhkofilné druhy (*Succinea putris*).

Subteránna fauna v časti pieninského bradlového pásma, presnejšie na severovýchode Slovenska v rámci provincie Západné Karpaty (podľa Mazúr a Lukniš, 1986), je všeobecne málo preskúmaná. Zahŕňa malé a izolované krasové územia, ktoré tu disponujú nízkym počtom jaskýň a väčšina z nich je relatívne krátka, do 20 m (Bella et al., 2018). Keďže nateraz bola pozornosť biospeleológov zameraná na jaskyňu Aksamitka v Pieninách, naše poznatky sú prvé z územia Ľubovnianskej vrchoviny. O faune v jaskyni Aksamitka sa prvýkrát zmieňuje Stach (1934, 1949), pričom spomína chvostokoky. Neskôr sa z lokality spomínajú aj motýle (Panigaj, 1992), ako aj chvostokoky a mnohonôžky (Kováč a Mock, 1999). Tieto údaje prehodnotil Kováč (2000). Pavúky z lokality spomína Svatoň (2000, 2002) a muchu *Bradysia forficulata* Košel (2001). Komplexný výskum na lokalite vykonali potom Kováč et al. (2010). Hoci je taxonomická diverzita fauny Aksamitky nižšia než v kratšej Ľadovej jaskyni, neplatí to pre výskyt subteránnych druhov. V Ľadovej jaskyni v Ostrých skalách

absentovali viaceré pravé jaskynné druhy chvostokokov. Prvým je endemický *Neelus koseli*. Ide o subteránneho chvostokoka vyskytujúceho sa v jaskyniach a sutinách krasových oblastí východného Slovenska (Rendoš et al., 2019). Druhým je chvostokok *Deuteraphorura kratochvili* s výskytom najmä v centrálnom karpatskom regióne (Parimuchová a Kováč, 2016). Oba jaskynné druhy v jaskyni Aksamitka našli Kováč et al. (2010). Okrem pravých jaskynných foriem to boli aj eutroglofilné druhy zo skupiny panciernikov (Oribatida), klieštikovcov (Gamasida), chrobák *Atheta spelaea* Erichson, 1839 či chvostokok *Megalothorax incertus* Börner, 1903. V oboch jaskyniach žijú viaceré eutroglofilné chvostokoky, *Ceratophysella granulata*, *Megalothorax minimus*, *Protaphorura armata*, *Protaphorura janosik* a *Pygmarrhopalites pygmaeus*. Na druhej strane fauna Ľadovej jaskyne v Ostrých skalách je špecifická prítomnosťou troglobionta *Megalothorax hipmani*. Mimo spomínanej časti pieninského bradlového pásma bola v relatívne blízkom okolí skúmaná subteránna fauna jedine v Levočských vrchoch. Išlo o pseudokrasovú Jaskyňu pod Jankovcom 2 (k. ú. Blažov), kde autori Višňovská a Barlog (2009) vykonali orientačný prieskum s determináciou niektorých vybraných skupín, prevažne z makrofauny, bez nájdenia troglobiontov. Zistená fauna je s faunou Ľadovej jaskyne v Ostrých skalách podobná výskytom vlhkofilných druhov ulitníkov, napr. endemický slimák opásaný (*Faustina faustina*) a alinda priplietavá (*Alinda biplicata*). Z druhov s väčšou afinitou k podzemi, ktoré sme v Ľadovej jaskyni nezaregistrovali, uvádzajú Višňovská a Barlog (2009) napr. karpatského endemita klepietkara karpatského (*Ischyropsalis manicata* L. Koch, 1869), behúnika z rodu *Trechus* (Coleoptera) či stygobiontného kôrovca z rodu *Niphargus* (Amphipoda). Za nižšou taxonomickou diverzitou subteránnej fauny Ľadovej jaskyne v Ostrých skalách by mohlo stáť vzhľadom na veľmi krátku dĺžku jaskyne viacero faktorov, z nich najmä nedostatok vhodných biotopov. Svoju rolu hrá aj rozloho veľmi malý a izolovaný kras v spojení s vysunutou polohou, kde geologicko-evo-



Obr. 7. Porovnanie stavu sezónneho podlahového ľadu v máji (A) a v októbri (B) roku 2024 v Ľadovej jaskyni v Ostrých skalách. Foto: M. Melega
Fig. 7. Comparison of the state of the seasonal ice on the cave floor in May (A) and October (B) 2024 in the Ľadová jaskyňa v Ostrých skalách Cave. Photo: M. Melega

lučné procesy počas histórie pravdepodobne ovplyvnili mieru výskytu tunajšej subteránnej diverzity. Kras bradlového pásma, ale i vyššie spomenuté okolité krasové územia sú podľa Košelovho (2009) zoogeografického členenia Slovenska na základe výskytu subteránnej fauny súčasťou predkarpatského východného nadregiónu, tvoreného najmä flyšovými horninami s roztrúseným krasom bradlového pásma. Ten je typický chudobnou a málo špecifickou suchozemskou faunou, kde zasahujú niektoré kavernikolné formy chvostoskokov a kôrovec *Mesoniscus graniger* (Fridvaldszky, 1865) (Isopoda). Vyskytuje sa tu aj osobitá fauna rodu *Niphargus* (Amphipoda) (Košel, 2009; Kováč et al., 2014).

Najväčšie spektrum taxónov i odchýtených jedincov (27 taxónov a 7141 ex.), ktoré sa podarilo získať zemnými pascami, bolo ovplyvnené samou polohou biostacionárnej plochy. Biostacionár bol umiestnený pod vchodom do jaskyne, kde je najväčšie množstvo organického materiálu v jaskyni a svoju rolu zohralo aj efektívnejšie zachytenie väčších a mobilnejších taxónov (epigeická mezo- a makrofauna) v porovnaní napr. s metódou extrakcie, ktorá je efektívnej fauny, ktorá je veľkostí menšie a menej pohyblivé taxóny (hemi- a euedafická fauna) (Jiménez-Valverde a Lobo, 2005; Lensing et al., 2005). Zachytili sme ňou celkovo 20 taxónov a 71 ex., pričom vyšší počet taxónov súvisel aj s jedným z miest odberu – sedimentom vo vchode jaskyne. Ručný zber umožnil zaznamenať 18 taxónov (35 ex.), pričom bol mimoriadne účinný pri ulitníkoch – týmto spôsobom sa podarilo identifikovať 8 z 9 nájdených druhov. Pri druhoch, ktoré bolo možné determinovať priamo v teréne (najmä z parietálnej fauny), sa využila metóda priameho pozorovania, ktorou sa podarilo určiť 3 druhy (18 ex.). Použitie viacerých odberových metód komplexne prispelo k zachyteniu vyššej diverzity subteránnej fauny v tejto lokalite.

Z historických údajov podľa Fudalyho a Pavlarčíka (1984) sa dozvedáme, že hrúbka podlahového ľadu v rokoch 1978 – 1979 dosahovala hodnoty 0 – 20 cm. Počas našej návštevy v auguste 2021 sme zaznamenali ľadovú výplň s hrúbkou len do 5 cm na ploche približne necelých 4 m². V máji 2024 bol ľad len na ploche približne 1,5 m² a v podobnej hrúbke do 5 cm, v októbri toho istého roka už podlahový ľad úplne chýbal (porov. obr. 7A, 7B). Teplotné pomery zaznamenané v minulosti poukazujú na chladnejšie podmienky. Maximálna teplota v zadných častiach jaskyne (dno) nameraná Fudalym a Pavlarčíkom (1984) v období od decembra 1978 do decembra 1979 neprekročila 1,9 °C (jednorazové meranie 17. 11. 1979). Naše merania (pozri tab. 2) ukázali vyššie ma-

Tab. 2. Teplota vzduchu v Ľadovej jaskyni v Ostrých skalách v roku 2024.

Tab. 2. Air temperature in the Ľadová jaskyňa v Ostrých skalách Cave in 2024.

Meraná veličina / Measurand	Vertikálna vzdialenosť od vchodu / vertical distance from entrance [m]	Teplota vzduchu / Air temperature [°C]	
Miesto / Site Dátum / Date		28. 5. 2024	18. 10. 2024
vonku, 10 m pred vchodom	–	17,3	4,3
vchod do jaskyne	–	7,5	4,1
pri m. b. 5	3,5	3,5	3,9
pri m. b. 8	6	1,2	3,6

ximálne teploty, a to o 1,7 °C. Tieto rozdiely by mohli naznačovať zmenu mikroklimatických podmienok v jaskyni, čo sa pravdepodobne prejavuje nielen v zníženej akumulácii ľadu, ale očakávať môžeme aj zmeny v štruktúre spoločenstiev subteránnej fauny, špecificky u stenotermných druhov viazaných na chladné a stabilné podmienky.

ZÁVER

V rámci biospeleologického prieskumu uskutočneného v roku 2024 bolo odchýtených 7265 ex. bezstavovcov, patriacich k 61 taxónom (z toho 54 bolo zatiaľ určených na druhovú úroveň) z pätnástich vyšších taxonomických skupín. Faunistické spoločenstvo sa vyznačovalo výrazným dominantným zastúpením chladnomilného a eutroglofilného chvostoskoka *Ceratophysella granulata*. Najvyššia taxonomická diverzita (28 taxónov) sa zistila na dne jaskyne (m. b. 7), kde sa pod vchodom hromadí najväčšie množstvo organického materiálu.

V rámci výskumu sa podarilo zaznamenať dva troglobiontné druhy – *Megalothorax hipmani* a *Protaphorura janosik*. Významné sú aj ďalšie nálezy, napríklad prostigmátny roztoč a glaciálny relikt *Poecilophysis spelaea*, ako aj viaceré eutroglofilné druhy, niektoré z nich špecificky chladnomilné druhy: zo skupiny Gamasida *Vulgarogamasus remberti*, ďalej chvostoskoka, ako *Ceratophysella granulata*, *Megalothorax minimus*, *Plutomurus carpaticus* – známy aj ako karpatský endemit, *Protaphorura armata*, *Pygmarrhopalites pygmaeus*, ďalej chrobák *Quedius mesomelinus mesomelinus* a muchy *Heleomyza captiosa* a *Herniosina bequaerti*. Do spodných častí jaskyne prenikli aj dva karpatské endemické druhy ulitníkov – slimák opásaný (*Faustina faustina*) a *Vitrea transsylvanica*. V jaskynnom vchode bol zaznamenaný ďalší karpatský endemit, štúrik *Mundochthonius carpaticus*. Obligátne akvatické druhy fauny v jaskyni chýbali, čo pravdepodobne súvisí s absenciou vhodných vodných biotopov.

Získanými poznatkami dopĺňame poznanie subteránnej fauny krasu pieninského bradlového pásma Západných Karpát v tejto SV časti Slovenska. S dosiaľ známou subteránnou faunou jaskyne Aksamitka (Pieniny) je fauna Ľadovej jaskyne v Ostrých skalách podobná napr. výskytom viacerých eutroglofilných druhov chvostoskokov. V rámci taxonomickej diverzity je celkovo fauna skúmanej jaskyne pestrejšia. Absentujú tu však niektoré jaskynné druhy chvostoskokov, ako *Neelus koseli* či *Deuteraphorura kratochvili*, ale aj viacero eutroglofilných druhov z rôznych živočíšnych skupín. Iné druhy, ako sutinovo-jaskynný druh *Megalothorax hipmani*, boli zas nájdené výlučne v Ľadovej jaskyni v Ostrých skalách.

Biospeleologický prieskum potvrdil, že na čo najkomplexnejšie zachytenie spoločenstva bezstavovcov je potrebné kombinovať viaceré odchytové metódy, keďže každá z nich zachytáva odlišné spektrum druhov, čo v konečnom dôsledku prispieva k odhaleniu vyššej diverzity subteránnej fauny.

Pozorované zvýšenie maximálnej teploty vzduchu v zadných častiach jaskyne pravdepodobne indikuje zmenu mikroklimatického režimu. Táto zmena pravdepodobne ovplyvňuje nielen tvorbu ľadovej výplne, ale môže zásadne vplývať aj na distribúciu špecifických reliktných a endemických druhov viazaných na stabilné a chladné podmienky jaskynných habitatov, ktoré sa všeobecne pokladajú za najcitlivejšie prvky fauny bezstavovcov.

Podakovanie: Na taxonomickej identifikácii vybraných zástupcov bezstavovcov sa podieľali títo špecialisti: doc. Ing. Jozef Oboňa, PhD. (Diptera: family Bolitophilidae) z Prešovskej univerzity v Prešove, Mgr. Anna Šestáková, PhD. (Araneae) zo Západoslovenského múzea v Trnave, Mgr. Jana Chrystophoryová, PhD. (Pseudoscorpiones) a Mgr. Kamila Ondrejková, PhD. (Gamasina) z Univerzity Komenského v Bratislave i doc. RNDr. Andrej Mock, PhD. (Diplopoda) z Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach. Za poskytnutú pomoc všetkým menovaným ďakujeme.

Literatúra

- ANDRUSOV, D. – SCHEIBNER, E. – SCHEIBNEROVÁ, V. – ZELMAN, J. 1959. O transgresiách a regresiách kriedy vo vnútornom bradlovom pásme. *Geologický zborník*, X, 2, 317–323.
- BARJADZE, S. – PARIMUCHOVÁ, A. – RASCHMANOVÁ, N. – MAGHRADZE, E. – KOVÁČ, Ľ. 2022. Two new species of *Plutomurus* Yosii (Collembola: Tomoceridae) from Caucasus and central Europe. *Zootaxa*, 5169, 3, 252–266. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5169.3.2>
- BELLA, P. – HLAVÁČOVÁ, I. – HOLUBEK, P. 2018. Zoznam jaskýň Slovenskej republiky (stav k 31. 12. 2017). Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Liptovský Mikuláš, 528 s.
- BORZA, K. – MARTÍN, E. 1964. Príspevok k poznaniu murichoniových vrstiev bradlového pásma Západných Karpát na Slovensku. In *Geologický zborník*, 15, 1, Bratislava 1964.
- BRETFELD, G. 1999. *Symphyleona*. In Dunger, W. (Ed.): *Synopses on Palaearctic Collembola*, 2. *Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseum, Görlitz*, pp. 1–318.
- CROSSLEY, D. A. – BLAIR, J. M. 1991. A high efficiency, "low-technology" Tullgren-type extractor for soil microarthropods. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 34, 187–192.

- FUDALY, V. – PAVLARČÍK, S. 1979. Zisťovací speleologický prieskum krasovej jaskyne SZ od Litmanovej, Jaskyňa v Ostrých skalách. SSJ, Múzeum slovenského krasu, L. Mikuláš, Manuskript, 1–14.
- FUDALY, V. – PAVLARČÍK, S. 1984. Ľadová jaskyňa v bradlovom pásme Ľubovnianskej vrchoviny. Osveta pre MSKaOP, Liptovský Mikuláš. Slovenský kras, 22, 177–185.
- GRUNDMANN, B. – OBOŇA, J. – MOČEK, B. – MOČEK, A. 2023. Scuttle flies (Diptera: Phoridae) of subterranean habitats in Slovakia: a review and a case study. *Biologia*, 78, 3591–3597. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01486-4>
- HALKOVÁ, B. – DRABOVÁ, M. – MOČEK, A. 2021. An annotated checklist of millipede fauna from Slovakia, with ecological and biogeographic characteristics. *Biodiversity Data Journal*, 9: e71495. <https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e71495>.
- HOCHMUTH, Z. 1984. Jaskyňa Litmanová. In Košťálík, J. (Ed.): *Krajina okresu Stará Ľubovňa*. Vyd. Príroda pre ONV v Starej Ľubovni, 69.
- HOCHMUTH, Z. 2008. Krasové územia a jaskyne Slovenska. *Geographia Cassoviensis* II, 2, Košice, 210 s.
- CHRISTOPHORYOVÁ, J. – KRAJČOVIČOVÁ, K. 2019. Faunistic records of pseudoscorpions (Arachnida: Pseudoscorpiones) from South East Poland. *Klapalekiana*, 55, 193–198.
- JIMÉNEZ-VALVERDE, A. – LOBO, J. M. 2005. Determining a combined sampling procedure for a reliable estimation of Araneidae and Thomisidae assemblages (Arachnida, Araneae). *The Journal of Arachnology*, 33, 1, 33–42. <https://doi.org/10.1636/M03-10>
- JIRÁSEK, J. 1953. Mesečné hlásenie za mesiac október. Výskum a ochrana jaskýň Cestovného ruchu, n. p., skupina V. Plevu – Dobšinská ľadová jaskyňa (Manuskript). Archív SSS, OS Spišská Belá.
- JUREKOVÁ, N. – RASCHMANOVÁ, N. – KOVÁČ, Ľ. – MIKLISOVÁ, D. – ČERVENÁ, M. – CHRISTOPHORYOVÁ, J. 2019. Type of fixative solution in pitfall traps as a decisive factor affecting community parameters of Collembola (Hexapoda) inhabiting superficial subterranean habitats. *The Science of Nature*, 106, 5–6, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s00114-019-1611-3>
- KOCOT-ZALEWSKA, J. – WOŹNICA, A. J. 2021. Cave-dwelling heleomyzid flies (Diptera: Heleomyzidae) from the Polish caves. Historical overview and new data. *International Journal of Speleology*, 50, 2, 203–211. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.50.2.2383>
- KOŠEL, V. 2001. The Sciaridae (Diptera) from caves in Slovakia. In Chvála M. (Ed.): *Dipterologica bohemoslovaca* Vol. 10, Acta Universitatis Carolinae, Biologica, 45, 73–78.
- KOŠEL, V. 2009. Subterranean fauna Západných Karpát. Ústav pôdnej biológie, Biologické centrum Akadémie vied České republiky, České Budějovice, 203 s.
- KOŠEL, V. – MARTINEK, V. 1989. Summer synusie and distribution of the family Heleomyzidae (Insecta, Diptera) in a cave of the Western Carpathians. In Attila, K. (Ed.): *Proceedings of the 10th International Congress of Speleology Hungarian Speleological Society, Budapest*, 281–283.
- KOVÁČ, Ľ. 2000. A review of the distribution of cave Collembola (Hexapoda) in the Western Carpathians. *Mémoires de Biospéologie*, 27, 71–76.
- KOVÁČ, Ľ. – ELHOTOVÁ, D. – MOČEK, A. – NOVÁKOVÁ, A. – KRISTÚFEK, V. – CHROŇÁKOVÁ, A. – LUKEŠOVÁ, A. – MULEC, J. – KOŠEL, V. – PAPÁČ, V. – ĽUPTÁČIK, P. – UHRIN, M. – VIŠŇOVSKÁ, Z. – HUDEC, I. – GAÁL, Ľ. – BELLA, P. 2014. Jaskynná biota Slovenska. *Speleologia Slovaca*, 5, ŠOP SR, SSJ, Liptovský Mikuláš, 1–192.
- KOVÁČ, Ľ. – MOČEK, A. 1999. Mnohonôžky (Myriapoda, Diplopoda) a chvostoskoky (Hexapoda, Collembola) jaskyne Aksamitka. *Natura Carpatica*, 40, Východoslovenské múzeum Košice, 83–88.
- KRAUSE, R.-H. – WEHRDEN, H. von – HÄRDTE, W. – SCHULDT, A. – ASSMANN, T. 2013. Stenotopie und Eurytopie – Verteilungsmodelle als Mittel für den Nischenvergleich der Spinnenarten *Trochosa terricola* und *Eresus kollari* (Araneae: Lycosidae / Eresidae). *Entomologia Generalis*, 34, 3, 169–180. <http://dx.doi.org/10.1127/entom.gen/34/2013/169>.
- LENSING, J. R. – TODD, S. – WISE, D. H. 2005. The impact of altered precipitation on spatial stratification and ACTIVITY-densities of springtails (Collembola) and spiders (Araneae). *Ecological Entomology*, 30, 2, 194–200. <https://doi.org/10.1111/j.0307-6946.2005.00669.x>
- MAMMOLA, S. & ISAIA, M. 2014. Niche differentiation in *Meta bourneii* and *M. menardi* (Aranea, Tetragnathidae) with notes on the life history. *International Journal of Speleology*, 43, 343–353.
- MARCIN, M. – RASCHMANOVÁ, N. – MIKLISOVÁ, D. – KOVÁČ, Ľ. 2021. Microclimate and habitat heterogeneity as important drivers of soil Collembola in a karst collapse doline in the temperate zone. *Invertebrate Biology*, 140, 2, e12315. <https://doi.org/10.1111/ivb.12315>
- MAZÚR, E. – LUKNIŠ, M. 1978. Regionálne geomorfologické členenie SSR. *Geografický časopis*, 30, 2, 101–125 (+1 MAPA 1 : 1 000 000).
- MELEGA, M. – RENDŐS, M. – VIŠŇOVSKÁ, Z. – PARIMUCHOVÁ, A. 2023. Recentná fauna jaskýň Dolná Túfna a Horná Túfna (Harmanecký kras, Veľká Fatra). *Aragonit*, 28, 1–2, 25–30.
- NEMČOK, J. 1977. Vysvetlivky ku geologickej mape 1 : 25 000, list Veľký Lipník. (Čiastková záverečná správa. Manuskript). Geofond, Bratislava.
- PANIGAJ, Ľ. 1992. Bezstavovce. In Vološčuk, I. (Ed.): *Pieninský národný park*. Akcent, Banská Bystrica, 120–125.
- PAPÁČ, V. – KOŠEL, V. – KOVÁČ, Ľ. – ĽUPTÁČIK, P. – MOČEK, A. – PARIMUCHOVÁ, A. – RASCHMANOVÁ, N. – VIŠŇOVSKÁ, Z. 2020. Invertebrates of the Dobšinská Ice Cave and the Stratená Cave System (Spiš-Gemer Karst, Slovak Paradise). *Slovenský kras*, 58, 1, 69–96.
- PAPÁČ, V. – KOVÁČ, Ľ. 2013. Four new troglotrophic species of the genus *Megalothorax* Willem, 1900 (Collembola: Neelipleona) from the Carpathian Mountains (Slovakia, Romania). *Zootaxa*, 3737, 5, 545–575. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3737.5.3>
- PAPP, L. – PLACHTER, H. 1976. On Cave-Dwelling Sphaeroceridae from Hungary and Germany (Diptera). *Annales historico-naturales Musei nationalis hungarici*, 68, 195–207.
- PARIMUCHOVÁ, A. – KOVÁČ, Ľ. 2016. Redescription of two troglotrophic species of *Deuteraphorura* Absolon, 1901 (Collembola, Onychiuridae) from the Western Carpathians. *Zootaxa*, 4168, 2, 327–340. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4168.2.6>
- PARIMUCHOVÁ, A. – KOVÁČ, Ľ. – ŽUROVCOVÁ, M. – MIKLISOVÁ, D. – PAULČULOVÁ, L. 2017. A glacial relict collembolan in the Carpathian caves – population variability or a species complex? *Arthropod Systematics & Phylogeny*, 75, 3, 351–362. <https://doi.org/10.3897/asp.75.e31911>
- PAVLARČÍK, V. 1978. Jaskyňa v Ostrých skalách, Technický denník z akcie 25. 8. – 27. 8. 1978. AOPaJ, f. PKJ, i. č. 605/60.
- PJENČÁK, P. – DANKO, Š. 2002. Zimovanie netopierov v jaskyni Aksamitka. *Katalóg zimovísk netopierov SR*. *Vespertilio*, 6, 149–150.
- POMORSKI, R. J. 1998. Onychiurinae of Poland (Collembola, Onychiurinae). *Biologica Silensiae Turzanski, Wrocław*, 201 s.
- RASCHMANOVÁ, N. – MIKLISOVÁ, D. – KOVÁČ, Ľ. 2018. A unique small-scale microclimatic gradient in a temperate karst harbours exceptionally high diversity of soil Collembola. *International Journal of Speleology*, 47, 2, 247–262. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.47.2.2194>
- RENDŐS, M. – ČERVENÁ, M. – HALKOVÁ, B. – JAKŠOVÁ, P. – JUREKOVÁ, N. – RUDY, J. – JÁSZAY, T. – RASCHMANOVÁ, N. – MOČEK, A. – KOVÁČ, Ľ. – ĽUPTÁČIK, P. 2019. Zalesnené sutinové svahy – pozoruhodný biotop Západných Karpát. *Slovenský kras*, 57, 2, 231–247.
- ROTH, Z. – BENEŠOVÁ, E. – ČECHOVIC, V. – ELIÁŠ, M. – HANZLÍKOVÁ, E. – CHMELÍK, F. – MATĚJKA, A. – PÍCHA, F. 1963. Vysvetlivky k prehľadnej geologickej mape ČSSR 1 : 200 000, list M-34-XX list Trstená. Geofond, Bratislava, 1–59.
- ROTHERAY, G.E. 1991. E B Basden's collection of Diptera from bird and mammal nests and mammal runs, burrows and droppings. – *National Museum of Scotland Information Series* 3, 1–46.
- SCHNEIDER, E. 1962. Niektoré nové poznatky z bradlového pásma na Slovensku. *Geologické práce*, zošit 62. GÚDS, Bratislava, 15.
- SCHNEIDER, C. 2022. Open key of the *Megalothorax* species of the world (Collembola: Neelidae) (v1.0.0). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7341417>
- SRNÁNEK, J. – SALAJ, J. 1965. Poznámky ku geológii pieninského úseku bradlového pásma v širšom okolí Starej Ľubovne. *Geologické práce, správy* 35, ÚÚG, Bratislava 1965, 61–72.
- STACH, J. 1934. Die in den Höhlen Europas vorkommenden Arten der Gattung *Onychiurus* Gervais. *Annales Musei Zoologici Polonici, Warszawa*, 10, 111–222.
- STACH, J. 1949. The apterygotan fauna of Poland in relation to the world fauna of this group of insects. Families: Neogastruridae and Brachystomellidae. *Polska Akademia Nauk, Kraków*, 341 s.
- SVATOŇ, J. 2000. Fauna pavúkov (Araneae) slovenských jaskýň. In Mock, A. – Kováč, Ľ. – Fulín, M. (Eds.): *Fauna jaskýň. Zborník referátov zo seminára 20. – 21. október 1999*. Východoslovenské múzeum v Košiciach, Košice, 157–170.
- SVATOŇ, J. 2002. Pavúky (Arachnida); Araneae. In Panigaj, Ľ. (Ed.): *Pieniny. Príroda a človek I. Fauna a flóra Pienin*. Pieniny National Park Administration, Červený Kláštor, pp. 31–34.
- VIŠŇOVSKÁ, Z. – BARLOG, M. 2009. Príspevok k poznaniu fauny pseudokrasovej jaskyne pod Jankovcom 2 v Levočských vrchoch. *Aragonit*, 14, 1, 63–66.
- VIŠŇOVSKÁ, Z. – GRESCH, A. – RAK, S. – KISKOVÁ, K. 2015. Jaskyňa Aksamitka a ďalšie podzemné zimoviská netopierov (Chiroptera) v Pieninách. *Slovenský kras*, 52, 2, 191–206.
- WEINER, W. M. 1981. Collembola of the Pieniny National Park in Poland. *Acta Zoologica Cracoviensis*, 25, 18, 417–500.
- VIKTOR, A. 2004. Ślimaki lądowe Polski. Olsztyn: Mantis. 302 s.
- ZACHARDA, M. 1980. Soil mites of the family Rhagidiidae (Actiniedida: Eupodoidea). *Morphology, Systematics, Ecology*. Acta Universitatis Carolinae – Biologica 1978, 489–785.

