



SPRÁVA JESKYNÍ ČESKÉ REPUBLIKY

Organizátoři konference:



ACTA SPELEOLOGICA



# SBORNÍK KONFERENCE KRAS, JESKYNĚ A LIDÉ

SVATÝ JAN POD SKALOU, 7. - 8. 11. 2025

Sponzoři konference:



ACTA SPELEOLOGICA 12/2025

SBORNÍK KONFERENCE KRAS, JESKYNĚ A LIDÉ

ISBN 978-80-87309-61-2



VOL. 12/2025  
ISBN 978-80-87309-61-2  
ISSN 1804-3313

EDITOR:  
LUBOŠ STÁRKA

SBORNÍK  
KONFERENCE  
KRAS, JESKYNE A LIDÉ  
2025

**SBORNÍK REFERÁTU  
1. ROČNÍKU  
KONFERENCE  
KRAS, JESKYNE A LIDÉ**

---

**ACTA SPELEOLOGICA**  
**VOL. 12/2025**

Pořadatelé konference:



Hlavním pořadatelem konference byla Agentura ochrany přírody a krajiny ČR

# SBORNÍK KONFERENCE KRAS, JESKYNE A LIDÉ 2025

SVATÝ JAN POD SKALOU, 7. - 8. 11. 2025

EDITOR LUBOŠ STÁRKA

Foto na obálce: Květa Černohlávková,  
*Skály u Svatého Jana pod Skalou*

© 2025, Správa jeskyní České republiky  
ISBN  
ISSN

SPRÁVA JESKYNÍ ČESKÉ REPUBLIKY  
2025

# OBSAH

ÚVODNÍ SLOVO .....	6
František Pelc	
ČESKÁ KŘÍDOVÁ PÁNEV: NEJROZSÁHLEJŠÍ ALE ZCELA PŘEHLÍŽENÉ ÚZEMÍ S KRASOVOU POROZITOU V ČR .....	7
Jiří Bruthans, Iva Kůrková, Jiří Starý, Jakub Mareš, Jan Vojtíšek	
HRANICKÝ KRAS VERSUS VODNÍ DÍLO SKALIČKA - AKTUÁLNÍ STAV PŘÍPRAVY .....	9
Barbora Šimečková	
CO PŘINESLY POVODNĚ 2024 DO SUCHÉHO ŽLEBU V MORAVSKÉM KRASU .....	13
Eva Kryštofová, Vít Baldík, Roman Hadacz, Filip Chalupka , František Kuda, Jiří Nečas, Roman Novotný	
POZOROVÁNÍ A MĚŘENÍ NÁSLEDKŮ POVODŇOVÝCH VLN NA SEDIMENTY V SYSTÉMU AMATÉRSKÉ JESKYNĚ .....	17
Stanislav Lejska, František Kuda, Barbora Špinarová	
ODHAD INFILTRAČNÍ PLOCHY NA ZÁKLADĚ BILANCE SRÁŽEK A PRŮTOKŮ V KRASOVÉM ÚZEMÍ .....	22
Veronika Kršková, Jiří Faimon, Stanislav Lejska	
MOŽNOSTI MODELOVÁNÍ PUKLINOVÝCH KOLEKTORŮ A JEJICH APLIKACE PRO KRASOVÉ OBLASTI .....	25
Jiří Rez, Vít Baldík	
DYNAMIKA KONDENZACE VODY V JESKYNI BALČARKA V MORAVSKÉM KRASU .....	29
Marek Lang, Tereza Ptáčníková, Simona Pospíšilová, Jindřich Štelcl	
NOVÁ RADIOUHLÍKOVÁ DATA Z ČESKÉHO KRASU: ZPŘESŇOVÁNÍ PŘEDSTAV O VYUŽITÍ REGIONU.....	33
V ZÁVĚRU PALEOLITU A V MEZOLITU Katarína Kapustka, Ivan Horáček, Karolína Pauknerová, František Adámek, Nikola Košťová	
REVIZNÍ ARCHEOLOGICKÉ VÝZKUMY V JIŽNÍ ČÁSTI MORAVSKÉHO KRASU .....	36
Petr Škrdla, Jaroslav Bartík, Matěj Kmošek, Martin Novák, Ondřej Herčík, Soňa Boriová, Katarína Adameková, Ladislav Nejman, Miroslav Králík, Ondřej Mlejnek	
ARCHEOLOGICKÉ A EPIGRAFICKÉ VÝZKUMY V KATEŘINSKÉ JESKYNI .....	40
Petr Zajíček, Ivana Vostrovská	