PREHĽAD HISTÓRIE HARMANECKEJ JASKYNE

Miroslav Kudla

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

Abstract: Harmanecká jaskyňa Cave is located in the southern part of Veľká Fatra Mountains near the village of Harmanec. Its exploration began in 1932 when Michal Bacúrik, inspired by the discovery of Demänovská jaskyňa slobody Cave and Domica Cave, discovered its first parts (from the Izbica to the Dóm objaviteľov and Veľký gotický dóm chambers). The exploration of the cave was marked by restrictions on access to the cave by the local government, events preceding World War II, and the war itself, during which the exploration of the cave was halted. It was opened to the public in the post-war years, at a time of rapid growth in cave visits and interest in them. The first tourists visited it in 1950, and in 1993 it welcomed its millionth visitor. Even today, it continues to attract the interest of the public and speleologists.

Keywords: cave history, cave discovery, nature protection, cave research, show cave, tourism

ÚVOD

Harmanecká jaskyňa v južnej časti Veľkej Fatry sa po desaťročia teší pozornosti nielen návštevníckej verejnosti, ale aj jaskyniarov a speleológov. Aj vďaka svojim prírodným hodnotám, atraktivite, či jedinečnej polohe si za 75 rokov od svojho sprístupnenia získala nezastupiteľné miesto medzi sprístupnenými jaskyňami Slovenska.

Objavovanie Harmaneckej jaskyne sa začalo prvotným objavom Michala Bacúrika v r. 1932. Výrazný záujem o jaskyňu sa opäť objavuje v rokoch 1937 a 1938 v pohnutých časoch predznamenujúcich zásadné spoločensko-politické zmeny v ovzduší blížiacej sa druhej svetovej vojny. Opätovné oživenie záujmu o jaskyňu nastáva po vojne, keď kul-

minuje prieskum a výskum jaskyne, ako aj sprístupňovacie práce sprevádzané množstvom veľkých problémov. Napriek nim bola jaskyňa napokon v r. 1950 úspešne sprístupnená pre verejnosť.

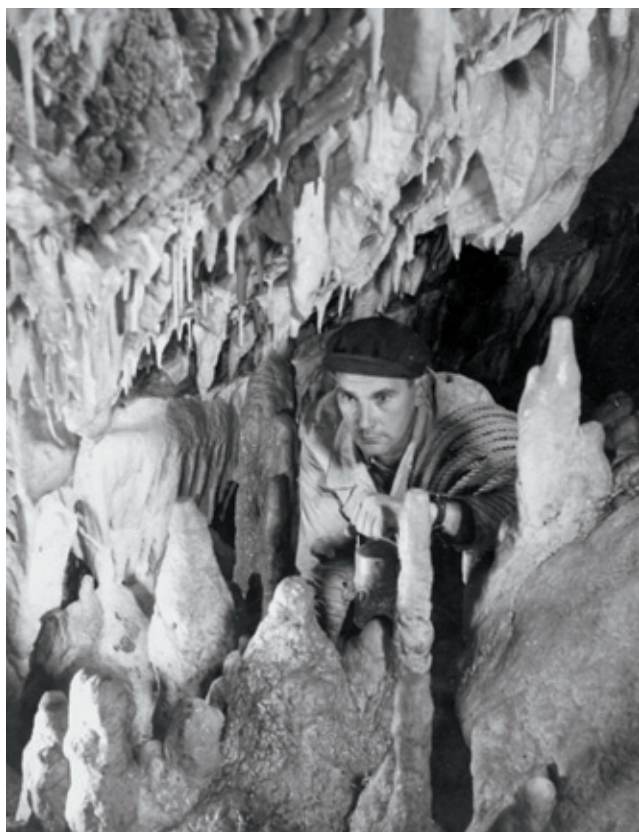
Hneď od počiatku sa jaskyňa tešila veľkému záujmu verejnosti, o čom svedčí aj vysoká návštevnosť už v prvých sezónach, hoci ju limitovali najmä kapacity dopravy a infraštruktúry. Sprístupňovanie jaskyne a jej prieskum úzko súvisí s Jaskyniarskou skupinou KSTL (skupina založená Jaskyniarskym zborom KSTL), so založením Slovenskej speleologickej spoločnosti v r. 1949 aj so snahami mesta Banská Bystrica. Prvotný rozvoj infraštruktúry jaskyne prebiehal v podmienkach častého striedania organizácií, ktoré jaskyňu prevádzkovali až do r. 1970, keď ju prevzala Správa

slovenských jaskýň. Osobitosťou prevádzky jaskyne je náročná prístupová cesta, ako aj samotná prehliadková trasa jaskyne.

Cieľom príspevku je prehľadové predstavenie histórie Harmaneckej jaskyne so zreteľom na objavovanie, ochranu a výskum, sprístupňovanie a prevádzku či návštevnosť jaskyne, podľa čoho je príspevok rozdelený na štyri časti. Venujeme sa v ňom najmä obdobiu objavovania hlavných častí jaskyne a jej sprístupňovania; súdobé výskumy a poznatky o jaskyni by si z hľadiska ich rozsahu zasluhovali samostatnú prácu.

OBJAVOVANIE JASKYNE

Vstupná časť Harmaneckej jaskyne, rozsiahla dutina s veľkým vchodom vo svahu Ko-



Obr. 1. Objaviteľ Harmaneckej jaskyne Michal Bacúrik pri prieskume. Zbierka SMOPaJ

Fig. 1. Michal Bacúrik, discoverer of Harmanecká Cave, during exploration of cave. Collection of the Museum of Nature Protection and Speleology



Obr. 2. Vchod do Izbice tak, ako vyzeral v čase objavu. Zbierka SMOPaJ

Fig. 2. The entrance to Izbica cave as it looked at the time of discovery. Collection of the Museum of Nature Protection and Speleology

tolnice, bola miestnym obyvateľom, lovcom a lesným robotníkom známa oddávna. Veľkorysý priestor s nepatrnými zvyškami sintrovej výzdoby často slúžil ako útočisko pred vrtochmi počasia. Tomu nasvedčuje aj príznačné autentické pomenovanie Izbica (Bella – Lalkovič, 2002; Bacúrik, 1950).

1932: Izbicu navštívil mladý Michal Bacúrik (1914 – 1983), rožňavský rodák a strojník z neďalekej hydroelektrárne Boboty, kam sa v r. 1924 presťahoval jeho otec za prácou (obr. 1). Sám priznával, že jeho záujem o tajomstvá podzemia podnietili informácie o Jaskyni slobody a Domici, ktorých objavenie malo ďalekosiahly dosah a veľký spoločenský ohlas, najmä v kontexte ich propagácie ako sprístupnených jaskýň. V Izbici našiel menší otvor, z ktorého prúdil silný prievan. Počas viacerých návštev spozoroval, že z tohto otvoru vyletujú netopiere. Ako nadšenec pre jaskyne vedel, že prievan s netopiermi predpokladá existenciu neznámeho priestoru na druhej strane úzkeho otvoru. S kolegom Františkom Babjakom a niekoľkými kamarátmi sa podujali na prerážanie úžiny. Vyzbrojení boli len kladivom, sekáčom, porazom a karbidovou lampou (obr. 2) (Bacúrik, 1950; Šperka, 1948).



22. júna 1932: Skupine vedenej Michalom Bacúrikom sa po dvoch týždňoch kopania a rozšírení úvodnej úžiny podarilo preplaziť do asi 50 m dlhšej chodby, ktorá viedla do prvých väčších priestorov s peknou kvapľovou výzdobou. Otvory v tomto priestore naznačovali ďalšie pokračovanie, ale pre nedostatočné vybavenie skupina chlapcov od ďalších prác upustila a prieskum jaskyne sa načas zastavil. Toto bol prvotný objav priestorov Harmaneckej jaskyne.¹

1937 – 1938: Oživenie záujmu o jaskyňu je spojené s budovaním železničnej trate

Banská Bystrica – Diviaky v roku 1937, keď ju začali navštevovať traťoví robotníci. Dozvedel sa o nej aj technický úradník štátnej technickej správy Otto Ondroušek. K nemu sa pridali mestský lesný z Dolného Harmanca Vojtech Kovalčík, mestský horár Beňo, Bučan a niekoľkí stavební robotníci. Spoločne začali rozširovať dlhú úžinu s prievanom. Vytvorili dve pracovné skupiny, ktoré sa striedali pri výkope pod vedením Kovalčíka a Ondrouška. Bacúrik, ktorý bol v tom čase na základnej vojenskej službe, sa týchto prác nezúčastnil. Práve skupina pod Ondrouškovým vedením sa 28. marca 1938 cez poslednú úžinu na konci 20 m dlhej prekopanej chodby prestriedala do Hlavného domu, ktorý dnes nesie názov Dóm pagod.

Následná medializácia a záujem verejnosti spôsobili, že mestskí úradníci, najmä starosta Samuhel, načas úplne zakázali vstupovať do jaskyne, čo zmenil až záujem niektorých vedeckých kruhov. Starostovu nevôľu mal spôsobiť najmä fakt, že sa na prieskume jaskyne podieľajú Česi.²

Následne počas spriechodňovania existujúcich priestorov sa Kovalčík s Ondrouškom venovali ďalšiemu prieskumu. Po návrate zo základnej vojenskej služby sa k nim opäť pri-

li nový prieťah z Riečiska do Veľkého domu s dvoma menšími dómami.³

1947: Členovia Jaskyniarskej skupiny KSTL (organizačná jednotka Jaskyniarskeho zboru KSTL) v Banskej Bystrici Ladislav Šperka a Vojtech Kovalčík objavili priestory Severného labyrintu. Súhrnná dĺžka objavených priestorov dosiahla približne 215 m. Okrem toho sondaovali vo viacerých výdychoch pod jaskyňou. V tomto roku podnikla Jaskyniarska skupina KSTL v Harmaneckej jaskyni 23 akcií (obr. 3) ⁴.

15. apríl 1947: V správe o činnosti KSTL na valnom zhromaždení v Banskej Bystrici sa uvádza, že dosiaľ známe časti jaskyne majú dĺžku 1,5 km.

9. jún 1949: V správe o činnosti Jaskyniarskej skupiny KSTL sa uvádza, že pre mimoriadnu zaneprázdnenosť členov, ktorí sa venovali najmä výstavbe chaty na Kráľovej studni, sa v poslednom roku uskutočnilo len 14 prieskumných akcií. Počas nich sa však podarilo z Veľkého kvapľového domu (Dómu pagod) objaviť asi 100 m chodby s prevýšením 40 m, zrejme Severné riečište.⁵

1951 – 1959: Po objavení a sprístupnení hlavných častí jaskyne do r. 1951 je toto obdobie charakteristické významnými výsledka-



Obr. 3. Z prieskumu jaskyne Jaskyniarskou skupinou KSTL, pravdepodobne v r. 1947.

Foto: V. Benický, Zbierka SMOPaJ

Fig. 3. Exploration of the cave by the caving group of the Slovak Tourist and Skiers Club, probably in 1947.

Photo: V. Benický, Collection of the Museum of Nature Protection and Speleology

dal M. Bacúrik a F. Babjak. Odroušek v dóme pagod odhalil miesto s prievanom, kde sa prekopali do časti zvanej Riečisko (Riečište) a odtiaľ v októbri 1938 prenikli do Vysokého a Bludného domu. Ten svoje pomenovanie dostal podľa toho, že v ňom pri objave mali Bacúrik s Babjakom poblúdiť.

1946: Po ôsmich rokoch od spomenutých objavov a po druhej svetovej vojne sa záujem o jaskyňu obnovil a zároveň mesto Banská Bystrica umožnilo pokračovať v jej skúmaní. V októbri jaskyňu navštívila skupina prof. Karla Absolona. Týždennú výpravu viedol O. Ondroušek. Okrem zamerania jaskyne objavi-

mi prieskumu jaskyne, ktoré sa pretavili do viacerých objavov. Väčšinu z nich si pripísala skupina vedená M. Bacúrikom. K objavom a poznávaniu jaskyne rôznym dielom prispeli najmä J. Šavolt, J. Schmidt, J. Košťál, J. Babjak, L. Jurák, J. Hrkča či R. Košťál. Medzi významné objavy z tohto obdobia patria Vodná chodba, Červená priepasť, Dolný labyrint a Čierny dóm (Babjak, Belička, 1976).

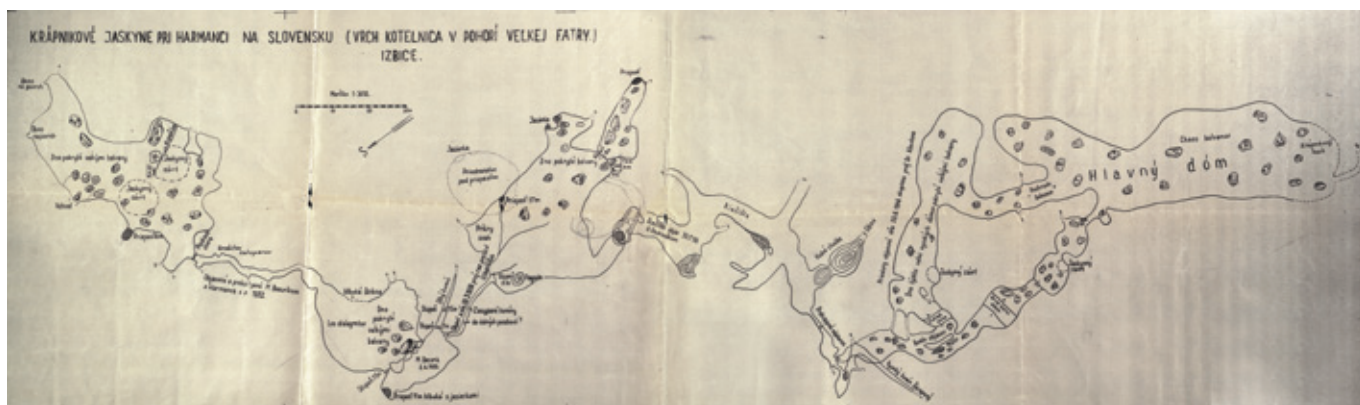
³ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0199, 0213, 0214

⁴ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0230, 0231, 0241

⁵ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0248

¹ Archív ochrany prírody a jaskyniarstva, fond Podzemné krasové javy, krabica (zložka) 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0211

² AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0217



Obr. 4. Mapa Harmaneckej jaskyne vyhotovená podľa zamerania Antonína Hlavu, Otta Ondrouška a Michala Bacúrika na základe mapovania v r. 1946 obsahuje aj informácie o objavovaní jaskyne. Pozoruhodný je slovný opis jaskynných výplní. Zbierka SMOPaJ

Fig. 4. The map of Harmanecká Cave, drawn up by Antonín Hlava, Otto Ondroušek, and Michal Bacúrik based on mapping in 1946, also contains information about the discovery of the cave. The verbal description of the cave fillings is remarkable. Collection of the Museum of Nature Protection and Speleology

1951: Prevažne päťčlenná skupina SSS vedená M. Bacúrikom sa pričnila o sériu viacerých väčších objavov nových priestorov pri prieskume Vodnej chodby a ďalších častí jaskyne.⁶

Máj 1952: Z priestoru Vstupnej haly prenikla skupina sprievodcov jaskyne po systematickom razení a strieľaní cez úžinu v dĺžke asi 10 m do rozsiahlejších priestorov smerujúcich na juhozápad, na konci s priepasťou, ktorá ústila do rozsiahleho dómu s dĺžkou až 60 m, šírkou 2 až 10 m a výškou 20 až 30 m.⁷

8. – 9. december 1956: Uskutočnila sa dobrovoľnícka akcia na podporu prieskumu jaskyne, organizovaná Krajským výborom telovýchovno-sportových organizácií Revolučného odborového hnutia (KV TŠO ROH). Účastníci si mali priniesť montérky. Okrem samotnej jaskyne preskúmali aj okolitý povrch. Výsledky podujatia nie sú známe.⁸

1959: František Jirmer objavil priestory za Dlhým dómom (Babjak, Belička, 1976).

November 1974 – február 1975: Členovia skupiny SSS č. 15 Harmanec (dnes Speleoklub Banská Bystrica) preskúmali Vodnú chodbu, viacero komínov a puklín. Vytýčili jediné perspektívne miesto, kde je nutný odstrel. Zároveň fotografovali jaskyňu.⁹

7. – 8. máj 1976: Jaskyňu navštívili redaktori denníka Smer A. Kyselová a M. Veselovský so zámerom propagovať Harmaneckú jaskyňu aj činnosť dobrovoľných jaskyniarov.¹⁰

3. – 5. december 1976: Členovia skupiny SSS č. 15 Harmanec preskúmali Južný labyrint s predpokladanou možnosťou pokračovania s pomocou trhacích prác a čerpania jazerá, preskúmali aj časti pokračujúce za Riečištom, rozvetvujúce sa pri tzv. Kompase.¹¹

Marec – apríl 1977: Členovia skupiny SSS

č. 15 Harmanec počas piatich akcií skúmali neprístupné časti jaskyne a zamerali časti pokračovania z Čierneho dómu.¹²

Január 1980: Prieskum častí Južného labyrintu jaskyniarmi skupiny SSS č. 15 odhalil prievan z 8 m vysokého komína ústiaceho do menšieho priestoru s rozmermi 2 × 2 m. Tejto, ako aj niekoľkých ďalších zdokumentovaných akcií v tom čase sa zúčastnil aj nový správca jaskyne Július Obrčan, ktorý do funkcie nastúpil v r. 1978.¹³

1980 – 1985: Ide o približne vymedzené obdobie, keď jaskyniari zo skupiny SSS č. 15 Harmanec čiastočne obmedzili prieskumné aktivity v Harmaneckej jaskyni a sústredili sa prevažne na čistenie a vynášanie rozličného odpadu zo sprístupňovania a starej elektroinštalácie, ktorého tam bolo veľké množstvo. Objav Ponicekej jaskyne, Jaskyne mŕtvych netopierov či objav v Môcovskej ponorovej jaskyni orientovali ich záujem najmä na tieto a iné lokality.

1985: Počas trojdňovej akcie za účasti 15 jaskyniarov sa pracovalo na konci Šavoltových priestorov nepretržite na zmeny po štyri hodiny s dvomi elektrickými búracími kladivami Cango a Bosch (Bosch to nevydržala a rozsypala sa). Postúpili do horizontálneho priestoru cca 3 × 3 m, v ktorom sa sotva dalo posadiť. Ukázalo sa, že objav smeruje k skalnej stene masívu Kotelnica.

13. – 15. marec 1987: Prienik do nových častí v Šavoltových priestoroch s postupom asi 50 m.¹⁴

22. december 1987: Uskutočnila sa pozoruhodná akcia na prieskum možnosti čerpania vody z jazierok v jaskyni pre potreby zásobovania budovy pri jaskyni vedená Zdenkom Hochmuthom.¹⁵

28. – 29. december 1996: Objav Vianočnej priepasti v Harmaneckej jaskyni členmi Speleoklubu Banská Bystrica M. Kurkom, L. Štubňom a L. Hraškom (Kurka, 1997).

OCHRANA A VÝSKUM JASKYNE

1932: Niekoľko mesiacov po prvotnom objave navštívili jaskyňu z poverenia starostu Banskej Bystrice notár a fotograf, ktorý novobjavené priestory sfotografoval. Uverejnenie fotografií vyvolalo značný ohlas verejnosti (Karlolová, 1984).

25. jún 1933: Jaskyňu navštívili zástupcovia mestskej rady z Banskej Bystrice. Zakázali ďalšie vstupovanie do jaskyne, ktorá je „príliš mladá a mäkká“ a dali ju uzatvoriť. Do vybudovania železnej brány ju strážili lesníci.¹⁶

1933: Na žiadosť Mestského úradu v Banskej Bystrici vypracoval Dipl. Ing. Rudolf Malýjurek prvý geologický posudok „kvapľovej jaskyne Izbica“.¹⁷

1939: Pracovník správy Československých dráh O. Slivka vyhotovil prvý situačný náčrt jaskyne so schematickým naznačením jej dovedy známych častí.

1939 – 1946: Magistrát mesta Banská Bystrica sa rozhodol úplne zamedziť vstup do jaskyne, ako to krátkodobo urobil už v r. 1938. V rokoch 1940 a 1942 Vojtek Benický za KSTL opakovane žiadal o povolenie prístupu do jaskyne na jej výskum, no nedostal žiadnu odpoveď. Podľa Benického mal starosta Samuhel veľmi nepriaznivý postoj ku KČST aj jeho nástupcovi KSTL.¹⁸

August 1946: Vyhotovená mapa jaskyne v mierke 1:300 podľa zamerania Antonína Hlavu, Otta Ondrouška a Michala Bacúrika v dňoch 20. až 21. augusta. Mapu nakreslil Ladislav Šperka. Na základe týchto meraní Ondroušek vyhotovil aj schematický pozdĺžny rez v mierke 1:1000. Topografiu okrem niektorých kartografických značiek autor riešil textovým vyjadrením. Mapa obsahuje cenné, hoci nie celkom presné informácie o objavoch jednotlivých častí jaskyne. Z tohto mapového diela vzniklo niekoľko odvodených máp (obr. 4).

Október 1946: Jaskyniarsky zbor KSTL v Turčianskom Sv. Martine založil Jaskyniarsku skupinu KSTL v Banskej Bystrici, ktorú pove-

⁶ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0357

⁷ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0360

⁸ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0364

⁹ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0900

¹⁰ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0902, 0903

¹¹ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0905

¹² AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0906

¹³ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0915

¹⁴ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0934, 0935

¹⁵ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0943

¹⁶ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0391

¹⁷ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0467

¹⁸ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0221

ril iniciatívnym vedením ďalších výskumov. V tom čase jaskyňu navštívila výprava organizovaná skúseným jaskyniarom profesorom Karlom Absolonom, čo sprevádzala široká popularizácia jaskyne a rastúci záujem o ňu zo strany verejnosti. Absolonova výprava bola medzi jaskyniarimi a členmi KSTL vnímaná kontroverzne, pričom ten si mal nárokovať na objavy, ktoré mu neprináležali.¹⁹

November 1946: Skupina pracovníkov Zoologického ústavu Slovenskej univerzity v Bratislave pod vedením Dr. Wagnera a za účasti V. Kovalčíka a V. Benického vykonala podrobný výskum jaskynnej fauny.²⁰ Počas akcie Benický vyhotovil sériu fotografií, ktoré mali slúžiť na širšiu propagáciu jaskyne. Použitie boli aj v časopise Krásy Slovenska.²¹

Január 1947: O. Ondroušek vyhotovil ďalší pozdĺžny rez v mierke 1:1440. Zachytáva jaskynné priestory v dĺžke asi 1 km.

1947: ONV v Banskej Bystrici vyčlenil Jaskyniarskej skupine KSTL v Banskej Bystrici na výskum jaskyne 20 000 Kčs. Tie boli použité na nákup jaskyniarskeho výstroja aj na propagáciu jaskyne.²²

1948: L. Šperka v Krásach Slovenska publikoval článok *Krasové zjavy v údolí Harmanca*, ktorý podáva komplexný pohľad na kras širšieho okolia Harmaneckej jaskyne (Šperka, 1948).

10. – 11. september 1949: Na treťom zjazde Jaskyniarskeho zboru KSTL v Horském hoteli pri Demänovskej jaskyni slobody sa KSTL začlenil do Jednotnej telovýchovnej organizácie Sokol. Jaskyniarsky zbor sa „ako složka povahy vedeckej a výskumnej“ pretavil do Slovenskej speleologickej spoločnosti so sídlom v Liptovskom Sv. Mikuláši. Jej úlohou bolo starať sa o vedecký výskum a prieskum i ochranu jaskýň. MNV v Banskej Bystrici bol upovedomený o tom, aby všetky otázky týkajúce sa Harmaneckej jaskyne konzultoval so Slovenskou speleologickou spoločnosťou.²³

23. marec 1950: Skupina geodetov vyslaná Vojenskou správou začala štvormesačné práce na precíznom zameraní jaskyne pod vedením majora Ing. Štála. Nezávisle od nich jaskyňu zamerl aj Ladislav Jurák.²⁴

1950: V časopise Krásy Slovenska publikoval Vladimír Lenčo príspevok *Dejiny jaskyne Izbica*, pričom sumarizoval dostupné poznatky o geológii a vývoji jaskyne (Lenčo, 1950 a, b). Jiří Kukla z Krasovej sekcie Geologického ústavu Karlovej univerzity zostavil *Predbežnú správu o výsledkoch výskumu Harmaneckej jaskyne Izbica*.²⁵

1951: Vypracovaná podrobná a obsiahla správa o výskume jaskyne v júli 1950, ktorý viedol Jiří Kukla z Krasovej sekcie Geologického ústavu Karlovej univerzity, zameraný na geológiu jaskyne a jej okolia, morfológiu priestorov s ich podrobným opisom a jaskynnú výzdobu.²⁶

Január 1959: Do Harmaneckej jaskyne preložili pracovnú skupinu Výskumu a ochrany jaskýň zo Skleného. Na základe návrhu Jána Majka začala sondovať v blízkom okolí chaty pri jaskyni. Už v polovici marca pod vedením Františka Jirmera prenikla do priestorov za Bludným dómom (Lalkovič, 1989).

19. február 1965: Z rozhodnutia Poradného zboru pre veci jaskýň pri Povereníctve SNR pre školstvo a kultúru bola zriadená Kmeňová kniha Harmaneckej jaskyne a pridelené evidenčné číslo 183, pod ktorým je v Zozname jaskýň SR uvedená doteraz.

16. október 1968: Komisia Slovenskej národnej rady pre kultúru a informácie vyhlásila jaskyňu za chránený prírodný výtvor „Harmanecká jaskyňa – Izbica“ s chráneným pásmom s výmerou 272,73 ha.

1972: Novelizácia vyhlásenia Harmaneckej jaskyne za chránený prírodný výtvor spolu s ďalšími sprístupnenými jaskyňami (Bella a kol., 2020).

1999 – 2000: Prebiehal dopĺňajúci geomorfologický výskum jaskyne (Bella a kol., 2020).

2001: Pracovníci Prírodovedeckej fakulty Univerzity Palackého v Olomouci a Prírodovedeckej fakulty Masarykovej univerzity v Brne publikovali prácu *Výsledky gamaspektrotrických měření v Harmanecké jeskyni*.²⁷

2010 – 2012: V Harmaneckej jaskyni sa spolu s ďalšími 27 jaskyňami vykonával biospeleologický výskum v spolupráci s Prírodovedeckou fakultou Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, ako aj mikrobiologický výskum v spolupráci s Ústavom pôdnej biológie Akadémie vied ČR v Českých Budějoviciach (Bella a kol., 2020).

2017 – 2018: Realizoval sa chiropterologický monitoring jaskyne (Bella a kol., 2020).

2018: V spolupráci s Moravským zemským múzeom v Brne a Slovenským múzeom ochrany prírody a jaskyniarstva v Liptovskom Mikuláši sa uskutočnil fytologický výskum „lampenflóry“ vo vybraných sprístupnených jaskyniach vrátane Harmaneckej jaskyne (Bella a kol., 2020).

SPRÍSTUPŇOVANIE A PREVÁDZKA JASKYNE

1938: Významný objav Dómu pagod (Hlavného dómu) vyvolal značný ohlas v tlači a vo verejnosti. Lesný radca Ing. Gažo a vedúci predstaviteľ Banskej Bystrice nariadili uzatvorenie jaskyne železnými dvermi. Mesto dokonca krátkodobo zakázalo aj ďalší prieskum v réžii Kovalčíka a Ondrouška. Neustávajúci záujem o jaskyňu aj zo strany vedeckých kruhov však primäl mesto k tomu, aby poverilo Kovalčíka spriechodnením existujúcich pries-

torov, čo sa stalo základom sprístupňovacích prác v jaskyni. Mesto financovalo sprístupnenie jaskyne až do Dómu pagod, aby ich mohli navštíviť predstavitelia vedeckých kruhov aj mestských úradníkov. K prehliadke nakoniec nedošlo a mesto dalo jaskyňu opätovne uzatvoriť až do r. 1946.²⁸

Október 1946: Jaskyňu navštívil skúsený jaskyniar a náčelník Jaskyniarskeho zboru Klubu slovenských turistov a lyžiarov (KSTL) Vojtech Benický, ktorý prisľúbil všestrannú pomoc pri prípadnom sprístupňovaní jaskyne.

1946: Aj vďaka rozporuplnému ohlasu na výpravu vedenú K. Absolonom zriadil koncom roka Miestny národný výbor v Banskej Bystrici Jaskyniarsku komisiu pri MNV, ktorá mala za úlohu viesť objavné aj sprístupňovacie práce v jaskyni.

21. december 1946: Na zasadnutí Jaskyniarskej komisie MNV Banskej Bystrice za účasti Vojtecha Benického ako náčelníka Jaskyniarskeho zboru KSTL sa riešili možnosti sprístupnenia jaskyne, ale aj ďalšieho objavovania a prieskumu či širšie možnosti jej hospodárskeho využitia. Benický bol požiadaný o odborné stanovisko a vypracoval plán sprístupnenia jaskyne.²⁹

1946 – 1947: Jaskyniarska skupina KSTL v Banskej Bystrici vyhotovila filmový záznam z jaskyne a jej okolia. Z množstva technických komplikácií bolo najvýraznejším problémom osvetlenie jaskyne pre potreby filmovania. Tu pomohol V. Benický, ktorý dodal dostatočný počet magnéziových svietiel, čo umožnilo jaskyňu nafilmovať. Pokusy s iným osvetlením boli neúspešné, dokonca sa skončili úplným zadymením jaskyne. Filmová snímka mala „vzbudiť širší záujem občanstva“.³⁰

1947: Na základe požiadaviek Jaskyniarskej komisie MNV Banskej Bystrice vyčlenil MNV v riadnom rozpočte na r. 1947 150 000 Kčs na sprístupňovacie práce v jaskyni, v mimoriadnom rozpočte ďalších 200 000 Kčs.³¹ Členovia Jaskyniarskej skupiny KSTL v Banskej Bystrici vybudovali pohodlný prístupový chodník k jaskyni, upravili vchod vo vstupnej časti Izbica, tiež upravili a rozšírili vstupnú chodbu do Malého kvapľového dómu (Dóm objaviteľa).³²

1947 – 1948: V tomto období sa vybudovala prvá časť prehliadkovej trasy jaskyne, ktorá siaha „po druhý kvapľový dóm“, teda Veľký kvapľový dóm, resp. Dóm pagod. Na sprístupňovanie jaskyne samospráva v r. 1948 vyčlenila ďalších 300 000 Kčs.³³

1948 – apríl 1949: Uskutočnila sa komisiálna návšteva jaskyne za účasti zástupcov KSTL a zástupcov mesta Banská Bystrica. Zá-

¹⁹ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0221

²⁰ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0220

²¹ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0228

²² AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0230, 0237

²³ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0250

²⁴ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0392, 0555

²⁵ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0523

²⁶ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0525

²⁷ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0413

²⁸ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0198

²⁹ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0229, 0231

³⁰ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0237

³¹ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0230

³² AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0231

³³ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0241

roveň sa uskutočnili dve veľké prehliadky jaskyne za účasti komisií zložených zo zástupcov KNV, ONV, MNV, vojska, cestovného ruchu, politických a iných organizácií, čo napomohlo získať dodatočné finančné prostriedky na sprístupňovanie jaskyne. Okrem toho Jaskyniarska skupina KSTL dostala od ONV v Banskej Bystrici 20 000 Kčs na prieskum a nákup vybavenia. V rámci propagácie jaskyne členovia skupiny prispievali do tlače a uverejňovali fotografie. Do apríla 1949 sa na sprístupňovanie a prieskum investovalo 650 000 Kčs. Zároveň bol dobudovaný pohodlný turistický chodník od štátnej cesty k jaskyni. Jaskyniarska skupina KSTL prijala záväzok otvoriť jaskyňu pre verejnosť pri príležitosti piateho výročia SNP.³⁴

1949: V kontexte sprístupňovania jaskyne sa otvorila aj otázka jej pomenovania, resp. premenovania. Slovakotour, miestny zbor pre cestovný ruch v Banskej Bystrici, navrhol jaskyňu pomenovať na „Jaskyne Slovenského národného povstania“ a s týmto návrhom oslovil Ústav Slovenského národného povstania. Sám ústav odmietol tento návrh ako nevhodný, keďže jaskyňa nemala s vážnymi udalosťami SNP nijaký súvis. Rovnaké stanovisko zaujal aj Jaskyniarsky zbor KSTL. V prvej polovici roka sa aj napriek nedokončenej prehliadkovej trase začali práce na elektrifikácii jaskyne.³⁵

2. polovica 1949: Sprístupňovacích prác sa ujala novovzniknutá Slovenská speleologická spoločnosť, práce viedol L. Šperka. Bol vypracovaný *Stručný a aproximatívny rozpočet sprístupnenia jaskyne*, kde sa samostatne počítali sprístupňovacie práce a samostatne elektrifikácia jaskyne. Výsledná suma po ich sčítaní dosiahla 3 678 800 Kčs.³⁶

1949 – 1. polovica 1950: Slovakotour v Banskej Bystrici vybudoval montovanú chatku Izbica s celoročnou možnosťou ubytovania a stravovania s kapacitou 60 ľudí nad štátnou hradskou, v priestore nad parkoviskom. (Z chaty sa dodnes zachovali iba základy.) Súčasne sa vybudoval menší vstupný objekt Harmaneckej jaskyne s elektrocentrálou, bufetom a predajom spomienkových predmetov. Bola zriadená rýchliková zastávka na železničnej stanici Harmanecké jaskyne. Slovakotour vydal prvý plagát *Navštívte Harmanecké jaskyne*.³⁷

30. január 1950: Poverenie priemyslu a obchodu poskytlo zálohu na sprístupnenie Harmaneckej jaskyne vo výške 100 000 Kčs formou dlhodobej bezúročnej pôžičky.

1. máj 1950: V novootvorenom Múzeu slovenského krasu v Liptovskom Mikuláši bola zriadená samostatná expozícia Harmaneckej jaskyne. Exponáty pripravila najmä pracovná skupina Slovenskej speleologickej spoločnosti.³⁸

1. júl 1950:

Harmanecká jaskyňa prechádza zo správy Jednotného národného výboru v Banskej Bystrici pod Hostiteľské závody, komunálny podnik Banská Bystrica.³⁹

30. júl 1950:

Ukončenie sprístupňovania jaskyne a jej otvorenie v provizórnom režime.

Viacere prameňe uvádzajú, že sprístupnenie jaskyne bolo sprevádzané veľkými technickými, materiálmi aj finančnými ťažkosťami. Riaditeľstvo Hostiteľských závodov, komunálneho podniku mesta Banská Bystrica dalo natlačiť vstupenky a 30. júla 1950 sa začala prevádzka jaskyne. Otvorená bola denne od 8. do 18. hodiny. Správcom jaskyne sa stal jej objaviteľ M. Bacúrik. V jaskyni sprevádzali sprievodcovia, ktorí sa podieľali na objavných a sprístupňovacích prácach a väčšinou boli členmi SSS (obr. 5). Hromadnú dopravu z Banskej Bystrice zabezpečoval Hostiteľský komunálny podnik (Lenčo, 1950).

3. september 1950: Oficiálne slávnostné otvorenie jaskyne sprevádzané náležitým mediálnym ohlasom. Vstupné do jaskyne bolo 30 Kčs pre jednotlivcov, 20 Kčs pre účastníkov hromadných, vopred oznámených výprav v počte najmenej 10 osôb a 10 Kčs pre študentov a vojakov.

1950 koniec roka: Vybudovanie prvej povizornej pozemnej lanovky na dopravu stavebného materiálu s dĺžkou 400 m a stúpaním 250 m za 60 000 Kčs; lanovka slúžila 10 rokov.⁴⁰ Vedúci sprístupňovacích prác L. Šperka navrhol vybudovať druhý vchod jaskyne na konci prehliadkovej trasy, ktorým by návštevníci vychádzali. Predpokladaná denná kapacita jaskyne by tak dosiahla až 2000 návštevníkov. Navrhol tiež vybudovanie osobnej sedačkovej lanovky od parkoviska k jaskyni.⁴¹ V roku 1950 jaskyňu, hoci bola otvorená až po skončení letnej sezóny, navštívilo vyše 10 000 návštevníkov. Prehliadka trvala vyše hodiny a výklad podával objaviteľ M. Bacúrik.⁴² Výška príjmov zo vstupného dosiahla takmer 250 000 Kčs.⁴³



Obr. 5. Sprievodcovia z Harmaneckej jaskyne na terase pred jaskyňou v r. 1951. Zbierka SMOPaj

Fig. 5. Guides from Harmanecká Cave on the terrace in front of the cave in 1951. Collection of the Museum of Nature Protection and Speleology

Máj 1951: Ukončenie druhej etapy sprístupňovania jaskyne, úseku Riečiska až po tzv. Stredný dóm medzi Vysokým a Bludným dómom s dĺžkou asi 250 m. Prehliadková trasa tak získala takmer súčasnú podobu. Súhrnne si sprístupnenie Harmaneckej jaskyne v réžii JNV a KNV vyžiadalo viac než 4 000 000 Kčs.⁴⁴ Dobová tlač uvádza, že dĺžka sprístupnenej trasy jaskyne dosahuje asi 1000 m, ako je to aj v súčasnosti. Zároveň uvádza, že sa plánuje sprístupnenie ďalších častí jaskyne. Neuvádza ktorých, a je zrejme, že sa tak nikdy nestalo.