GUÁNO A KOSTI NETOPÝRŮ: MÁLO DOCENĚNÁ ČASOVÁ SCHRÁNKA V NAŠICH JESKYNÍCH .....	46
Ivo Pavlík, Tomáš Lošák, Tadeáš Hrušovský, Milan Geršl, Michal Guba, David Čani, František Kuda, Vít Ulmann, Ivo Světlík, Zuzana Golec Mírová, Vlastislav Káňa, Věra Fejtová, Martin Golec, Ivana Vostrovská, Lenka Špačková, Pavel Šunka, Martin Zavřel, Vlastimil Čoupek, Marek Kalvoda, Fraňo Travěnek, Petr Zajíček	
ŠTRAMBERSKÝ KRAS A JEHO NEDOŘEŠENÁ GENEZE .....	51
Jan Lenart	
TOUHA PO ODKRÝVÁNÍ PODZEMNÍCH KRÁS JESKYNÍ. MEZIVÁLEČNÉ VÝZKUMY SLOVENSKÉHO KRASU .....	54
VE SLUŽBÁCH VĚDY I NÁRODA Marcela Starcová, Olga Lečbychová	
MIKROKLIMA JESKYNÍ ČESKÉHO KRASU .....	58
Jaroslav Rožnovský, Filip Chalupka	
EFEKTIVNÍ METODY 3D DOKUMENTACE JESKYNÍ .....	61
Jiří Šindelář, Vratislav Ouhrabka, František Krejča	
DOKUMENTACE JESKYNÍ PŘI TĚŽBĚ, PŘÍPADOVÁ STUDIE Z VELKOLOMU ČERTOVI SCHODY (ČESKÝ KRAS).....	67
Hejna Michal	
VÍCELETÉ ZKUŠENOSTI ZE SLEDOVÁNÍ OBSAHU DUSÍKU V MECHOVÉM BIOINDIKÁTORU <i>ABIETINELLA</i> .....	70
<i>ABIETINA</i> NA ÚZEMÍ CHKO ČESKÝ KRAS Ivan Suchara, Julie Sucharová, Marie Holá, Radka Houdová	
VZDĚLÁVÁNÍ DĚTÍ A ŽÁKŮ PROSTŘEDNICTVÍM VÝUKOVÝCH PROGRAMŮ V MORAVSKÉM KRASU .....	73
Tereza Chalupková	
SPECIÁLNÍ NETOPÝŘÍ PROHLÍDKY JESKYNÍ – FORMA VZDĚLÁVÁNÍ A VÝCHOVY NÁVŠTĚVNÍKŮ .....	76
Martin Koudelka	
OVLIVNĚNÍ MIKROKLIMATU NEZPŘÍSTUPNĚNÝCH JESKYNÍ PŘI DNECH OTEVŘENÝCH DVEŘÍ .....	79
Pavel Pracný, Marek Lang, Jiří Faimon, Zdeněk Roubal, Zoltán Szabó	

VYUŽITÍ GEOFYZIKÁLNÍ METODY ERT VE VÝZKUMU A PŘI ŘEŠENÍ ENVIRONMENTÁLNÍCH ZÁTĚŽÍ V KRASU .....	82
Martin Dostalík, Vít Baldík, Roman Novotný, Jiří Nečas, Jiří Rez, Roman Hadacz, Jiří Faimon, František Kuda	
MAPOVÉ ZNAKY POUŽITÉ V PUBLIKACÍCH SPELEA A SPELEOFÓRA .....	83
Josef Weigel, Alena Berková, Karolína Benešová	
MANAGEMENTOVÁ OPATŘENÍ VE ZPŘÍSTUPNĚNÝCH JESKYNÍCH .....	84
Vratislav Ouhrabka	
UMĚLÁ INTELIGENCE A JESKYNĚ .....	85
Jiří Nečas, GPT-4	
STYLOLITES AS CONTROLS ON FLUID FLOW AND KARST DEVELOPMENT.....	86
Silvana Magni	
MUZEUM BOSKOVICKA A KRAS.....	87
Kateřina Laštůvková, Jiří Nečas	
PALYNOLOGICKÁ STUDIA SEDIMENTŮ JESKYNĚ ZA HÁJOVNOU .....	88
Anna Burianová, Nela Doláková	
AKTUÁLNÍ CHEMICKÝ STAV VODY KRASOVÉHO KOLEKTORU MORAVSKÉHO KRASU .....	89
Roman Novotný, Eva Kryštofová, Vít Baldík, Veronika Kršková	
HARBEŠSKÁ PLOŠINA JAKO KOLEKTOR CO <sub>2</sub> : DŮKAZ PŘÍTOMNOSTI PLYNEM OBOHACENÉ PŮDNÍ VRSTVY .....	90
Vít Baldík, Jiří Faimon, Jiří Rez, Roman Hadacz, Roman Novotný, Daniela Ocásková, Martin Dostalík	