September 1951: Za prvý rok prevádzkovania jaskyne ju navštívilo vyše 50 000 záujemcov.⁴⁵

1951: Zásluhou Slovakotouru v Banskej Bystrici vyšiel prvý ilustrovaný prospekt – brožúra venovaná Harmaneckej jaskyni, určená pre širokú verejnosť. Autorom tohto „popularizačného a tak trochu fejtonistického“ dieľa je redaktor Dr. Alexander Križka. V tomto roku bola jaskyňa napojená na telefónnu sieť.⁴⁶ Prof. Vladimír Lenčo vytýčil najdôležitejšie úlohy na zveľadenie turistického potenciálu jaskyne, a to vyrazenie nového vchodu, vybudovanie dodatočných ubytovacích kapacít a osobnej lanovky.⁴⁷

1. máj 1952: Harmanecká jaskyňa prechádza do majetku Správy Riaditeľstva pre cestovný ruch (do r. 1954).⁴⁸

1952: Pred vstupom do jaskyne bola vybudovaná terasa „rozplanírovaním“ sutinového materiálu získaného zo sprístupňovacích prác. Oporné múry boli vybudované z lomuvého kameňa uloženého nasucho. Na terase bola postavená prevádzková budova.⁴⁹

⁴⁴ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0334

⁴⁵ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0338

⁴⁶ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0260, 0261

⁴⁷ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0358, 359

⁴⁸ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0357

⁴⁹ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0371

³⁴ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0248, 0249

³⁵ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0245, 0246, 0249

³⁶ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0257

³⁷ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0341, 347, 392

³⁸ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0305

³⁹ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0312

⁴⁰ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0156

⁴¹ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0300, 392

⁴² AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0155

⁴³ AOPaj, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0229



Obr. 6. Slávnostné udelenie čestného uznania Michalovi Bacúrikovi podnikom Turista, n. p., v r. 1957 pri zrekonštruovanej vstupnej budove pred jaskyňou. Zbierka SMOPaJ

Fig. 6. Ceremonial awarding of an honorary recognition to Michal Bacúrik by the Turista company in 1957 at the renovated entrance building in front of the cave. Collection of the Museum of Nature Protection and Speleology



Obr. 7. Zrekonštruovaný vstupný objekt pred jaskyňou. Opravu si v r. 1968 vynútil pokles umelej terasy, na ktorej bol postavený. Zbierka SMOPaJ

Fig. 7. The renovated entrance building in front of the cave. The repair was necessitated in 1968 by the collapse of the artificial terrace on which it was built. Collection of the Museum of Nature Protection and Speleology

1953: Po menovej reforme z 1. júna sa cena bežnej vstupenky do jaskyne zmenila z pôvodných 30 na 6 Kčs.⁵⁰

1954: Jaskyňa prechádza pod správu n. p. Turista (do roku 1965) (Karclová, 1984).

1956: Uskutočnila sa generálna rekonštrukcia vstupného objektu pri jaskyni (obr. 6) (Karclová, 1984).

1965: Kompetencie v oblasti spravovania jaskýň prechádzajú z pôsobnosti Ministerstva vnútorného obchodu do pôsobnosti Povereníctva SNR pre školstvo a kultúru. Jaskyne začali spravovať krajské múzeá, Harmanecká jaskyňa sa dostala pod správu Múzea slovenského krasu (do r. 1969) (Karclová, 1984).

Jún 1968: Zrážková voda z odkvapov budovy spôsobila poškodenie základov terasy a jej pokles na niektorých miestach, aj poškodenie vstupného objektu. To si vyžiadalo rozsiahlu rekonštrukciu terasy aj budovy (obr. 7).⁵¹

1970: Harmanecká jaskyňa spolu s ďalšími sprístupnenými jaskyňami prechádza pod novovzniknutú Správu slovenských jaskýň.

1973: Po vyrazení novej spojovacej chodby bola uzatvorená a z prehliadkovej trasy vylúčená pôvodná objavná prerážka vedúca z prvotne objavených priestorov (Malá kvapľová sieň) v r. 1932 do Dómu pagod (Veľký kvapľový dóm).⁵²

1975: Hĺbková rekonštrukcia elektroinštalácie jaskyne (Bella a kol., 2020).

1977: Vybudovanie novej elektrickej a telefónnej prípojky k Harmaneckej jaskyni (Bella a kol., 2020).

2. október 1977: Skúška a posudzovanie stability bloku na strope vo „Veľkom kvapľovom dome“ nad prehliadkovou trasou.⁵³

1978: Oprava a modernizácia vstupného objektu pred jaskyňou.⁵⁴

1981: Jaskyňa prechádza pod Ústredie štátnej ochrany prírody (Karclová, 1984).

1985: Vypracovanie štúdie nového vstupného objektu, keďže dovtedajší vstupný objekt bol technicky zastaraný a s nedostatočnou kapacitou. Nový mal byť dimenzovaný na ročnú návštevnosť dosahujúcu 30 000 návštevníkov.⁵⁵

1990: Jaskyňa prechádza pod osamostatnenú Správu slovenských jaskýň.

1991: Vyhotovenie projektu rekonštrukcie chaty Izbica pri nástupe na prístupový chodník k jaskyni (pri ceste). Namiesto rekonštrukcie však došlo k zbúrianiu objektu.⁵⁶

1993: Otvorenie náučného chodníka k Harmaneckej jaskyni pri príležitosti 60. výročia jej objavenia. (Obrcian, 1993). V tomto roku navštívila jaskyňu milióna návštevníčka Jarmila Horváthová z Čachtíc (Obrcian, 1994, 2014).

1997 – 1998: Vybudovanie visutej nákladnej lanovky k jaskyni, ktorá slúži dodnes (Janíček, 1998).

2002: Obnovenie náučného chodníka k Harmaneckej jaskyni (Bella a kol., 2020).

2003 – 2005: Výstavba vstupného objektu Harmaneckej jaskyne vrátane vodovodnej prípojky, ČOV a úpravy terasy pred jaskyňou. Nový objekt bol slávnostne otvorený 4. júla 2005 za účasti ministra životného prostredia Slovenskej republiky (Peška, 2005; Bella a kol., 2020).

2006: Oprava prehliadkového chodníka vo vstupnej časti jaskyne (Labaška, 2007).

2009: Rekonštrukcia časti prehliadkovej trasy (Labaška – Buzák, 2009).

2010: Rekonštrukcia elektroinštalácie jaskyne (Labaška, 2012).

November 2010 – máj 2011, november 2011 – máj 2012: Výmena zábradlia v jaskyni za antikorové (Bella a kol., 2020).

2014: Speleomyskologický výskum Harmaneckej jaskyne spolu s niekoľkými sprístupnenými jaskyňami v spolupráci s poľskou Vroclavskou univerzitou vo Vroclave (Bella a kol., 2020).

NÁVŠTEVNOSŤ JASKYNE

Jaskyňa je v prevádzke 75 rokov, pričom patrí medzi jaskyne s nižšou návštevnosťou. Tá dosahuje vrchol bezprostredne po sprístupnení jaskyne v r. 1951, keď presiahla 35 000. Podobné hodnoty dosahovala opäť až v rokoch 1987 a 1989. V roku 1953 môžeme pozorovať výrazný prepád návštevnosti, zrejme aj v dôsledku menovej reformy. Pozoruhodný je prepád návštevnosti v šesťdesiatych rokoch, keď naopak jaskyne s vysokou návštevnosťou, ako Demänovská jaskyňa slobody, dosahujú vrcholové hodnoty. Kým invázia vojsk Varšavskej zmluvy do Československa v auguste 1968 sa výrazne prejavila na poklese návštevnosti Jaskyne slobody a ďalších jaskýň s vysokou návštevnosťou, návštevnosť Harmaneckej jaskyne to neovplyvnilo. Výrazný prepád návštevnosti vidíme v dôsledku spoločensko-politických zmien v r. 1989. V rokoch 2003 a 2004 bola jaskyňa zatvorená z dôvodu rekonštrukcie. Hospodárska kríza v r. 2008 nemala na návštevnosť Harmaneckej jaskyne taký výrazný dosah ako v prípade jaskýň s vysokou návštevnosťou. Môžeme konštatovať, že návštevnosť Harmaneckej jaskyne, zrejme vzhľadom na jej veľkosť, menej odráža celospoločenské, politické a hospodárske zmeny či turbulencie, naopak má tendenciu kolísať aj počas stabilných období, keď si jaskyne s vysokou návštevnosťou udržiavajú pomerne stabilné hodnoty návštevnosti (obr. 8).

⁵⁰ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0361

⁵¹ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0371

⁵² AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0899

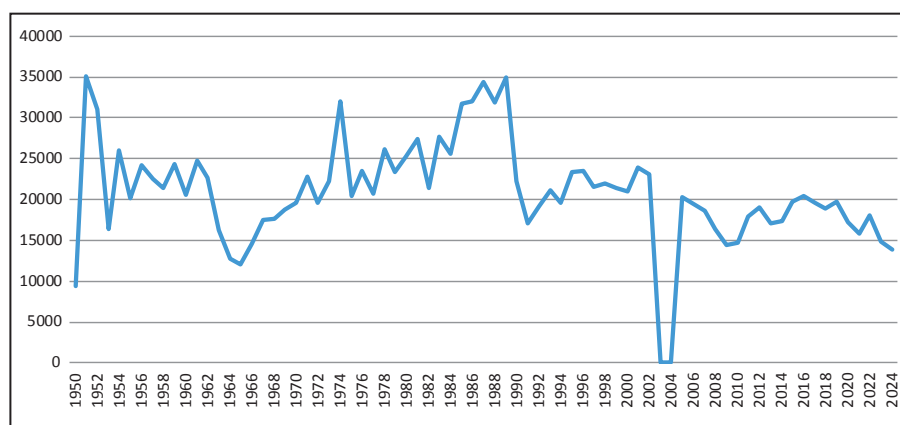
⁵³ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0908

⁵⁴ AOPaJ, f. PKJ, k. 183 Harmanecká jaskyňa, č. 0402

Technický archív SSJ, Harmanecká jaskyňa, č. 23 Štúdia vstupného areálu Harmaneckej jaskyne 1977.

⁵⁵ Technický archív SSJ, Harmanecká jaskyňa, č. 11 Vstupný areál Harmaneckej jaskyne – štúdia 1985.

⁵⁶ Technický archív SSJ, Harmanecká jaskyňa, č. 6 Rekonštrukcia chaty Izbica pri Harmaneckej jaskyni 1991.



Obr. 8. Vývoj návštevnosti Harmaneckej jaskyne od r. 1950 do r. 2024.

Fig. 8. Development of visitor numbers to Harmanecká Cave from 1950 to 2024.

ZÁVER

Prvotný objav nových priestorov z oddáv-
na známej Izbice učinili 22. júna 1932 vtedy
osemnásťročný Michal Bacúrik s Františkom
Babjakom a kamarátmi, keď po rozšírovaní
úžiny, z ktorej dul prievan a vylietavali netopie-
re, prenikli do prvých neznámych priestorov.
O objave bol informovaný Mestský úrad Ban-
skej Bystrice, ktorý o jaskyňu prejavil záujem
a uzavrel ju mrežou. Zároveň zakázal ďalšie
návštevy jaskyne z dôvodu, že jaskyňa je „prí-
liš mladá a mäkká“, čo ďalší prieskum jaskyne
zastavilo. Na žiadosť mestského úradu bol v r.
1933 vypracovaný aj prvý geologický posu-
dok jaskyne.

Záujem o jaskyňu dostal nový impulz v
r. 1937 na pozadí stavby železnice Banská
Bystrica – Diviaky, keď sa o ňu začal zaují-
mať úradník štátnej technickej správy Otto
Ondroušek, ku ktorému sa rýchlo pridali ďalší
záujemcovia. 28. marca 1938 objavili Dóm
pagod (Hlavný dóm), na čo nadviazali ďalšie
objavy opäť aj za účasti M. Bacúrika a F. Bab-
jaka. Mestský úrad opäť zamedzil možnosti
ďalšieho prieskumu jaskyne, ktorý sa obnovil
až po druhej svetovej vojne. Pokusy KSTL, aby
vedenie mesta umožnilo práce v jaskyni, boli
počas vojny neúspešné. Obdobie rokov 1932
až 1939 považujeme za prvú etapu objavova-
nia Harmaneckej jaskyne, keď bola objavená

väčšina jej hlavných a neskôr sprístupnených
častí.

Opätovné obnovenie prieskumu a výsku-
mu jaskyne nastáva až v r. 1946 s výpravou
Karla Absolona za účasti Otta Ondrouška.
Následný intenzívny prieskum pod záštitou
novovzniknutej Jaskyniarskej skupiny KSTL
priniesol viaceré objavy a spolu so sprísťup-
ňovacími prácami bol podporovaný a doto-
vaný z organizácií samosprávy (MNV, ONV,
KNV) a Povereníctva priemyslu a obchodu.
V období rokov 1946 až 1959 sa udialo
množstvo významných objavov, ktoré mape
Harmaneckej jaskyne dali takmer súčasnú
podobu. Ide o druhé obdobie intenzívneho
prieskumu a objavovania jaskyne. Výsledky
prieskumu aj výskumu jaskyne boli hojne
publikované najmä na stránkach časopisu
Krásy Slovenska, ale aj v Československom
krase a inej dobovej tlači. V jaskyni bol do-
konca natočený krátky film, čo vyvolalo
značný spoločenský ohlas. V tomto období
sa uskutočnilo niekoľko dôležitých mapova-
ní jaskyne a povrchu. Jednou z prvých máp
jaskyne je mapa 1:300 podľa zamerania
Antonína Hlavu, Otta Ondrouška a Michala
Bacúrika, ktorá obsahuje hodnotné, hoci
nie celkom presné informácie o postupe
objavovania jaskyne. Dostupné pramenné
materiály neposkytujú komplexný prehľad
o ďalšom prieskume jaskyne. Ojedinelé

nám známe záznamy približujúce prieskum
jaskyne a jeho výsledky pochádzajú najmä
zo sedemdesiatych a osemdesiatych rokov.
O posledný väčší objav nových priestorov sa
zaslúžila trojica jaskyniarov M. Kurka, L. Štub-
ňa a L. Hraško v decembri 1996, keď objavili
Vianočnú priepasť.

V decembri 1946 bola zriadená Jaskyniar-
ska komisia MNV v Banskej Bystrici s cieľom
sprístupniť jaskyňu a v rokoch 1947 až 1948
sa vybudovala prehliadková trasa do Dómu
pagod. V druhej polovici roka 1949 sa sprísťup-
ňovania jaskyne ujala novovzniknutá
SSS a vedúcim prác sa stal Ladislav Šperka.
Sprístupňovacie práce, vrátane elektrifikácie
jaskyne, vybudovania prístupového chodníka
a vstupného objektu, ako aj chaty Izbica pri
nástupe na chodník k jaskyni pri ceste, boli
napriek vážnym technickým, finančným aj
organizačným problémom úspešne zavŕše-
né – jaskyňa bola 30. júla 1950 otvorená pre
verejnosť a jej prvým správcom sa stal M. Ba-
cúrik. Slávnostné otvorenie sa uskutočnilo 3.
septembra. Prehliadková trasa bola do dneš-
nej podoby dobudovaná v máji 1951.

Od roku 1951 do roku 1970 sa Harma-
necká jaskyňa, podobne ako iné sprístupne-
né jaskyne, často dostávala pod správu roz-
ličných organizácií. V roku 1970 ju prevzala
novovytvorená Správa slovenských jaskýň. Tá
vykonala viacero veľkých rekonštrukcií infra-
štruktúry jaskyne a okolia, vrátane výstavby
nového vstupného objektu v r. 2003 až 2005
či výmeny zábradlí a elektrickej siete v jaskyni.
Zároveň realizuje všestranný speleologický vý-
skum a ochranu jaskyne.

Návštevnosť jaskyne, napriek limitujúcim
kapacitným možnostiam samotnej jaskyne aj
turistickej infraštruktúry, dosiahla vrchol počas
prvej úplnej sezóny v r. 1959. Podobné hod-
noty dosahovala až na konci osemdesiatych
rokov. Hoci návštevnosť odráža najvýznam-
nejšie spoločensko-politické zmeny, jej vývoj
len málo koreluje s výkyvmi návštevnosti jas-
kýň s vysokou návštevnosťou.

Na záver chceme vysloviť úprimné po-
ďakovanie predsedovi Speleoklubu Banská
Bystrica Ing. Štefanovi Mlynárikovi za cenné
informácie o jaskyniarskom prieskume Har-
maneckej jaskyne.

Literatúra

- BABJAK, J. – BELÍČKA, Š. 1976. História jaskyniarskych výskumov v okolí Harmanca. *Spravodaj SSS*, 7, 2, 11–13.
BACÚRIK, M. 1950. Ako bola objavená Izbica. *Krásy Slovenska*, 27, 106.
BELLA, P. a kol. 2020. Historiografia Správy slovenských jaskýň 1970 – 2020. *Aragónit*, 27, 2, 85–99.
BELLA, P. – LALKOVIČ, M. 2002. Harmanecká jaskyňa, Správa slovenských jaskýň, 8 s.
JANIČEK, V. 1998. Nákladná lanová dráha k Harmaneckej jaskyni. *Aragónit*, 3, 1, 27–28.
KARCOLOVÁ, M. 1984. K 50. výročiu objavenia Harmaneckej jaskyne. *Slovenský kras*, 22, 277–280.
KURKA, M. 1997. Objav Vianočnej priepasti v Harmaneckej jaskyni. *Aragónit*, 2, 2, 16.
LABAŠKA, P. 2007. Oprava prehliadkového chodníka vo vstupnej časti Harmaneckej jaskyne. *Aragónit*, 12, 1, 82.
LABAŠKA, P. 2009. Stabilizácia skalných stien v blízkosti sprístupnených jaskýň. *Aragónit*, 14, 2, 144–145.
LABAŠKA, P. 2012. Rekonštrukcia prehliadkového chodníka v Harmaneckej jaskyni. *Aragónit*, 17, 1-2, 41–42.
LABAŠKA, P. – BUZÁK, P. 2009. Inovácia technickej infraštruktúry sprístupnených jaskýň. *Aragónit*, 14, 2, 141–144.
LALKOVIČ, M. 1989. Meranie a mapovanie jaskýň na Slovensku v období Jaskyniarskeho zboru Klubu slovenských turistov a lyžiarov. *Slovenský kras*, 27, 73–94.
LENČO, V. 1950. Geologické pomery v okolí jaskyne „Izbica“. *Krásy Slovenska*, 27, 5-8, 107–111.
LENČO, V. 1950. Dejiny jaskyne „Izbica“. *Krásy Slovenska*, 27, 5-8, 114–116.
OBRČIAN, J. 1993. Otvorenie náučného chodníka k Harmaneckej jaskyni. *Sinter*, 1, 18.
OBRČIAN, J. 1994. Miliónty návštevník v Harmaneckej jaskyni. *Sinter*, 2, 21.
OBRČIAN, J. 2014. Michal Bacúrik, objaviteľ Harmaneckej jaskyne – spomienka na 100. výročie jeho narodenia. *Aragónit*, 19, 1-2, 48.
PEŠKA, J. 2005. Nový vstupný areál Harmaneckej jaskyne. *Aragónit*, 10, 1, 30–35.
ŠPERKA, L. 1948. Ako bola objavená Harmanecká jaskyňa. *Krásy Slovenska*, 25, 5-6, 25–27.
ŠPERKA, L. 1948. Krasové zjavy v údolí Harmanca. *Krásy Slovenska*, 25, 5-6, 106–109.

Archívne zdroje

Archív ochrany prírody a jaskyniarstva pri Slovenskom múzeu ochrany prírody a jaskyniarstva v Liptovskom Mikuláši
Technický archív Správy slovenských jaskýň

STAROSTLIVOSŤ O JASKYNE V ROKU 2023

V roku 2023 Správa slovenských jaskýň zabezpečila uzatvorenie štyroch novoobjavených jaskýň a v jednej jaskyni bol vymenený starý uzáver. Členovia strážnej služby zameranej na jaskyne od tohto roku podávajú elektronické hlásenia do informačného systému stráže prírody. Počas roku 2023 sme zaevidovali 142 elektronických hlásení a 60 terénnych záznamov v papierovej forme.

Na Muránskej planine sme mrežovým uzáverom uzatvorili jaskyňu **Havraník** (k. ú. Zlatno), objavenú v roku 2020. Pred jej uzatvorením členovia strážnej služby zaregistrovali 2 ilegálne vstupy. V jaskyni je dosiaľ preskúmaných vyše 400 m chodieb, ktoré môžu byť v obdobiach väčších zrážok zaplavované až do výšky 8 m. Uzáver je osadený 10 m od vchodu do jaskyne. **Modrá jaskyňa** (k. ú. Nižná Boca) patrí vďaka unikátnej sintrovej výzdobe medzi najzaujímavejšie jaskyne Slovenska. V rámci zabezpečenia jej ochrany sme v spolupráci so Speleologickým klubom Červené vrchy zabezpečili stabilizáciu podného vchodu do jaskyne a jej následné uzatvorenie pevným bezpečným uzáverom. Jaskyniari z Plaveckého Podhradia koncom roku 2023 prenikli do jaskyne **Starý plášť**. Jej dĺžka už presiahla 800 m a je jednou z najväčších jaskýň Malých Karpát. V jaskyni je aktívny vodný tok a nachádzajú sa tu rôzne formy sintrovej výplne. Priestory jaskyne sú vytvorené na styku kremencov a gutensteinských vápencov, čím je hodnotná aj z geologického hľadiska. Na začiatku roku 2022 jaskyniari z klubu Speleo Turiec objavili v Belianskej doline vo Veľkej Fatre **Novú Došnú jaskyňu** s dĺžkou 500 m. Vzhľadom na ochranu podzemných priestorov, ktoré vynikajú bohatou sintrovou výzdobou, sme vo vchode do jaskyne osadili uzáver. Starý, nefunkčný uzáver nachádzajúci sa pod vstupnou priepasťou **Starej bystrianskej jaskyne** (k. ú. Valaská) sme v spolupráci so skupinou Speleo Brezno vymenili za nový. Zo vstupných častí sme zároveň odstránili zvyšky opadaného stropu a tiež rozrušené časti stien, ktoré sme následne stabilizovali proti ďalšiemu zosúvaniu.

V rámci výkonu strážnej služby sme v januári 2023 vykonali čistenie blízkeho okolia jaskyne Domica a Ardovskej jaskyne, ktoré bolo znečistené prevažne komunálnym odpadom. V spolupráci s obcou Kečovo sme zabezpečili aj odvoz a likvidáciu odpadu. Koncom mája sme prijali hlásenie od Speleoklubu Drienka, že na lokalite s názvom Vatička na Plešiveckej planine sa v ústí priepasti do hĺbky 5 m nachádzal odpad pozostávajúci prevažne zo sklenej vaty. Členovia klubu odpad vyťažili, následne sme ho naložili do vriec a neskôr bol z lokality odvezený. V júni 2023 sme pri kontrole uzáveru Drienovskej

jaskyne zaznamenali hlavne v jeho blízkom okolí komunálny odpad, ktorý sme následne vyzbierali aj po celej prístupovej trase k vyvie-

račke. V spolupráci s obyvateľmi obce Slizké a CHKO Cerová vrchovina sme uskutočnili environmentálnu akciu zameranú na čistenie Drienčanského krasu od komunálneho odpadu, ktorým sme zaplnili veľkoobjemový kontajner. V spolupráci s klubom Speleo Rožňava sme vyčistili verejnosti voľne prístupné jaskyne Veľká Pivnica a Malá Pivnica od komunálneho odpadu a v priestore pred vchodmi sme odstránili náletové dreviny. Členovia speleologickej strážnej služby nahlásili znečistenie Mojtiínskej priepasti jaskyne splaškami z obce Mojtiín. Jaskyňu dlhodobejšie monitorujeme a realizujeme odber vzoriek vody z jej priestorov na zistenie kontaminácie. Znečisťovanie jaskyne je komunikované s miestnou samosprávou a orgánom ochrany prírody, pričom najvhodnejším riešením je odkanalizovanie obce. Speleológmi nám bolo nahlásené uloženie nebezpečného odpadu (azbest) v lokalite Medené Hámre v Borinskom krase. Skutočnosť bola odstupená a Okresný úrad životného prostredia Malacky, ktorý vo veci konal. Pri rekonštrukcii vodomerneho objektu vo vlastníctve Slovenského hydrometeorologického ústavu v ochrannom pásme Kráľovskej jaskyne došlo k poškodeniu biotopu európsky významného druhu slimáka sadlerianka panónska (*Sadleriana panonica*). Po obhládke a zdokumentovaní stavu biotopu zvolal Okresný úrad životného prostredia Košice pracovné stretnutie za účasti zástupcov Správy Národného parku Slovenský kras, námcomu Kráľovskej jaskyne, Okresného úradu Rožňava a zhotoviteľa prác predmetnej stavby. Prípád bol odstúpený na Slovenskú inšpekciu životného prostredia Košice, stále je v riešení.

V roku 2023 sme ďalej zabezpečili výmenu pletiva slúžiaceho na ochranu sintrovej výplne Važeckej jaskyne. Nové pletivo spĺňa bezpečnostné kritériá viažuce sa na podzemie, je vizuálne menej nápadné a návštevníci majú väčší estetický zážitok z prehliadky jaskyne.

V roku 2023 boli vyhlásené dve nové verejnosti voľne prístupné jaskyne v Súľovských vrchoch – **Malá temná jaskyňa** a **Humno** (obe k. ú. Horný Moštenec). Vypracovali sme dokumentáciu a iniciovali vyhlásenie ďalších verejnosti voľne prístupných jaskýň – Skalné diery v Čingove 1 a 2 (k. ú. Spišské Tomášovce), Kremenná jaskyňa (k. ú. Horné Pršany), Nitrianska hradná jaskyňa (k. ú. Nitra), Jazvečí hrad (k. ú. Veľké Pole), Prielezná jaskyňa (k. ú. Borinka), Mojtiínska jaskyňa (k. ú. Mojtiín), Lietavská jaskyňa (k. ú. Lietava), Mníchova diera 1 (k. ú. Smolenice) a Zlepencová jaskyňa (k. ú. Parížske).



Uzáver jaskyne Havraník. Foto: I. Balciar



Uzáver Starej bystrianskej jaskyne. Foto: Ľ. Múka



Stabilizovaný vchod do Modrej jaskyne. Foto: P. Staník

STAROSTLIVOSŤ O JASKYNE V ROKU 2024

V roku 2024 Správa slovenských jaskýň zabezpečila uzatvorenie štyroch novoobjavených jaskýň, výmenu dvoch starých uzáverov, rekonštrukciu štyroch uzáverov a oplotenie jednej priepasti. Členovia strážnej služby zameranej na ochranu jaskýň podávali elektronické hlásenia do informačného systému stráže prírody. Počas roku 2024 sme zaevidovali 256 elektronických hlásení a 31 terénnych záznamov v papierovej forme.

Začiatkom roka bola v Tisovskom krase na Suchých doloch uzatvorená novoobjavená **Poľovnícka jaskyňa**, dlhá viac ako 400 m a hlboká 63 m. V Slovenskom raji uzatvorili **Rysiu jaskyňu**, v ktorej sa po 5-ročnom úsilí podarilo jaskyniarom zo Speleoklubu Slovenský raj prekopáť do voľných priestorov a priblížiť sa k systému Stranskej jaskyne.

V spolupráci s Jaskyniarskou skupinou Arachnos sme vyčistili a následne zrekonštruovali a spevnili osadenie pôvodnej časti uzáveru **Mníchovej diery** z roku 1993; doplnený bol o nové mrežové dvere. Jaskyňa sa nachádza v k. ú. Moldavy nad Bodvou a podobne ako Moldavská jaskyňa je známa odnepamäti a dlhé roky bola pravidelne znečisťovaná najmä komunálnym odpadom.

Na prelome rokov bola objavená 660 m dlhá jaskyňa **Jazerná v Korenci** na ľavej strane Demänovskej doliny. V jej podzemí sa nachádza najdlhšie podzemné jazero Demänovských jaskýň, dlhé 90 m. Vchod bol zabezpečený pevným antikorovým uzáverom na špeciálny imbusový kľúč.

V roku 2021 jaskyniari zo Speleo Bratislava zaregistrovali prievan indikujúci jaskynné priestory vo svahu nad starým vchodom jaskyne **Sedmička** v Borinskom krase, po výkopových prácach objavili približne 100 m nových chodieb. Tie po ďalších prieskumných a výkopových prácach pripojili k pôvodným priestorom jaskyne Sedmička. V súčasnosti má jaskyňa dĺžku 1148 m pri denivelácii 71 m. Nový vchod bol zabezpečený uzáverom a stabilizáciou vstupnej šachty. Cieľom uzavretia horného vchodu jaskyne je zabránenie úrazu a tiež devastácii jaskynnej výzdoby okoloidúcimi osobami. Sintrová výzdoba je bohatá najmä na hornom poschodí pod novým vchodom a pozostáva zo stalagmitov, stalaktitov, drapérií aj podlahových sintrov. V jaskyni sa vyskytuje vzácna biota. Našiel sa tu endemický troglobiontný chvostoskok *Protaphorura borinensis*, ktorý je známy iba z tejto



Mníchova diera. Foto: I. Balciar



Jazerná v Korenci. Foto: P. Herich



Studňa na Ragáči. Foto: I. Balciar

jaskyne. V jaskyni sa zdržiava i niekoľko jedincov podkovára malého (*Rhinolophus hipposideros*).

Na jar členovia speleologickej strážnej služby nahlásili poškodenie uzáveru významnej paleontologickej lokality – jaskyne **Tmavá skála** v Plaveckom krase. V spolupráci s miestnymi jaskyniarmi sme uzáver opravili, a to osadením nového uzatváracieho mechanizmu, krytého masívnymi železnými krytmi proti vylomeniu.

Speleologická strážna služba takisto zistila poškodenie uzatváracieho mechanizmu **Beckovskej jaskyne** v Považskom Inovci. Z hľadiska genézy ide o koróznú jaskyňu s predpokladmi a indíciami hypogénneho vývoja, dlhú 150 m a hlbokú 70 m, vytvorenú v tmavosivých gutensteinských vápencoch. Na lokalite sa ďalej vyskytujú unikátne antodity, ktorých pôvod je pravdepodobne spojený s dlhodobým rovnovážnym stavom aerosólu a červeného ílu, pod povrchom ktorého sa nachádzali. Zabezpečili sme výmenu dvoch uzatváracích mechanizmov na špeciálny imbusový kľúč.

Oplotená Studňa na Ragáči

V Cerovej vrchovine sa nachádza hneď vedľa turistického chodníka Gemerské Dechtáre – Hajnáčka. V okolí tejto lokality by mala čoskoro vzniknúť ďalšia turistická trasa. Oplotením priepasti sa zvýšila bezpečnosť okoloidúcich turistov.

V roku 2024 bolo spracovaných a následne aj vyhlásených šesť návrhov na vyhlásenie verejnosti voľne prístupných jaskýň (ďalej len VVPJ). V Nitrianskej hradnej jaskyni, ktorú sme vyčistili v roku 2022, bola za verejnosti voľne prístupnú vyhlásená jej časť v dĺžke 10 m od vchodu (v spolupráci s OÚŽP v Nitre, CHKO Ponitrie a mestom Nitra). Za VVPJ bola vyhlásená Zlepenková jaskyňa v k. ú. Brodzany, Skalné diery 1 a 2 v Slovenskom raji (pri ktorých je vybudovaná jednoduchá ferata), Mojtínska jaskyňa v Mojtínskom krase a Mníchova diera 1 v k. ú. Smolenice (súčasť náučného chodníka Smolenický kras). Spracované boli nové návrhy na vyhlásenie VVPJ: Kozia jaskyňa v k. ú. Dlhá nad Oravou, Jaskyňa v Štokeravskej vápenke v k. ú. Devínska Nová Ves a Jaskyňa pod Černokňazníkom v k. ú. Považská Teplá. Ďalej prebiehal proces vyhlasovania VVPJ – Zbojnícka jaskyňa a Prielezná jaskyňa v Borinskom krase a Lietavská jaskyňa v blízkosti Lietavského hradu.

STAROSTLIVOSŤ O JASKYNE V ROKU 2025

V roku 2025 Správa slovenských jaskýň zabezpečila uzatvorenie dvoch novoobjavených jaskýň a dva uzávery boli zrekonštruované. Členovia strážnej služby zameranej na ochranu jaskýň sa po zrušení elektronického informačného systému stráže prírody vrátili k pôvodnej forme odovzdávania terénnych záznamov. Počas roku 2025 sme zaevidovali 173 terénnych záznamov.

Začiatkom roka sme dostali hlásenie od kolegu zo Správy Chránenej krajiny oblasti Vihorlat, že počas monitoringu zimujúcich netopierov v jaskyniach Ružínskeho krasu zistili, že z **Veľkej ružínskej jaskyne** nám neznámy páchatel' odcudzil fotopascu, ktorá monitorovala archeologickú sondu. Prípado bol nahlásený na Okresné oddelenie Policajného zboru v Rimavskej Sobote a následne odstúpený na Obvodné oddelenie Policajného zboru v Kysaku.

Koncom februára jaskyniari z klubu Adonis-ten zaregistrovali poškodený mrežový uzáver **Moldavskej jaskyne**, ktorý najprv provizórne zabezpečili proti vniknutiu nepovolaných osôb. Následne uzáver zrekonštruovali – opravili poškodený zámok, pánty a ošetrili ho novým náterom. Opravený bol aj poškodený uzáver vo **Veľkej Temnej jaskyni** a v jaskyni **Dupná diera**, ktorá je významnou archeologickou lokalitou; obidve sa nachádzajú v Strážovských vrchoch. Časť **Priepasti medzi Kačkami** (Kortmanka) v Strážovských vrchoch sa zavalila zrútením jednej jej steny. Chodba bola sprístupnená vyťažením závalu a následným zapažením steny pomocou železných vlnitých plechov a železných zábran. Pre úplnú stabilizáciu závalu je nutné vypracovať na príslušnú lokalitu program záchrany. Pevným železným uzáverom sme uzatvorili aj jaskyňu **OMVJ** na planine Nedze v Čachtickom krase, keďže jaskyňa je významnou archeologickou a paleontologickou lokalitou. Na Muránskej planine sme uzatvorili **Jaskyňu v ponore Hrona**, ktorá hydrologicky súvisí s niekoľkými jaskyňami a jej uzáver zabráni zanášaniamu nečistôt do jaskynného systému.

Dňa 28. 5. 2025 sme v spolupráci s Ministerstvom vnútra Slovenskej republiky vykonali plánovanú kontrolu vyznačenia štátnej hranice v jaskyni **Domica**. Jej predmetom bol hraničný kameň s označením XII.7/5A, osadený v roku 1949. Predchádzajúce údržby sa realizovali v rokoch 1996 a 2006. Aktuálne sa vykonala údržba hraničného kameňa, ako aj pôvodných smerových tabúľ na stene jaskyne súvisiacich s hraničným znakom. Následne hraničná komisia skonštatovala, že vyznačenie štátnej hranice je náležité zabezpečené. Plánovanej prehliadky sa zúčastnila delegácia v zložení: Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky – Správa slovenských jaskýň, Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky, Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Hlavné policajné riaditeľstvo Maďarskej republiky – Hraničná stráž, Úrad vlády Maďarskej republiky a tlmočníci.

Dňa 7. 6. 2025 na dne 100,5 m hlbokej priepasti **Zvonivá jama** na Plešiveckej planine Speleoklub Rožňava zistil delostreleckú mínu rumunskej výroby kal. 60 mm s obsahom 90 g trhaviny tritol s medeným zapalovačom, ktorý bol poškodený. Následne sme nález ohlásili polícii a v spolupráci s Obvodným oddelením Policajného zboru v Plešivci zorganizovali akciu zameranú na jej delaboráciu. Dňa 9. 6. sme v spolupráci s Horskou záchrannou službou, ktorá mala v Slovenskom krase naplánované cvičenie, ich akciu presmerovali do Zvoni-



Jaskyňa v ponore Hrona. Foto: Ľ. Múka



Hraničný kameň v jaskyni Domica. Foto: M. Ofúkaný



Delostrelecká mína z priepasti Brázda na Silickej planine. Foto: I. Balciar

vej jamy, priepasť sme vystrojili a zabezpečili spustenie 2 pyrotechnikov z Policajného pohotovostného útvaru z Košíc na dno priepasti. Cieľom bolo muníciu zneškodniť mimo priepasti, ale keďže bola munícia poškodená, pyrotechnik musel vykonať obhliadku a následne určiť postup. Obnažený trhavinu neutralizoval, následne mínu zabalil a po opustení priepasti sme ju vytiahli na povrch. Keďže nebolo bezpečné mínu prevážať, pyrotechnik sa rozhodol zlikvidovať ju priamo na planine. V jednej z vyhlbenín bola delaborovaná. Kvôli bezpečnosti pri tom asistovali aj zástupcovia Pohotovostného policajného útvaru (PPÚ) Košice. Celá akcia sa udiala aj za spolupráce členov Speleoklubu Rožňava. Zúčastnení: Horská záchranná služba – 6 pracovníkov, Speleo Rožňava – 2, PPÚ Košice – 7, SSJ – 1.

O tri týždne neskôr, dňa 28. 6. 2025 počas organizovania jaskyniarskej akcie Cave Day pre maďarských jaskyniarov, bola v prvej šachte priepasti **Brázda** na Silickej planine v hĺbke 55 m zistená delostrelecká mína rumunskej výroby kal. 81 mm s obsahom 473 g trhaviny. Jej delaboráciu sme naplánovali na 2. 7. 2025 a po vystrojení priepasti členmi Horskej záchrannej služby bol pyrotechnik spustený k míne, ktorú následne dopravil na povrch. Rovnako padlo rozhodnutie zneškodniť ju bez prevozu. Pri delaborácii za účasti PPÚ Košice však došlo k zvýšeniu požiarneho rizika, ktoré sa eliminovalo privolaním jednotky Hasičského a záchranného zboru z Rožňavy. Akcie sa zúčastnili: Horská záchranná služba – 6 pracovníkov, Speleo Rožňava – 2, PPÚ Košice – 7, Hasičský a záchranný zbor Rožňava – 6, dobrovoľná stráž prírody – 1, SSJ – 1. Podobný prípad riešili aj jaskyniari z Jaskyniarskej skupiny Aragonit, ktorí našli pri rozoberaní závalu vo vstupných častiach jaskyne Ľudmila (k. ú. Kľačany) približne 5 kg priemyselnej trhaviny. Speleologická stráž prírody nález nahlásila na políciu a následne sa podarilo trhavinu zabezpečiť pyrotechnikom.

V roku 2025 príslušné okresné úrady vyhlásili sedem jaskýň za verejnosti voľne prístupné (VVPJ). Ide o Zbojnícku jaskyňu a Prieleznú jaskyňu (Borinský kras), Lietavskú jaskyňu v blízkosti Lietavského hradu, Kozíu jaskyňu nachádzajúcu sa nad obcou Dlhá nad Oravou, Zrútenú jaskyňu, Závrť pod cestou pri Brestovskej jaskyni a Jaskyňu pod Černokňažníkom v Súľovských vrchoch. Čaká sa na vyhlásenie ďalších dvoch jaskýň za VVPJ, a to Jaskyne v Štokeravskej vápenke (Devínska Kobyla) a Jaskyne pod Černokňažníkom (Manínska tiesňava). Na konci roka bol na Okresný úrad Trenčín podaný návrh na vyhlásenie Beňadikovej jaskyne za VVPJ. Jej vchod sa nachádza v bývalom kláštore na Skalke pri Trenčíne a jaskyňa sa využíva na sakrálné účely.

V roku 2025 sme ďalej vykonali obnovenie a údržbu označenia ochranných pásiem pri Ochtinskej aragonitovej jaskyni, Važeckej jaskyni, Liskovskej jaskyni, Demánovských jaskyniach a Čachtickej jaskyni.

JUBILEÁ V SLOVENSKOM A AGGTELECKOM KRASE

V roku 2025 sa na Slovenský a Aggtelecký kras viazali viaceré významné jubileá. Okrúhlych 30 rokov uplynulo odvtedy, ako sa jaskyne oboch krasových území zapísali do Zoznamu svetového dedičstva UNESCO, pred štyridsiatimi rokmi vznikol Aggtelecký národný park a pred 200 rokmi – roku 1825 Imre Vass objavil prevažnú časť hlavného riečiska jaskyne Baradla.

Pripomienkové slávnosti sa začali dňa 24. septembra 2025 vo vstupnej hale jaskyne Domica. Pozvaných hostí privítal moderátor Miroslav Kudla zo ŠOP SR, Správy slovenských jaskýň. Slávnostné príhovory predniesli štátny tajomník Ministerstva životného prostredia SR Filip Kuffa, poverená riaditeľka Správy slovenských jaskýň Andrea Lešová a generálny riaditeľ Štátnej ochrany prírody SR Roman Fajth. Z jeho rúk si prevzali ďakovné listy tí, ktorí pred tridsiatimi rokmi mali významný podiel na príprave bilaterálneho nominačného projektu svetového dedičstva. Medzi nimi bol aj Jozef Klinda, autor myšlienky úspešného projektu, ktorý autenticky zaspomínal na obdobie prípravy a procesu schvaľovania projektu. Po pristúpení Československej federatívnej republiky k Dohovoru o svetovom dedičstve v roku 1991 sa pôvodný návrh s Tatranským národným parkom a Slovenským rajom zredukoval na jaskyne Slovenského a Aggteleckého krasu. Aj tento projekt sa musel viackrát prepracovať. Jozefovi Klindovi na slovenskej a Jánosovi Tardymu na maďarskej strane sa podarilo zmobilizovať odborných pracovníkov, ako Pavla Bellu, Mikuláša Rozložníka, Gábora Barossa, Kingu Székely, Katalin Bolnerovú Takácsovú a ďalších, ktorí dotiahli celý nominačný projekt k úspechu na zasadnutí Výboru svetového dedičstva (WHC) v Berlíne v decembri 1995. O päť rokov neskôr sa do zoznamu svetového dedičstva dostala aj Dobšinská ľadová jaskyňa, na čom mali z odbornej stránky hlavný podiel Ján Tulis a Ladislav Novotný. Bolo to obdo-

bie, keď sa úspešne spojilo úsilie odborných pracovníkov so zámermi ministerstva.

Podujatie pokračovalo prehliadkou jaskyne Domica a záverečnou recepciou. Medzi hosťami nechýbali zástupcovia štátnej správy, odborných organizácií, Aggteleckého národného parku a dobrovoľných jaskyniarov.

Na druhý deň sa podujatie presunulo do Coburgovského kaštieľa v maďarskom mestečku Edelény, kde Kinga Székely predstavila svoju novú knihu o živote Imreho (Imricha) Vassa. Prítomným priblížila okolnosti objavy, ako sa mu pred dvesto rokmi podarilo preklznúť cez úžinu zv. Železná brána (Vaskapu) a preniknúť do riečiska v dĺžke 4,5 km až po Sieň obrov (Óriások terme). Následne premietali hraný film o tomto objave v réžii Sarolt Borzsákovej a Szilárda Drexlera.

V dňoch 26. a 27. septembra podujatie pokračovalo vedeckou konferenciou v polnom stane postavenom na lúke pred vstupným areálom jaskyne Baradla. Konferenciu

venovali Imremu Vassovi a prezentácii výsledkov výskumu jaskynného systému Domica-Baradla, najmä z posledných rokov. Úvodný príhovor mal riaditeľ Aggteleckého národného parku Balázs Veress, potom pozdrav za ŠOP SR, Správu slovenských jaskýň predniesol Pavel Bella, za Medzinárodnú speleologickú úniu (UIS) Nadja Zupan Hajna a za Medzinárodnú asociáciu sprístupnených jaskýň (ISCA) Friedrich Oedl. Prvé bloky patrili referátom o Imrem Vassovi. Jeho život zrekapitulovala K. Székely. Narodil sa roku 1795 v Rožňave, oženil sa roku 1821 v Rimavskej Sobote, takmer dve desaťročia pracoval ako zememerač Gemersko-malohontskej župy. Po objave prevažnej časti riečiska Baradly vyhotovil umelecky ilustrovanú mapu a v roku 1831 vydal podrobný opis jaskyne s významnými geologickými a hydrologickými poznatkami (v maďarčine a nemčine). Zomrel v roku 1863 v Sárospataku v Maďarsku. Ďalšie prednášky sa venovali jeho vynálezu nehorľavej strechy (G. D.



Príhovor J. Klindu. Foto: P. Staník



Slávnostné zhromaždenie v jaskyni Domica. Foto: P. Staník



Vedecká konferencia Baradla 200. Foto: P. Bella

Nagy), geologickým opisom Baradly (K. Bolnerová Takácsová) a identifikácií opísaných lokalít v jeho mape Baradly (S. Borzsáková). Zaujímavé bolo aj porovnanie jeho mapy so súčasnými meraniami (G. Szunyogh).