## ÚVODNÍ SLOVO

Vážené kolegyně, vážení kolegové, milí čtenáři,

dá se říci, že konference Kras, jeskyně a lidé je již tradiční akcí. Zároveň se ale stala mezioborovou platformou pro výměnu zkušeností, navázání kontaktů mezi ochranáři, speleology, kvartérními geology, archeology, hydrology a dalšími specialisty, kteří se věnují krasovým oblastem.

Není náhodou, že naše největší krasová území, tedy Český a Moravský kras, jsou zároveň i chráněnými krajinnými oblastmi. Nadzemí a podzemí jsou totiž propojené, nikoli oddělené světy.

Nové výzkumy prohlubují naše poznání vývoje krasu i jeho přírodního prostředí, umožňují lépe plánovat dlouhodobé strategie ochrany území. Výzkum jeskynního prostředí a míra jeho ovlivnění člověkem pak umožňují upřesnit limity návštěvnosti podzemí u zpřístupněných jeskyní a ve štolách s ohledem například na výskyt netopýrů či vrápců.

Spolupráce ochrany přírody a speleologů s archeology umožňuje lépe ochránit archeologické nálezy, dokumentovat přítomnost člověka a to, jak v minulosti ovlivňoval přírodní prostředí.

Prohlubující se poznání hydrologie jednotlivých krasových území umožňuje lépe stanovit rizika kontaminace vody a predikovat povodňové stavy, které v krasu vznikají velmi náhle.

V Českém krasu dlouhodobě působí pět jeskyňářských skupin – základních organizací České speleologické společnosti, které spolupracují s Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR, Správou CHKO Český kras.

Konference se koná v krásném prostředí Svatého Jana pod Skalou. Unikátní expozice v Domě přírody Českého krasu v areálu Koněpruských jeskyní (jedná se již o patnáctý dům přírody) návštěvníky seznamuje s rozmanitostí našeho přírodního bohatství.

Věřím, že konference i sborník pomohou rozšířit naše znalosti o krasových oblastech a děkuji všem sponzorům za podporu této akce.

*František Pelc*  
*ředitel Agentury ochrany přírody a krajiny ČR*

## ČESKÁ KŘÍDOVÁ PÁNEV: NEJROZSÁHLEJŠÍ, ALE ZCELA PŘEHLÍŽENÉ ÚZEMÍ S KRASOVOU POROZITOU V ČR

*Jiří Bruthans<sup>1</sup>, Iva Kůrková<sup>2</sup>, Jiří Starý<sup>1</sup>, Jakub Mareš<sup>1</sup>, Jan Vojtíšek<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, Praha 2, 128 00,  
email: bruthans@natur.cuni.cz, maresj15@natur.cuni.cz, jiristary@atlas.cz, jan.vojtisek@natur.cuni.cz

<sup>2</sup> Česká geologická služba, Klárov 3, Praha 1, 118 00, email: iva.kurkova@geology.cz