V ďalšom bloku odznali referáty o úlohe baktérií v tvorbe sintra v Baradle (Sz. Leél-Őssy a kol.), o vývoji jaskynného systému Domica-Baradla na základe geofyzikálnych výskumov a datovania veku pochovania alochtónnych fluvialných sedimentov pomocou kozmogénnych nuklidov (P. Bella a kol.) a o vývoji Baradly a jeho vodozbernej oblasti (M. Veress). Najnovšie výsledky datovania fluvialných se-

dimentov z jaskýň Baradla a Béke sme dostali len niekoľko dní pred konferenciou, vďaka spolupráci s R. Braucherom a M. Šujanom, špecialistami na datovanie pomocou kozmogénnych nuklidov.

Posledný blok bol venovaný geológii jaskyne Baradla. Odznali prednášky o stratigrafii vrstvomého sledu jaskyne (O. Piros), výsledkoch geologických výskumov v rokoch 2002 – 2005 (F. Velledits a kol.), tektonike jaskyne Baradla (L. Gaál), ako aj o výskumoch v spodných úrovniach jaskyne (Zs. Polacsek a J. Ba) a výskyte kalciumfosfátových minerálov v Domici a Baradle (E. Kereskényi a kol.).

Druhý deň konferencie bol venovaný hydrológii, klimatológii a biológii. Úvodná prednáška Gy. Czuppona a kol. sa týkala problematiky záznamu paleoklimatických javov v sintrových útvaroch, za ňou nasledovala prednáška P. Grubera a kol. (vrátane D. Haviarovej a L. Gaála) o výsledkoch stopovacích skúšok vo vodozbernej oblasti jaskynného systému Domica-Baradla. Zaujímavé boli aj referáty o hydrodynamickom modelovaní vo vodozbernej oblasti jaskyne Baradla (S. Jákfalvy a kol.) a hydrogeochemickom charaktere krasových vôd Baradly (E. Naumov a J. Kovács).

V biospeleologickej sekcii odznali prednášky o minulosti a prítomnosti biologického výskumu jaskynného systému Domica-Baradla (G. Balázs a L. Kováč), o možnostiach a hraniciach výskumov pomocou DNA (G. Balázs a A. Biró), ako aj o mikrobiálnom znečistení jaskyne Baradla, ktoré sa do podzemného riečiska dostalo v roku 2018 následkom prudkých lejakov z popraskaného dna vyschnutého krasového jazera v Aggteleku (P. Gruber, identifikáciu baktérií a mikroskopických húb vykonal B. Radochová-Gaálová a A. Nováková).

Na záver konferencie čakali účastníkov nielen slávnostná recepcia, ale aj milé prekvapenie. Zástupca riaditeľa Aggteleckého národného parku Péter Gruber zagratuloval 80-ročnej Kinge Székely dvomi tortami. Na jednu tortu umiestnili symbol svetového dedičstva a na druhú mapu Baradly.

Podujatie vhodne reprezentovalo mnohoročnú úspešnú spoluprácu Správy slovenských jaskýň a Aggteleckého národného parku, vďaka ktorej sa získali významné poznatky o dnes už 31,8 km dlhom jaskynnom systéme Domica-Baradla.

Ludovít Gaál, Pavel Bella

59. POĽSKÉ SPELEOLOGICKÉ SYMPÓZIUM

V dňoch 16. – 19. 10. 2025 sa v Kościelisku na severnom úpätí Tatier konalo 59. sympóziu speleologickej sekcie Poľskej Kopernikovej spoločnosti prírodovedcov, ktorého spoluorganizátormi boli Ústav vied o Zemi Sliezkej univerzity v Katoviciach, Ústav geologických vied Jagelovskej univerzity v Krakove,

Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky – Správa slovenských jaskýň a tamojší Tatranský národný park so správou v Zakopanom.

Sympóziu sa začalo vo štvrtok 16. 10. 2025 popoludní referátmi o paleolitických ľuďoch v tatranských jaskyniach a ich okolí a o ľadových jaskyniach v Tatrách. Predtým

si účastníci prezreli nové vzdelávacie zariadenie Tatranského národného parku **Tatranský archív planéty Zem** pri ústí Kościeliskej doliny. Celý nasledujúci deň bol venovaný referátom a posterovým prezentáciám. Zaoberali sa problematikou jaskýň Tatier a Nízkych Tatier, izotopovými analýzami, kryštálmi



Prednášková časť sympózia. Foto: P. Bella



Exkurzia v Demänovskej jaskyni slobody, výklad na Prízemí. Foto: P. Bella

a geochronológiou jaskýň, speleobiológiou a archeológiou, ako aj ďalšími speleologickými zaujímavosťami. Za Správu slovenských jaskýň sme prezentovali geochronológiu vývoja jaskyne Okno v Demänovskej doline na základe datovania alochtónnych štrkov pomocou kozmogénnych nuklidov, magne- tostratigrafie jemnozrnných sedimentov a rádioizotopového datovania sintrov (P. Bella a kol.), ako aj litologické pomery materských hornín jaskýň Demänovskej doliny (J. Littva). Slovenských jaskýň sa ďalej týkali referáty o Jaskyni pod Veľkou kopou v Západných Tatrách, histórii Demänovskej jaskyne slobody a mikrotextúrnem ryhovaní zrn kremeňa v sedimentoch na Prízemí Demänovskej jaskyne slobody, ktoré poukazuje na stred- nopleistocénne zaľadnenie v Demänovskej doline. Prezentovali sa aj nové výsledky da- tovania veku pochovania alochtónnych sedi- mentov pomocou kozmogénnych nuklidov

z jaskýň poľských Tatier, ktoré možno využiť pri súbornej rekonštrukcii geochronológie jaskynných úrovní v celých Západných Kar- patoch.

V sobotu 18. 10. 2025 sa za účasti 60 osôb uskutočnila celodenná exkurzia do jaskýň Demänovskej doliny, počas ktorej sa zrekapitulovali a priblížili hlavné výsledky 30-ročnej vedeckej spolupráce medzi slo- venskými a poľskými odborníkmi od roku 1995 (jej základy položili J. Głazek, P. Bella, M. Gradziński a H. Hercman). Odvtedy pri- niesla množstvo nových poznatkov nielen o vývoji jaskýň v Demänovskej doline, ale aj o stratigrafii a paleoklimatických záznamoch v jaskynných sedimentoch či seizmotektoni- ke zaznamenatej v podzemných priestoroch. Demänovské jaskyne, ktoré sú známe najmä jaskynnými úrovňami a vzácnymi sintrovými dekoráciami, sa z celosvetového hľadiska za- radili medzi lokality s najväčšou početnosťou

datovaných vzoriek sintrov metódami U-se- ries. Dosiahnuté výsledky umožnili presnej- šie rekonštruovať vývoj nášho najdlhšieho jaskynného systému, prevažne jeho nižšie položených vývojových úrovní. Nadväzujúc na vedecké štúdie A. Droppu zo 60. a 70. rokov minulého storočia sa nové poznatky o Demänovských jaskyniach prezentovali vo viacerých zahraničných vedeckých impakto- vaných časopisoch.

V nedeľu 19. 10. 2025 program sympózia zavŕšila exkurzia do Bystrej doliny v poľských Tatrách, na ktorej sa priblížil vplyv zaľadnenia na vývoj tamojšieho krasu a jaskýň.

Exkurzný sprievodca a abstrakty referátov z tohto úspešného a precízne pripraveného sympózia sú uverejnené v samostatnom zbor- níku (Materiály 59. Sympozium Speleologic- znego, Kościelisko 2025), ktorý zostavili J. Szczygieł a D. Siemek.

Pavel Bella, Juraj Littva

NÁVŠTEVNOSŤ SPRÍSTUPNENÝCH JASKÝŇ NA SLOVENSKU V ROKU 2024

Jaskyne v prevádzke ŠOP SR, Správy slovenských jaskýň	Mesiac												SPOLU
	Január	Február	Marec	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október	November	December	
Belianska jaskyňa	4 187	8 771	5 060	4 407	12 339	16 507	23 832	24 412	9 437	6 933	2 366	1 140	119 391
Brestovská jaskyňa	0	960	869	326	1 106	1 211	2 157	2 288	930	685	0	0	10 532
Bystrianska jaskyňa	1 032	1 784	1 769	1 056	2 439	3 586	5 772	7 042	1 607	1 779	0	0	27 866
Demänovská jaskyňa slobody	4 318	7 634	4 941	2 764	8 297	9 680	18 861	23 855	6 047	6 077	2 179	800	95 453
Demänovská ľadová jaskyňa	0	0	0	0	1 778	4 177	10 664	13 324	1 422	0	0	0	31 365
Dobšinská ľadová jaskyňa	0	0	0	0	3 984	7 815	16 316	20 866	2 707	0	0	0	51 688
Domica	0	465	1 034	1 038	2 668	2 720	5 987	7 100	1 014	833	359	0	23 218
Driny	0	0	0	1 644	3 769	7 259	7 475	8 507	1 682	2 001	0	0	32 337
Gombasecká jaskyňa	0	0	0	1 022	2 450	2 382	3 687	4 063	872	601	0	0	15 068
Harmanecká jaskyňa	0	0	0	0	1 409	2 024	3 907	4 726	597	1 146	0	0	13 809
Jasovská jaskyňa	0	0	0	820	2 019	3 454	3 847	3 979	811	1 033	0	0	15 963
Ochtinská aragonitová jaskyňa	0	0	0	800	2 838	4 287	6 006	7 219	1 524	1 744	0	0	24 418
Važecká jaskyňa	0	0	1 015	598	1 509	2 334	3 380	4 158	1 036	880	747	0	15 657
SPOLU	9 537	19 614	14 688	14 475	46 605	67 436	111 882	131 539	29 686	23 712	5 651	1 940	476 765

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	2 579	4 000	7 348	11 204	18 941	31 083	25 950	30 461	8 535	7 306	4 924	3 896	156 227
Jaskyňa mŕtvych netopierov	0	0	61	19	177	170	356	507	119	17	62	20	1 508
Malá Stanišovská jaskyňa	338	705	756	450	1 163	1 096	1 887	2 276	519	531		218	9 939
Zlá diera	0	0	0	74	187	156	278	395	47	78	0	0	1 215
SPOLU	2 917	4 705	8 165	11 747	20 468	32 505	28 471	33 639	9 220	7 932	4 986	4 134	168 889

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

Ľubica Nudziková, Alena Laurincová

KONFERENCIA O SPRÍSTUPNENÝCH JASKYNIACH NA SLOVENSKU

Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky (ŠOP SR) – Odbor komunikácie a propagácie a Správa slovenských jaskýň zorganizovali dňa 5. 11. 2025 konferenciu venovanú sprístupneným jaskyniam na Slovensku. Konala sa v Cikkerovej sieni Radnice mesta Banská Bystrica pri príležitosti 55. výročia založenia Správy slovenských jaskýň, 30. výročia zápisu jaskýň Slovenského a Aggteleckého krasu do Zoznamu svetového prírodného dedičstva a 25. výročia vzniku Štátnej ochrany prírody Slovenskej republiky.

Konferencia sa začala úvodnými príhovormi Ing. Romana Fajtha, generálneho riaditeľa ŠOP SR, a Ing. Andrey Lešovej, PhD., poverenej riaditeľky sekcie ochrany prírody a krajiny a riadením Správy slovenských jaskýň. Zdôraznili, že jaskyne patria medzi naše najvzácnejšie prírodné javy, a preto si vyžadujú dôslednú ochranu a starostlivosť založenú na odborných podkladoch. Súčasne poukázali na potrebu hľadania rovnováhy medzi ochranou, sprístupňovaním a prevádzkovaním jaskýň ako náučných lokalít, aby sa zachovali aj pre nasledujúce generácie. V rámci tejto spoločensky prospešnej činnosti vyzdvihli význam širokej vedeckej a odbornej spolupráce, ako aj medzinárodných kontaktov a prepojení, ktoré pomáhajú Slovensku držať krok s najnovšími trendmi vo výskume, ochrane i prevádzke jaskýň.

Prvý blok prezentácií sa najskôr upriamil na zákonitosti vzniku a vývoja krasu, základné typy krasu a jaskýň na Slovensku a podal základný prehľad našich jaskýň sprístupnených pre verejnosť (P. Bella, P. Gažík). Následne sa sprístupnené jaskyne predstavili ako prírodné atrakcie priťahujúce záujem návštevníkov a širokej verejnosti (J. Littva, P. Bella, Z. Višňovská, M. Kudla). Prezentoval sa vznik a sfarbenie jedinečnej kalcitovej výzdoby i vzácnych aragonitových útvarov, podmienky zaťaženia, zaťaženie a ťažové útvary v jaskyniach, jedinečné sedimentárne záznamy („jaskynné archívy“) vypovedajúce o vývoji našej prírody, jaskynné náleziská prehistorickej fauny, ako aj zachované „stopy“ pravekého človeka v jaskyniach. Ďalej sa zdôraznil a objasnil význam jaskýň v turizme (M. Kudla, L. Nudziková, P. Gažík). Priblížili sa počiatky turistického záujmu o jaskyne a prvé sprístupnené jaskyne, ako aj význam jaskýň v období prvotného rozvoja cestovného ruchu na terajšom území Slovenska. V nadväznosti na dlhodobý vývoj návštevnosti našich sprístupnených jaskýň sa detailnejšie analyzovala ich návštevnosť od roku 1970. Zhodnotili sa posledné modernizácie technického vybavenia sprístupnených jaskýň, ktoré zvyšujú nielen bezpečnosť návštevníkov, ale aj efektívnosť prevádzky a ich udržiavanie je šetrnejšie voči jaskynnému prostrediu.

Po prestávke program konferencie pokračoval druhým blokom prezentácií, ktoré sa zaoberali problematikou ochrany jaskýň na Slovensku (D. Haviarová, V. Papáč, P. Bella). Objasnila sa vysoká zraniteľnosť a ohrozenie jaskýň, spolu s hlavnými zásadami ich ochrany. Uviedli sa najčastejšie prípady znečisťovania jaskýň a riziká poškodzovania kvapľovej výzdoby, paleontologických a archeologických nálezísk. Zdôvodnili sa potreby monitorovania vôd a mikroklimy v jaskyniach s praktickými aplikáciami výsledkov. Nechýbala ani charakteristika výskytu vzácnych živočíchov v jaskyniach, poukazujúc na komplexnosť ochrany jaskynných biotopov. Z dlhoročných skúseností a praktických opatrení vyplýva nevyhnutnosť sprístupňovania a prevádzkovania jaskýň na základe vedeckých

Popoludňajší program konferencie pokračoval prednáškou o jaskyniach svetového prírodného dedičstva na Slovensku (P. Bella, Ľ. Gaál). Okrem pripomenutia 30. výročia zápisu jaskýň Slovenského krasu do zoznamu svetového prírodného dedičstva sa priblížili unikátne hodnoty týchto jaskýň vrátane viacerých poznatkov z posledných výskumov. Prezentovali sa aj hlavné činnosti súvisiace s ich ochranou a starostlivosťou o jaskyne svetového dedičstva.

Program konferencie sa zavŕšil panelovou diskusiou, ktorej sa zúčastnil Ing. Štefan Kysel z Ministerstva cestovného ruchu a športu Slovenskej republiky, prof. RNDr. Ľubomír Kováč, PhD., z Prírodovedeckej fakulty Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Ing. Lenka Vargová Jurková, výkonná riaditeľka Košice Región Turizmus, Ing. Jakub Gábriš zo Správy jaskýň Českej republiky a doc. RNDr. Pavel Bella, PhD., zo ŠOP SR, Správy slovenských jaskýň. Diskutujúci sa zhodli na potrebe udržateľného využívania sprístupnených jaskýň, čo závisí od optimalizácie a udržiavania rovnováhy medzi ich ochranou, technickým zabezpečením prevádzky a primeraným rozvojom cestovného ruchu. Diskusia sa hlbšie týkala stavu zaťaženia jaskýň v čase klimatickej zmeny, ochrany a bezpečnosti prevádzky sprístupnených jaskýň, posilania jaskýň v rozvoji cestovného ruchu, využitia jaskýň v environmentálnej výchove, ako aj prezentácie slovenských jaskýň v zahraničí a zastúpenia slovenského jaskyniarstva v medzinárodných speleologických organizáciách.

Na konferencii bolo prítomných 65 účastníkov vrátane zástupcov organizácií cestovného ruchu a univerzít zabezpečujúcich študijné programy zamerané na cestovný ruch a geoturizmus (Ekonomická fakulta a Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, Fakulta BERG Technickej univerzity v Košiciach, Fakulta humanitných a prírodných vied Prešovskej univerzity v Prešove). Konferencia preukázala, že slovenské jaskyne sú neoddeliteľnou súčasťou nášho prírodného dedičstva, mimoriadne dôležitými objektmi vedeckého výskumu, dôležitými náučnými lokalitami – „múzeami v prírode“ a súčasne veľmi atraktívnymi destináciami cestovného ruchu. Ich ochrana, sprístupňovanie a prevádzkovanie si pritom vyžadujú širokú vedeckú a odbornú spoluprácu so zapojením regionálnej a miestnej samosprávy.

Z konferencie sa pripravila reportáž do populárno-náučnej relácie Halali o lesníctve, poľovníctve a ochrane prírody, ktorú odvysielala Slovenská televízia dňa 15. 11. 2025 (s dvoma reprízami 16. a 17. 11. 2025).

Pavel Bella, Miroslav Kudla



Konferencia o sprístupnených jaskyniach v Banskej Bystrici.
Foto: P. Bella

a odborných poznatkov. Konštatovala sa potreba zachovania integrovaného prístupu ochrany a prevádzky sprístupnených jaskýň na Slovensku, ktorý sa v našich podmienkach osvedčil polstoročnou praxou. Nasledovala prezentácia štrnástich sprístupnených jaskýň v Českej republike vrátane problematiky ich ochrany a prevádzky z hľadiska banského zákona a ďalších právnych predpisov (J. Gábriš). Pred obedňajšou prestávkou sa poskytl rozhovor pre médiá.

ŽIVÉ SVETLÁ V NOVOZÉLANDSKÝCH JASKYNIACH: BIOLUMINISCENCIA V PODZEMÍ

Sprístupnené jaskyne Waitomo Glowworm Cave a Mangawhikau Glowworm Cave očarujú návštevníkov fascinujúcou „podzemnou hviezdou oblohou“ vytváranou živým svietením, čím sa stali veľmi vyhľadávanými turistickými atrakciami. Tento úchvatný svetelný prírodný úkaz, ojedinelý z celosvetového hľadiska, biochemicky spôsobujú tisíce jedincov bedlobytky novozélandskej (*Arachnocampa luminosa*), ktoré žiaria a osvetľujú stropy jaskýň. Preto sa takéto jaskyne zvyknú nazývať ako „jaskyne svetlušiek“ (Glowworm caves).

Vychýrené jaskyne Waitomo Caves sa nachádzajú v regióne Waikato (King Country), v centrálnej časti Severného ostrova Nového Zélandu, 10 km na SSZ od mestčka Te Kūiti a 60 km na JJZ od Hamiltonu. V rámci širšej geografickej polohy ležia cca 150 km na JJV od Aucklandu, najväčšej metropolitnej oblasti na Novom Zélande, a cca 100 km ZJZ od Rotoruy, známej okolitými geotermálnymi javmi. Názov Waitomo pochádza z pôvodného jazyka Maorov, ktorý je na Novom Zélande jedným z úradných jazykov (spolu s angličtinou) – zo slov *wai* (voda) a *tomo* (diera, šachta).

V krasovej oblasti Waitomo, ktorú budujú vrchnooligocénne a spodnomiocénne vápence, je preskúmaných viac ako 300 jaskýň. Najznámejšia jaskyňa Waitomo Glowworm Cave je dlhá približne 1,3 km. Prestavuje sústavu poprepájaných chodieb a domov, ktorú postupne v dvoch výškových úrovniach vytvorili ponorné vody potoka Waitomo. Staršia horná úroveň je suchá, mladšou spodnou úrovňou tečie ponorný tok, kde miestami vytvára sústavu jazier. Obe úrovne sú prepojené priepasťou hlbokou 16 m. Dolný vchod do jaskyne s ponorom potoka Waitomo ukázal v roku 1887 maorský náčelník Tane Tinorau anglickému prieskumníkovi Fredovi Mecemu. Následne jaskyňu spolu preskúmali. Horný vchod bol prekopaný v roku 1888. Pre turistov je jaskyňa otvorená už od roku 1889, keď T. Tinorau a jeho manželka začali organizovať vstupy. Elektricky osvetlená je od roku 1926. Jaskyňa je súčasťou podzemného systému potoka Waitomo, do ktorého ďalej patria jaskyne Ruakuri (dlhá viac ako 3,9 km), Lucky Strike a Tumutumu. Okrem jaskyne Waitomo Glowworm Cave sú v tejto oblasti sprístupnené aj jaskyne Ruakuri (Cave of Dogs), Aranui, Mangawhikau Glowworm Cave a Spirit Cave (Te Ana o te Atua, Cave of the Spirit).

Návštevníci môžu vidieť živé svetlá nielen v známejšej jaskyni Waitomo Glowworm Cave (Starry Night Underground), ale aj v prietokovej jaskyni Mangawhikau Glowworm Cave. Tá leží 5,5 km na JJZ od Waitomo Glowworm Cave a 7,5 km na ZSZ od Te Kūiti. Dosahuje dĺžku približne 10 km, úplnejšie bola preskúmaná až v roku 1978. Jej vchod predstavuje ponor v závere slepej doliny. Za vchodom nasleduje horizontálna riečna chodba, chodník je vyvýšený nad vodou. Návštevníci ďalej pre-

chádzajú krátkou suchou bočnou chodbou. Chodník bol dokončený v decembri 2004, jeho predĺženie za poslednou lávkou dokončili až v roku 2010. V úseku jaskyne so svetlúškami nie je vybudovaný chodník ani elektrické osvetlenie. Účastníci nastúpia do nafukovacích člnov a pokojne sa plavia po hladine nádrže prehradenej na podzemnom riečisku. Štyri lávky a dočasnú priehradu vybudovali v rokoch 1999 až 2002. Terajšia hať s vypúšťacím mechanizmom a rybím priechodom

sa využíva od decembra 2012. Názov jaskyne Mangawhikau je odvodený od pôvodných maorských slov *manga* (potok), *whiti* (svietiť) a *kau* (brodiť sa). Túto jaskyňu so svetlúškami si BBC (Natural History Unit) vybrala na natáčanie časti prírodopisného dokumentárneho seriálu Davida Attenborougha pod názvom *Life in the Undergrowth*, ktorý sa prvýkrát vysiela v novembri 2005 (v jaskyni filmovali v januári 2005). Pred sprístupnením sa jaskyňa využívala na jaskynné trekkingové výlety (pod názvom Mason's Mangawhikau Glowworm Cave).

Očarujúce prírodné svetlo v týchto i niektorých ďalších novozélandských jaskyniach spôsobuje bioluminiscencia – vyžarovanie viditeľného svetla živými organizmami. Svetelné žiarenie vzniká ako vedľajší produkt chemickej reakcie – oxidácie luciferínu (nízkomolekulových biologických pigmentov) za katalýzy enzýmu luciferáza. Pritom vzniká oxyluciferín v excitovanom stave, ktorý po prechode do základného stavu uvoľní energiu vo forme fotónov (svetla). Pritom sa vyžaruje 96 % svetla a iba 4 % tepla (studené svetlo).

Svietielkujúcimi živými organizmami v tamojších jaskyniach sú „svietiace červy“ – larvy endemické bedlobytke novozélandskej (*Arachnocampa luminosa*), ktorá je druhom dvojkrídlového hmyzu z rodu *Arachnocampa* a čelade bedlobytkovité (Keroplatidae) zahrnujúcej mušky známe ako hubové komáre. Dospelí jedinci *Arachnocampa luminosa* vzhľadom i veľkosťou pripomínajú komáre (príbuzné sú hubovým komárom). Tento druh bol objavený v roku 1871, ako dvojkrídlový hmyz bol oficiálne opísaný v roku 1890. Novozélandské a východoaustrálske svetlušky z rodu *Arachnocampa* žijú nielen v jaskyniach, ale aj v roklinách a vlhkých tienistých lesoch (s vysokou humiditou).



Vchod do jaskyne Mangawhikau Glowworm Cave s ponorom v závere slepej doliny. Foto: M. Bella



Mangawhikau Glowworm Cave, podzemná plavba. Foto: poskytnuté spoločnosťou Spellbound Ltd., Agreatbackyard.co.nz



Mangawhitikau Glowworm Cave, podzemna plavba pod „nočnou hviezdou oblohou“. Foto: poskytnuté spoločnosťou Spellbound Ltd., Agreatbackyard.co.nz

Jeden z najzreteľnejších rozdielov medzi novozélandským druhom *Arachnocampa luminosa* a austrálskym druhom je, že kukly *A. luminosa* visia vertikálne z jedného vlákna, zatiaľ čo všetky austrálske druhy visia vodorovne z predného a zadného závitú.

Ako svetlušky (svietivky) sa súhrnne označujú bioluminiscenčné larvy rozličných druhov hmyzu. Ako prvé boli opísané svetlušky z čeľade Lampyridae, ktorá zahŕňa svietivkovité chrobáky. Hoci novozélandské a východoaustrálske svetlušky sú larvy muchy z čeľade Keroplatidae, svietikujú rovnako ako larvy chrobákov z čeľadi Lampyridae a Phenogodidae. Evolučne sú však vzdialené od iných bioluminiscenčných tvorov. Bioluminiscenciu *Arachnocampa luminosa* produkuje luciferáza podobná iným svetluškám, avšak luciferín je úplne odlišný (luciferínový substrát enzýmu je produkovaný z kyseliny xanturénovej a tyrozínu). Luciferázy sa môžu vyvinúť nezávisle z rovnakej rodiny enzýmov a produkovať svetlo pomocou štruktúrne odlišných luciferínov.

Svetlušky *Arachnocampa luminosa* majú bioluminiscenčné chvostíky, ktorými v tme vyžarujú modrozelené svetlo na prilákanie hmyzu ako koristi. Ich maorský názov je *titiwai*, odvodený od slov *titi* (hviezdy, hviezdne svetlo) a *wai* (voda). Najlepšie svietia larvy – čím sú hladnejšie, svietia viac. Svietia aj dospelé jedince, avšak v porovnaní s larvami je ich svet-

lo nevýrazné. Navyše dospelé jedince žijú iba niekoľko dní, počas ktorých neprijímajú potravu, iba sa pária a samičky znášajú vajíčka.

Jedna svetluška dokáže naklášať asi 130 vajíčok, z ktorých sa po troch týždňoch vyliahnú larvy veľké 3 až 5 mm. V larválnom štádiu svetluška žije najdlhšie, v závislosti od dostupnosti potravy 6 až 12 mesiacov. Pritom vyrastie do veľkosti asi 3 cm. Larvy *Arachnocampa luminosa* majú mäkké telo, iba ich hlavový pancier je pevný. Počas larválneho štádia vyrastú v kukli jedince. Následne 1 až 2 týždne visia na krátkom vlákne, ktoré samy vytvorili. Dospelé svetlušky veľmi zle lietajú, preto sa zväčša zdržujú na jednom mieste (v jednej jaskyni) a tvoria krdle. Partnera si samci i samice hľadajú pomocou luminiscencie. Samica nakladie vajíčka, z ktorých sa opäť vyliahnú larvy.

Larvy novozélandských svetlušiek si budujú slizovú trubicu (hodvábne hniezdo), ktorá horizontálne visí spod skalného stropu a je pripevnená sieťou slizových vlákien (nití). Z upevňovacích vlákien visia dlhšie vlákna, na ktorých sú rovnomerne rozmiestnené lepkavé kvapôčky slizu slúžiace ako pasca na potravu. Zo svojho hniezda pod stropom larvy spustia až 70 vlákien obalených lepkavým

slizom, dlhých 30 až 40 cm. Niektoré vlákna môžu presahovať pol metra. Viacero visiacich vlákien vytvára efekt opony. Larvy svetlušiek novozélandských lákajú korisť svojím modrozeleným svetlom (ostatné svetlušky svietia iba preto, aby prilákali partnera ku kopulácii). Keď sa jedinec, prilákaný svetlom, dostane do blízkosti larvy, zamotá sa do visiacich vlákien a prilepí na lepkavé kvapôčky. Stane sa jej korisťou. Hlavnou korisťou bedlobytky novozélandskej sú nehryzávé pakomáre z čeľade Chironomidae, najmä *Anatopynia debilis*, ktorého larvy žijú v bahne a vo vodných tokoch vnútri jaskyne. Vo veľkých populáciách môže dôjsť ku kanibalizmu, keď larva často uloví a zožerie aj dospelého jedinca vlastného druhu. Kvôli spúšťaniu slizových vlákien sa novozélandské svetlušky nazývajú aj ako „pavúcie červy“.

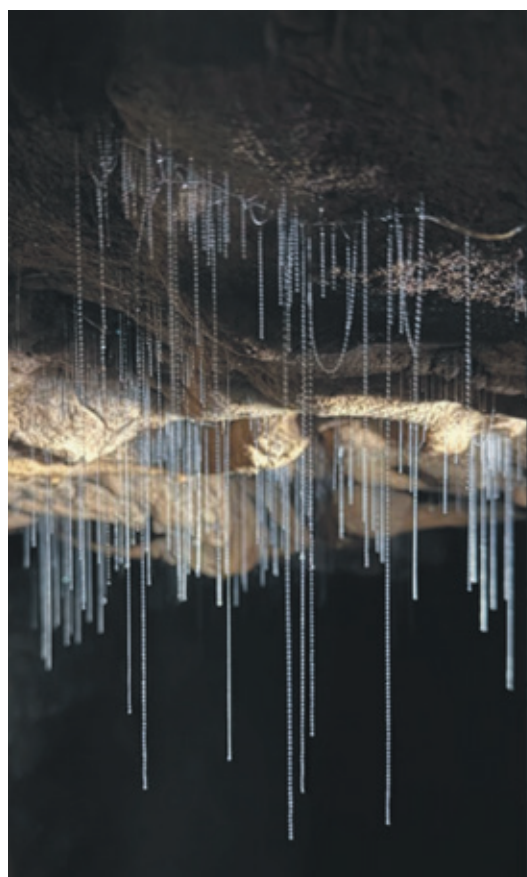
Larvy svetlušiek visiace zo stropov jaskýň vyzerajú ako súhvezdia. Tým tmavé podzemné priestory nadobúdajú úchvatné scenérie, najmä v teplejších mesiacoch (november až marec), keď je zvýšený výskyt hmyzu. Vďaka vlhkému povrchu sú stropy jaskýň pre larvy ideálne. Združujú sa na nich v skupinách tvorených stovkami jedincov. Preto sa stropy a previsnuté steny jaskýň nesmú narušovať. Turisti sa v tejto časti jaskyne pohybujú len na lodkách, na strop jaskyne nedosiahnu. Bedlobytka žijúca v jaskyni má málo predátorov, najväčšie nebezpečenstvo hrozí z narušenia prírodného prostredia ľuďmi.

Jaskyňa Glowworm Cave musela byť od apríla do júla 1979 uzavretá, pretože počet svetlušiek sa po výmene horných vstupných dverí v roku 1975 výrazne znížil. Keďže mreža vo dverách umožnila prúdenie vzduchu cez jaskyňu, svetlušky sa vysušovali. Zvýšená teplota vzduchu podporovala rast huby ničiacej svetlušky. Do jaskyne sa museli priniesť svetlušky z iných jaskýň, aby sa zvýšila ich populácia. Potom jaskyňu znovu otvorili pre turistov. Svetlušky v jaskyni Glowworm Cave sú prísne strážené vedeckou poradnou skupinou. Automatizované zariadenie neustále monitoruje kvalitu ovzdušia, najmä obsah oxidu uhličitého, teplotu hornín a vzduchu, ako aj vlhkosť vzduchu. Jaskyňa sa prevádzkuje na základe výsledkov meraní, vrátane sledovania prúdenia vzduchu a limitovania denného počtu návštevníkov.

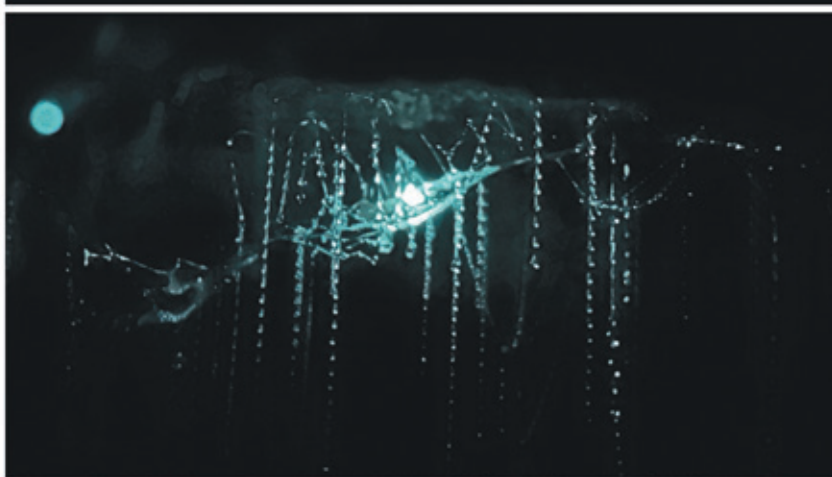
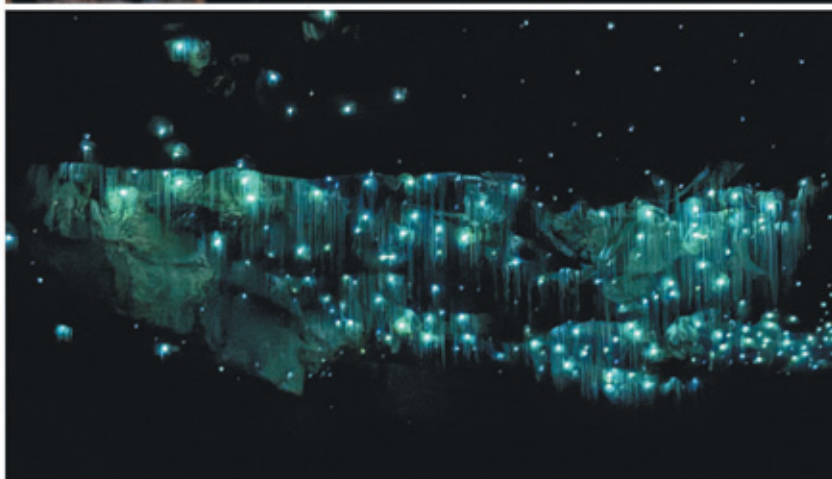
Populácie svetlušiek sa od roku 2011 sledujú fotografickým monitorovaním (zábery sa robia s odstupom 30 minút). Vrchol denného cyklu intenzity bioluminiscencie sa sezónne mení medzi 17:00 (na začiatku jari) a 20:00 (v lete), čo by mohlo súvisieť so zmenami



Larva *Arachnocampa luminosa*. Foto: poskytnuté spoločnosťou Spellbound Ltd.



Mangawhitikau Glowworm Cave
Spellbound Ltd.



Arachnocampa luminosa

v zložení alebo hustote hmyzu, ktorý je korisťou svetlušiek. Počet žiariacich lariev a celková intenzita žiarenia je najnižšia v zime, na jar sa zvyšuje, najvyššia je počas leta. Letný vrchol nepozorovali každoročne, prejavuje známky 3- až 4-ročného cyklu nad rámec ročnej periodicity.

„Podzemnú hviezdnu oblohu“ návštevníci najlepšie vidia na „tichých“ plavbách loďkami, pretože svetlušky pri pociete ohrozenia bioluminiscenciu okamžite zastavia. Pri každom inom svetle larva zhasne. Pri osvetlení jaskyne baterkou svetlušky môžu v podzemí dočasne nesvietelkovať, čo trvá približne 15 minút. Preto návštevníkov sprievádzajú skúsení sprievodcovia. Návštevníci vidia nielen slabú modrozelenú žiaru, ale dostanú sa aj pod baldachýn všadeprítomných žiariacich svetiel. V jaskyni Waitomo Glowworm Cave ich najlepšie vidieť v Glowworm Grotto, 30 m dlhý a 10 m širokej chodbe vytvorenej pozdĺž podzemného vodného toku v najnižšej časti jaskyne (spodná vývojová úroveň). Prehliadková trasa vedie od horného vchodu cez Katakombu do Banquet Chamber (horná vývojová úroveň), odkiaľ sa zostupuje do Katedrály, hlavnej chodby jaskyne. Na jej juhozápadnom okraji je prístavisko, odkiaľ prehliadka pokračuje plavbou cez spomenutú „svetielkujúcu“ chodbu. V tejto časti jaskyne svetlo produkujú iba svetlušky. Sprievodca ťahá loďku pomocou lana, aby sa ticho kĺzala po vode. Z jaskyne sa na povrch vychádza dolným vchodom s aktívnym ponorom potoka Waitomo.

Kým v jaskyni Waitomo Glowworm Cave návštevníci prechádzajú zväčša suchou čas-

ťou jaskyne a prehliadku zakončia plavbou trvajúcou okolo 5 minút, v neďalekej jaskyni Mangawhitikau Glowworm Cave je to opačne. Plavba na čln je dlhšia, trvá do 20 minút. Návštevníci k plavbe prichádzajú i od nej sa vracajú späť na povrch tou istou suchou časťou prehliadkovej trasy – za kratší čas, aký strávia na plavbe. Aj na prístupovej trase k plavbe, pozdĺž vodného toku, môžu vidieť tisíce svetlušiek. Spoločnosť Spellbound Ltd. (Spellbound Glowworm and Cave Tours), založená v roku 2003, zabezpečuje prehliadku jaskyne v malých skupinách (do 12 osôb), čo je vhodnejšie pre jej ochranu i lepší zážitok návštevníkov. Na tento účel sa využíva časť jaskyne od vchodu do vzdialenosti asi 200 m (táto časť jaskyne Mangawhitikau sa nazýva Spellbound Glowworm Cave). Čo sa týka prístupu, jaskyňou Mangawhitikau tečie jeden z najväčších jaskynných vodných tokov na Novom Zélande. Čisté a chladné vody potoka Mangawhitikau prinášajú do podzemia pre svetlušky novozélandské veľké množstvo potravy, vďaka čomu je táto jaskyňa známa najväčšími a najintenzívnejšími prejavmi bioluminiscencie svetlušiek na Novom Zélande. Jaskyne v tejto oblasti, v ktorých sa vyskytuje *Arachnocampa luminosa*, sa spoločne označujú ako Waitomo Glowworm Caves. Pohľady na galaxiu živých svetiel v podzemí sú fascinujúcim zážitkom, o čom sme sa presvedčili aj my (M. Bella, B. Bellová) začiatkom novembra 2025. Vidina „hviezdnej oblohy“ (bioluminiscenčného vesmíru) v jaskyniach je pre turistov mimoriadne lákavá.

Jaskyne v oblasti Waitomo ročne navštívi okolo 500-tisíc turistov. Patria medzi hlavné atrakcie pozoruhodnej prírody Nového Zélandu. Waitomo Glowworm Cave je pravdepodobne najznámejšou turistickou jaskyňou na svete, v ktorej hlavným stimulom prehliadky je jaskynná fauna. Jej nové návštevnícke centrum otvorili v októbri 2010 (predchádzajúce centrum v roku 2005 vyhorelo). Pred dvadsiatimi rokmi k nej pribudla ekoturisticky zameraná prehliadka jaskyne Mangawhitikau Glowworm Cave (Spellbound Glowworm Cave). V niektorých jaskyniach v oblasti Waitomo sa vykonávajú aj zážitkové túry vrátane podzemného splavovania (Black Water Rafting v jaskyniach Ruakuri a Okohua Glowworm Cave).

Okrem jaskýň Waitomo Glowworm Caves sa na Severnom ostrove Nového Zélandu *Arachnocampa luminosa* zistila aj v jaskyniach Kaviti a Nikau, na Južnom ostrove v jaskyni Te Annau. Austrálsky druh bol zaznamenaný v tasmaných jaskyniach (Gunn's Plain, Marakooa, Mystery Creek Cave, Mole Creek). V samotnej Austrálii ho turisti môžu najlepšie pozorovať v Natural Bridge, Springbrook National Park. Bežný je vo vlhkých medzibalvanových žulových jaskyniach s vysokým prúdom organickej hmoty podzemným vodným tokom. Vo Victorii a Queenslande sa svetlušky zistili v medzibalvanových jaskyniach aj v oblastiach, kde sa neočakávali, pretože v ich okolí sa dažďový prales nenachádza. Tieto populácie môžu byť relikty dávnej minulosti, keď bola okolitá vegetácia bujnnejšia.

Pavel Bella, Michal Bella, Barbora Bellová

Literatúra

- ARRELL, R. 1984. Waitomo Caves – A Century of Tourism. Waitomo Caves Museum Society Inc, Waitomo Caves, 71 s.
- CROSS, T. 2009. Climate and Glowworm Monitoring in the Waitomo Glowworm Cave, New Zealand. In Webb, R. – Webb, S. (Eds.): Cave and Karst Management in Australasia XVIII. Proceedings of the Eighteenth Australasian Conference on Cave and Karst Management, Margaret River, Western Australia, 3 – 9 May 2009. Australasian Cave and Karst Management Association, Carlton South, Victoria, 53–62.
- CROSS, T. – MERRITT, D. 2013. Glowworm Photomonitoring in the Waitomo Glowworm Caves, New Zealand. In Webb, R. – Webb, S. (Eds.): Cave and Karst Management in Australasia XX. Proceedings of the Twentieth Australasian Conference on Cave and Karst Management, Waitomo Caves, New Zealand, 12 – 17 May 2013. Australasian Cave and Karst Management Association, Mount Compass, South Australia, 163–172.
- DE FREITAS, C. R. 1998. Cave monitoring and management: The Glowworm Cave, New Zealand. In Smith, D. W. (Ed.): Cave and Karst Management in Australasia XII. Proceedings of the Twelfth Australasian Conference on Cave and Karst Management, Waitomo, New Zealand, 1997. Australasian Cave and Karst Management Association, Carlton South, Victoria, 55–66.
- DE FREITAS, C. R. 2010. The role and importance of cave microclimate in the sustainable use and management of show caves. Acta Carsologica, 39, 3, 477–489. <https://doi.org/10.3986/ac.v39i3.77>
- DE FREITAS, C. R. – BANBURY, K. 1999. Build up and diffusion of carbon dioxide in cave air in relation to visitor numbers at the Glowworm Cave, New Zealand. In Henderson, K. – Bell, P. (Eds.): Cave Management in Australasia XIII. Proceedings of the Thirteenth Australasian Conference on Cave and Karst Management, Mount Gambier, South Australia, 18 – 24 April 1999. Australasian Cave and Karst Management Association, Carlton South, Victoria, 84–89.
- DE FREITAS, C. R. – SCHMEKAL, A. 2006. Studies of condensation/evaporation processes in the Glowworm Cave, New Zealand. International Journal of Speleology, 35, 2, 75–81. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.35.2.3>
- FREDERIKSON, R. 1984. The New Zealand Glowworm. Reprint. Waitomo Caves Museum Society, 32 s.
- HENDERSON, K. 2004. Two new show caves at Waitomo! ACKMA Journal, 57, December 2004.
- HENDY, C. – MERRITT, D. – CORKILL, S. 2022. Anthropogenic impacts on the Glowworm Cave, Waitomo, New Zealand: a microclimate management approach. International Journal of Speleology, 51, 1, 59–68. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.51.1.2411>
- KERMODE, L. 1974. Geological Setting of the Glowworm Cave, Waitomo. N. Z. Speleological Bulletin, 5, 92, 361–369.
- MERRITT, D. J. 2024. Photographic monitoring of glowworm *Arachnocampa luminosa* (Diptera: Keroplatidae) bioluminescence in a tourist cave reveals diurnal and annual cycles. Austral Entomology, 63, 3, 379–392. <https://doi.org/10.1111/aen.12705>
- MERRITT, D. – BAKER, C. 2001. Australian Glow-worms in Caves. Newcaves Chronicles, 16, January 2001, 42–44.
- MERRITT, D. J. – CLARKE, A. K. 2013. The impact of cave lighting on the bioluminescent display of the Tasmanian glow-worm *Arachnocampa tasmaniensis*. Journal of Insect Conservation, 17, 1, 147–153. <https://doi.org/10.1007/s10841-012-9493-0>
- MERRITT, D. J. – PATTERSON, R. 2017. Environmental influences on the bioluminescence display of the glow-worm, *Arachnocampa flava* (Diptera: Keroplatidae). Austral Entomology, 57, 1, 107–117. <https://doi.org/10.1111/aen.12274>
- MEYER-ROCHOW, V. B. 2007. Glowworms: a review of *Arachnocampa* spp. and kin. Luminescence, 22, 3, 251–265. <https://doi.org/10.1002/bio.955>
- PLOWMAN, C. – MERRITT, D. 2025. Living Lights: The Glowworms of Australia and New Zealand. 2nd edition. Hamilton, New Zealand, 44 s.
- PUGSLEY, C. W. 1984. Ecology of the New Zealand Glowworm, *Arachnocampa luminosa* (Diptera: Mycetophilidae), in the Glowworm Cave, Waitomo. Journal of the Royal Society of New Zealand, 14, 4, 387–407. <https://doi.org/10.1080/03036758.1984.10421739>
- RICHARDS, A. M. 1960. Observations on the New Zealand Glow-worm *Arachnocampa luminosa* (Skuse) 1890. Transactions of the Royal Society of New Zealand, 88, 3, 559–574.
- RICHARDS, A. M. 1964. The New Zealand Glow Worm. Studies in Speleology, 1, 1, 38–42.
- WATKINS, O. C. – SHARPE, M. L. – PERRY, N. – KRAUSE, K. L. 2018. New Zealand glowworm (*Arachnocampa luminosa*) bioluminescence is produced by a firefly-like luciferase but an entirely new luciferin. Scientific Reports, 8, 1, 3278. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21298-w>

JOZEF JAKÁL (1936 – 2025), ÚSTREDNÁ OSOBNOSŤ SLOVENSKEJ KRASOVEJ GEOMORFOLÓGIE A GEOEKOLÓGIE

Dňa 17. 11. 2025 nás navždy opustil doc. RNDr. Jozef Jakál, DrSc., uznávaný fyzický geograf a geomorfológ. Od konca 60. rokov minulého storočia výrazne rozvinul a usmernil geomorfologický a geoeologický výskum krasu na Slovensku. Svojím komplexným pohľadom na výskum, prieskum i ochranu krasu výrazne usmerňoval aj činnosť našich jaskyniarskych organizácií.