**Abstrakt:** Česká křídová pánev je tradičně považována za prostředí, kde voda proudí především puklinami a průlinami kvádrových křemenných pískovců ačkoli již nestor české hydrogeologie prof. Hynie upozorňoval na výskyt krasových pramenů. Intenzivní výzkumy provedené v posledních deseti letech, zejména loužení vzorků hornin v HCl a údaje z archivních i nových stopovacích zkoušek ukázaly, že ve všech oblastech, kde se nachází velké prameny jsou přítomné i alespoň tenké krasovějící horizonty tvořené písčitémi či prachovitými vápenci či vápnitými pískovci nebo vápnitými prachovci. Největší prameny v české křídové pánvi jsou důsledkem krasovění, voda tu teče velmi rychle (např. v jímacím území Brněnského vodovodu) a je tak nutné uvažovat krasovou porozitu při ochraně podzemní vody a také charakter a vznik krasovění dále studovat. Česká křídová pánev je tak nejrozsáhlejším ale paradoxně prakticky neznámým krasovým územím v ČR.

**Klíčová slova:** kras, hydrogeologie, hydrologie, česká křídová pánev.

### Souhrn problematiky

Pokud jde o kras v ČR každému se asi vybaví Moravský kras, a snad i další významnější oblasti v paleozoických karbonátech jako je Český, Mladečsko-Javoříčský a Hranický kras a řada dalších. Dobře je také známo, že v mnoha spíše drobných výskytech metamorfovaných karbonátů jsou krasové jevy (Chýnovský kras, kras skupiny Branné a mnohé další).

Naopak u České křídové pánve panuje představa, že podzemní voda vytéká z průlin či puklin pískovců a pokud je v české křídové pánvi nějaký kras, jde o malé izolované výskyty, jakým je třeba Miskovický kras a možná i severní okolí Turnova, tzv. Turnovský kras, čili o jakési výjimečné oblasti potvrzující jinak nekrasové pravidlo (Bruthans et al. 2011).

Cílem tohoto příspěvku je referovat o výsledcích výzkumů za posledních 10 let, které radikálně změnily pohled na zastoupení krasové porozity, a tedy i krasu jako takového v horninách české křídové pánve.

Loužící testy v 10% HCl provedené na více než 500 vzorcích vrtných jader odebraných z povrchových výchozů i z jádrových vrtů oblasti Kokořínska, Roudnicka, Pojizeří i v okolí Chocně a Svitav ukázaly, že největší prameny v české křídové pánvi jsou vázány na oblasti, kde se vyskytují alespoň tenké polohy silně vápnitých pískovců či písčitých a prachovitých vápenců (Balák 2015, Kůrková 2023, Kůrková et al. 2019; Starý 2024, Starý et al. 2024). Tyto polohy označoval nestor české hydrogeologie prof. Hynie jako tzv. přechodní facii mezi mělkovodními hrubozrnnými kvádrovými pískovci a relativně hlubokovodnějšími nepropustnými jílovci.

Shromážděné výsledky desítek archivních i nově provedených stopovacích zkoušek ukazují, že podzemní vody proudí v krasových kanálech s extrémně vysokou rychlostí stovek metrů i mnoha kilometrů za den, tedy rychlostí řádově vyšší, než by bylo možné očekávat v průlinové či puklinové porozitě. Tyto případy se nachází i např. na Kokořínsku či v jímacím území Brněnského vodovodu jižně od Svitav (Starý et al. 2024). Jsou známy případy kontaminace, která se v těchto vápnitých kolektorech poměrně rychle šířila na vzdálenost mnoha kilometrů např. z Nového Města nad Metují do oblasti Českého Meziříčí. Extrémní propustnosti odpovídají i vydatnosti jednotlivých vrtů a pramenů, které jsou až okolo 200 l/s, u pramenních skupin až 1000 l/s i zachycené přítoky do vrtů, kdy z jediného oválného otvoru vtéká do vrtu 100 l/s (Hrušová u Vysokého Mýta).

Na základě terénních pozorování, loužících testů, studia vzorků na mikrosondě, karotážních dat, apod. byly vytvořeny modely vzniku krasové porozity, které se značně liší pro východní a západní část české křídové pánve (srov. Kůrková et al. 2019 a Starý et al. 2024).

Pro správnou ochranu podzemní vody před znečištěním i ochranu podzemních ekosystémů na ni vázaných je třeba rozumět charakteru a vzniku porozity. Je proto vhodné, aby krasová porozita české křídové pánve byla brána v potaz, a aby byla z různých úhlů pohledu dále studována.