Jozef Jakál sa narodil 28. novembra 1936 v Bystricianoch na Hornej Nitre (okr. Prievidza), kde sme sa s ním aj naposledy rozlúčili 21. 11. 2025. Po stredoškolskom štúdiu na gymnáziu v Prievidzi nastúpil roku 1955 študovať na Fakultu geologicko-geografických vied Univerzity Komenského v Bratislave, odbor Fyzická geografia. Vysokoškolské štúdium ukončil v roku 1960 (počas jeho štúdia v roku 1959 sa Fakulta geologicko-geografických vied stala po siedmich rokoch opäť súčasťou Prírodovedeckej fakulty). V rokoch 1960 – 1962 bol stredoškolským učiteľom na jedenásťročnej strednej škole v Spišskej Novej Vsi. S cieľom získať vedeckú aspirantúru nastúpil na študijný pobyt na Geografický ústav SAV v Bratislave, kde pôsobil v rokoch 1962 – 1969 a po trojročnom prerušení dlhodobo v rokoch 1973 – 2013. V rokoch 1970 – 1973 vykonával funkciu riaditeľa novovytvorenej Správy slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši. Na Geografickom ústave SAV zastával funkcie samostatného vedeckého pracovníka, vedúceho vedeckého pracovníka, vedúceho oddelenia geomorfológie a kvartéru, v rokoch 1990 – 1998 bol zástupcom riaditeľa ústavu, v rokoch 1990 – 2000 vedeckým tajomníkom I. oddelenia vied SAV.

V začiatkoch svojej vedeckej kariéry absolvoval v roku 1966 študijný pobyt na Univerzite J. W. Goetheho vo Frankfurt nad Mohanom u svetoznámeho karsológa prof. H. Lehmana. Už ako vedecký aspirant sa stal výkonným redaktorom *Náuky o Zemi – séria Geographica*, ktorú vydávalo Vydavateľstvo SAV. Obhajobou rigorózneho práce *Geomorfologické pomery Slovenského krasu* v roku 1969 získal titul doktora prírodovedy (RNDr.). Kandidátom geografických vied (CSc.) sa stal v roku 1973 po obhájení dizertačnej práce *Kras Silickej planiny*, ktorá v roku 1975 vyšla ako vedecká monografia vo Vydavateľstve Osveta v Martine. Neskôr bol tajomníkom redakčnej rady a výkonnej rady *Atlasu SSR*, ktorý vyšiel v roku 1980. Spolu s E. Mazúrom editoval jeho *Textovú časť*, ktorá vyšla roku 1982 v slovenskej i anglickej verzii. Právom mu bola udelená národná cena Slovenskej republiky 1982 za osobitné vedecké, tvorivé a interpretačné úsilie na vypracovaní Atlasu SSR a prémie Slovenského literárneho fondu za tvorbu národného Atlasu SSR.

Po obhajobe doktorskej dizertačnej práce *Krasový reliéf a environmentálne problémy krasu Slovenska* v roku 1993 získal vedeckú hodnosť doktora vied (DrSc.). V edícii *Geographia slovacica* mu v roku 1993 vyšla monografia *Karst Geomorphology of Slovakia (Typology, Map on the scale 1:500 000)*, ktorou zavŕšil svoje štúdium o typológii krasu na Slovensku (novšia typoló-



Doc. RNDr. Jozef Jakál, DrSc.



J. Jakál na 4. vedeckej konferencii *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň*, Tále 2003. Foto: P. Bella

gia krasu nebola odvtedy u nás spracovaná). V roku 1996 po obhajobe habilitačnej práce *Geosystém krasovej krajiny* sa na Prírodovedeckej fakulte UK v Bratislave stal docentom v odbore Fyzická geografia a geoeológia. Na tejto fakulte externe vyučoval predmety *Všeobecná geomorfológia* a *Kvartér a metódy jeho výskumu*. Do roku 2010 bol predsedom Spoločnej odborovej komisie doktorandského štúdia v odbore Fyzická geografia a geoeológia. Ako doktor vied bol oponentom alebo členom komisií na habilitáciách a inauguračných na Univerzite Komenského v Bratislave a Prešovskej univerzite v Prešove. Ako školiteľ v rámci doktorandského štúdia úspešne viedol dvoch doktorandov (J. Laciku a P. Bellu).

J. Jakál svoju vedeckú činnosť a výskum zameriaval najmä na typológiu krasu Slovenska (spočiatku v spoluautorstve s E. Mazúrom), geomorfologickú analýzu a mapovanie krasu Silickej planiny v Slovenskom krase s rekonštrukciou vývoja reliéfu, analýzu a komparáciu planinového krasu v Západných Karpatoch, geomorfologický výskum polj, paleopolj (pôvodne ich opisoval ako krasové priehlbne) a krasových dolín v Západných Karpatoch, vývoj Slovenského krasu

v neotektonickej fáze vývoja Západných Karpát, ako aj na geomorfologický výskum viacerých ďalších krasových oblastí (Strážovské vrchy, Tríbeč, Malá Fatra, Horehronské podolie, Malé Karpaty). V rámci západokarpatskej geomorfológie tým výrazne prehĺbil a doplnil poznatky o krasovom reliéfe, najmä v planinovom krase. Priblížil aj základné genetické typy jaskýň na Slovensku a ich vzťah s reliéfom, litológiou a tektonikou. Zdôraznil a bližšie objasnil význam krasového reliéfu v celkovej geomorfológii Západných Karpát. Pozornosť upriamil aj na morfoštruktúrnú analýzu a neotektonický vývoj reliéfu slovenských Karpát. Ďalej komplexne analyzoval a zhodnotil krasovú krajinu z hľadiska jej zraniteľnosti, možnosti racionálneho využívania, súčasných geomorfologických procesov i prírodných hrozieb. Ako rodák z Hornej Nitry sa zaoberal antropickou transformáciou reliéfu v industrializovanej oblasti medzi Bystricami a Prievidzou i vplyvom odkalskej popola na krajinu v oblasti Chalmovej. Slovenská akadémia vied udelila J. Jakálovi v roku 1986 striebornú plaketu a v roku 1996 zlatú plaketu Dionýza Štúra za zásluhy v prírodných vedách.

J. Jakál zastával viaceré dôležité funkcie vo vedeckých spoločnostiach, komisiách, redakčných radách i poradných orgánoch. Bol vedeckým tajomníkom Slovenskej geografickej spoločnosti pri SAV (neskôr sa stal jej čestným členom), predsedom Komisie pre ochranu reliéfu Slovenského zväzu ochrancov prírody a krajiny, voleným predsedom Vedeckého kolégia pre vedy o Zemi a vesmíre pri SAV, ako aj predsedom prípravného výboru Asociácie slovenských geomorfológov pri SAV (takisto sa stal jej čestným členom). Ďalej bol dlhoročným členom redakčnej rady *Geografického časopisu*, ako aj zakladateľom a hlavným redaktorom časopisu *Geomorphologia Slovaca*. V období, keď bol E. Mazúr predsedom Karpatsko-balkánskej geomorfologickej komisií, dve volebné obdobia vykonával funkciu jej vedeckého tajomníka. V rámci Medzinárodnej geografickej únie (IGU) bol dopisujúcim členom v komisiách zameraných na problematiku udržateľného rozvoja a manažmentu krasových území a environmentálnych zmien a ochrany krasových území. Pôsobil vo viacerých poradných orgánoch Ministerstva životného prostredia SR, Ministerstva školstva SR, ako aj Slovenskej akadémie vied.

Z hľadiska slovenskej speleológie bolo dôležité, že už počas prvého pôsobenia na Geografickom ústave SAV J. Jakál začal spolupracovať s Múzeom slovenského krasu v Liptovskom Mikuláši. V rokoch 1968 – 1969 spolu so Z. Schmidtom a E. Mazúrom spracoval odborný scenár expozície múzea. V roku 1968 bol aktívom slovenských speleológov zvolený za predsedu organizačného výboru na obnovenie činnosti Slovenskej speleologickej spoločnosti. Od roku 1969 až do konca svojho života bol členom redakčnej rady zborníka *Slovenských kras*. Jeho editorom bol v rokoch 1970 – 1996. Zaviedol novú obsahovú štruktú-

ru zborníka s uverejňovaním vedeckých štúdií, ako aj jeho ročné vydávanie.

V rokoch 1970 – 1973, keď vykonával funkciu riaditeľa Správy slovenských jaskýň, začal budovať výskumné oddelenie (v Múzeu slovenského krasu, ktoré bolo organizačnou zložkou Správy slovenských jaskýň). Jeho poslaním bol nielen výskum jaskýň, ale aj praktické využívanie vedeckých poznatkov pri ich sprístupňovaní, prevádzke a ochrane. Prispel aj k zavedeniu speleoterapeutickej liečby v slovenských jaskyniach. V roku 1970 bol hlavným organizátorom medzinárodnej vedeckej konferencie konanej pri príležitosti 100. výročia objavenia

Dobšinskej ľadovej jaskyne, za účasti viacerých významných osobností zo zahraničia (H. Trimel, A. Bögli, F. Habe, R. Oedl a ďalší).

J. Jakál má veľký podiel aj na organizovaní 6. medzinárodného speleologického kongresu, ktorý v bývalom Československu v roku 1973 zabezpečovala Univerzita Palackého v Olomouci a Správa slovenských jaskýň v Lipovskom Mikuláši. Zastával funkciu tajomníka kongresu a zabezpečoval štyri exkurzie po krasových územiach a jaskyniach Slovenska. Spolu s E. Mazúrom, riaditeľom Geografického ústavu SAV, viedol 8-dňovú exkurziu zameranú na typy krasu v Západných Karpatoch a najvýznamnejšie sprístupnené jaskyne na Slovensku (zaujala 72 účastníkov z 18 štátov sveta). Na valnom zhromaždení Medzinárodnej speleologickej únie (UIS) založili pracovnú komisiu pre typológiu krasu. Jej tajomníkom sa stal J. Jakál. Za organizovanie speleologického kongresu mu v roku 1973 udelili striebornú medailu Univerzity Palackého v Olomouci.

Aj po opätovnom nástupe na Geografický ústav SAV v roku 1973 J. Jakál naďalej spolupracoval so Správou slovenských jaskýň, Múzeom slovenského krasu (od roku 1990 Slovenským múzeom ochrany prírody a jaskyniarstva) i Slovenskou speleologickou spoločnosťou.



J. Jakál na 8. vedeckej konferencii Výskum, využívanie a ochrana jaskýň, Demänovská Dolina 2011, v roku jeho 75 narodenín. Foto: P. Bella

V rokoch 1970 – 1989 bol podpredsedom Slovenskej speleologickej spoločnosti. Bol zostavovateľom a autorom viacerých kapitol knižnej publikácie *Praktická speleológia* z roku 1984. Lektorskou činnosťou sa podieľal na viacerých ročníkoch speleologickej školy organizovanej Slovenskou speleologickou spoločnosťou. Spolu s B. Kortmanom zostavil prezentačnú knižnú publikáciu *Jaskyne a jaskyniari* (zahrňujúcu aj naše sprístupnené jaskyne), ktorá vyšla v roku 1987. Za dlhoročnú aktívnu organizačnú i odbornú činnosť sa v roku 1999 stal čestným členom Slovenskej speleologickej spoločnosti. Ako uznávaný odborník pracoval aj v Speleologickom poradnom zbore a Rade štátnej ochrany prírody Ministerstva kultúry SSR. So Slovenským múzeom ochrany prírody a jaskyniarstva spolupracoval pri tvorbe expozície *Kras a jaskyne Slovenska*, ktorú otvorili v roku 1994. Zámery jubilanta o potrebe a komplexnom výskume jaskýň, ktoré začal realizovať začiatkom 70. rokov minulého storočia, sa na Správe slovenských jaskýň obnovili v polovici 90. rokov a naďalej sa rozvíjajú na úseku ochrany jaskýň. Dlhoročné skúsenosti a odborný prehľad v problematike krasu a jaskýň využil aj pri tvorbe publikácie o jaskyniach svetového prírodného dedičstva na Slovensku, ktorej bol

editorom. Túto pozoruhodnú knižnú publikáciu, ktorá získala ocenenie Literárneho fondu za vedeckú a odbornú literatúru, vydala Správa slovenských jaskýň v roku 2005. Jej upravená anglická verzia vyšla v roku 2008 (spolueditorom bol P. Bella). J. Jakál bol členom redakčnej rady časopisu *Aragónit* od jeho založenia v roku 1996.

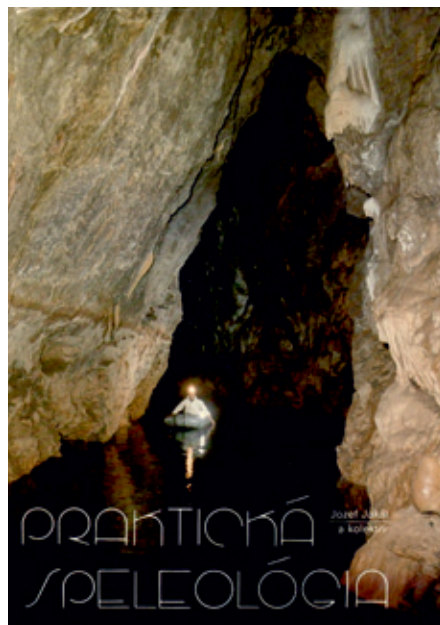
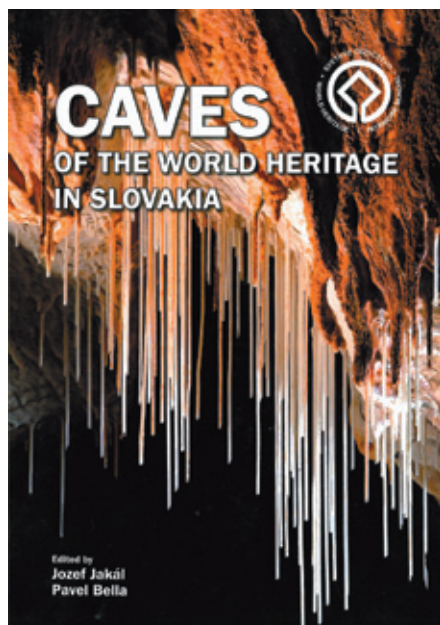
V rámci dlhoročnej vedeckej a odbornej činnosti J. Jakál využíval aj poznatky a skúsenosti, ktoré získal na zahraničných študijných cestách. Navštívil a skúmal najmä kras bývalej Juhoslávie, Talianska, Rakúska, Nemecka, Maďarska, Bulharska, Rumunska a Kubu. Výsledky svojej vedeckej činnosti prezentoval na medziná-

rodných speleologických kongresoch v Stuttgarte (1969), Olomouci (1973) a Sheffielde (1977), ako aj na mnohých ďalších domácich i zahraničných sympóziách a konferenciách (konaných napr. vo Viedni, Budapešti, Postojnej, Tübingene či Frankfurte nad Mohanom). Po krasových územiach Slovenska sprevádzal významné osobnosti svetovej speleológie – prof. J. Rogliča, prof. A. Bögliho a prof. N. A. Gvozdeckého.

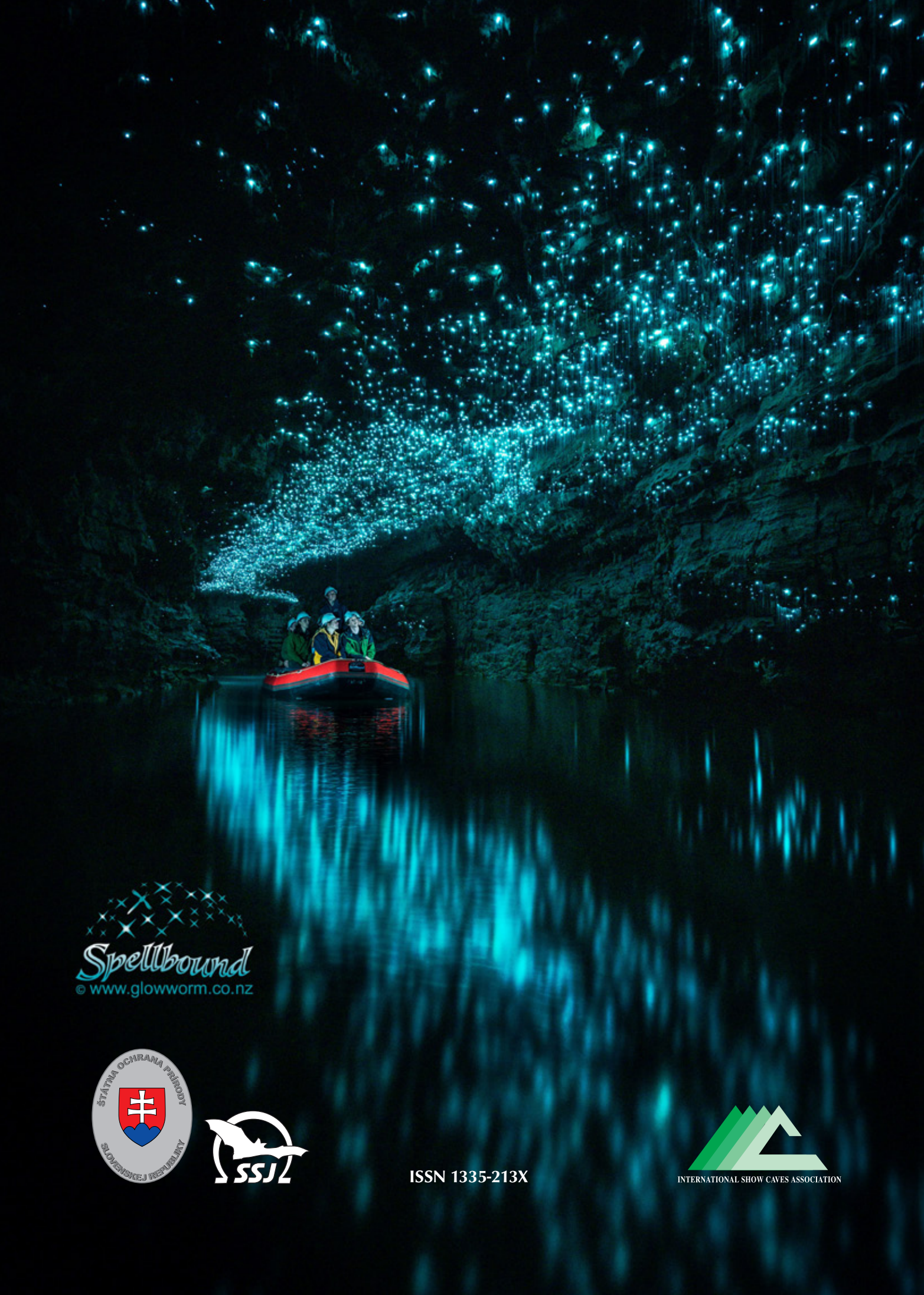
Tvorivé výsledky geomorfologického a geologického výskumu J. Jakál odovzdal svojim nasledovníkom a budúcim generáciám vo svojich početných publikáciách. Je autorom a spoluautorom 8 monografií, 4 kapitol v zahraničných monografiách, vyše 100 vedeckých štúdií a správ v domácich časopisoch a 17 štúdií v zahraničných časopisoch a zborníkoch.

Slovenskí jaskyniari vyslovujú Jozefovi úctu a vďaka za jeho celoživotnú vedeckú, výchovnú a organizačnú prácu, osožnú pre slovenskú vedu i jaskyniarstvo. Pre mnohých z nás si bol učiteľom, vzorom tvorivosti i dobrým priateľom (takým aj zostaneš). Budeme na Teba spomínať a Tvoje poznatky i podnetné námety prenesieme nasledujúcim generáciám jaskyniarov.

Pavel Bella








Spellbound
© www.glowworm.co.nz



ISSN 1335-213X



INTERNATIONAL SHOW CAVES ASSOCIATION