#### SEZNAM LITERATURY:

- BALÁK F., 2015: Možnosti krasovění v přechodní facii České křídové pánve. – Ms., Diplomová práce. PpF UK. 144 str.
- BRUTHANS J., MIKUŠ P., SOUKUP J. ET AL., 2011: Sebeorganizace proudění a porozity v české křídové pánvi: výsledky stopovacích zkoušek a dalších metod. – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2010, 44, str. 233-238.
- KÚRKOVÁ I., 2023: Charakter proudění podzemní vody v silně propustných sedimentech v západní části České křídové pánve. – Ms., Doktorská disertační práce. PpF UK. 205 str.
- KÚRKOVÁ I., BRUTHANS J., BALÁK F. ET AL., 2019: Factors controlling evolution of karst conduits in sandy limestone and calcareous sandstone (Turnov area, Czech Republic). – Journal of Hydrology, 574, str. 1062–1073.
- STARÝ J., 2024: Charakter vysoce propustné porozity v turonských kolektorech ve východní části české křídové pánve. – Ms., Doktorská disertační práce. PpF UK. 227 str.
- STARÝ J., BRUTHANS J., SCHWEIGSTILLOVÁ J. ET AL., 2024: Origin of Fracture-Controlled Conduits in Calcite-Rich Highly Productive Aquifers Impregnated with Diagenetic Silica. – Water, 16, 5, 687, 18 str.

## HRANICKÝ KRAS VERSUS VODNÍ DÍLO SKALIČKA – AKTUÁLNÍ STAV PŘÍPRAVY

*Barbora Šimečková*

Správa jeskyní České republiky, Správa Zbrašovských aragonitových jeskyní, 753 51 Teplice nad Bečvou 75,  
e-mail: simeckova@caves.cz

**Abstrakt:** Probíhající příprava stavby vodního díla Skalička jako klíčového protipovodňového opatření na řece Bečvě vychází z usnesení vlády (č. 597/2022), a to v podobě suchého bočního poldru. Investorem je Povodí Moravy s. p., které v rámci předprojektové přípravy od roku 2011 zadalo několik studií a odborných průzkumů. Stavba má být realizována na okraji Hranického krasu, v území, které je zejména z hlediska hydrogeologického velmi komplikované. Nové poznatky České geologické služby zpřesňují poznání zdejší hydrogeologické struktury a upozorňují na řadu velmi vážných rizik, která je nutno vyřešit v další fázi předprojektové přípravy. Článek mapuje aktuální stav přípravy a schvalovacího procesu k 30. 6. 2025.

**Klíčová slova:** kHranický kras, Teplice nad Bečvou, vodní dílo Skalička, přehrada na Bečvě.

Správa jeskyní České republiky (SJ ČR) je státní příspěvkovou organizací spravující všech 14 zpřístupněných jeskyní v České republice. Posláním organizace je kromě návštěvního provozu také péče o svěšené jeskynní systémy a jejich ochrana. V případě Zbrašovských aragonitových jeskyní je situace komplikovanější, neboť se jedná o hydrotermální systém vzniklý spolupůsobením minerálních vod hlubokého oběhu a jeho geneze, výzdoba i mikroklima jsou unikátní v rámci celé Evropy.

Zbrašovské aragonitové jeskyně (ZAJ) leží nedaleko města Hranic v levém břehu kaňonovitého údolí Bečvy v areálu lázní Teplíc nad Bečvou. Jsou součástí národní přírodní památky Zbrašovské aragonitové jeskyně a představují největší jeskynní systém Hranického krasu. Ten je budován devonskými vápenci, překrytými z velké části mladšími sedimenty. Nejznámějším povrchovým krasovým jevem je Hranická propast, nejhlubší propast ČR a od roku 2016 také nejhlubší zatopená propast světa. (Hloubka zatopených prostor 450 m, suché části 69,5 m, stav 06/2025). Extrémní hloubka propasti je dána právě hydrotermální genezí, při níž prostory vznikají korozní činností teplých minerálek směrem ze zdola k povrchu. Propast leží v národní přírodní rezervaci Hůrka u Hranic na pravém břehu Bečvy přímo naproti lázním. Jeskyně, propast a balneologický provoz lázní mají společného jmenovatele: silně mineralizovanou uhličitou minerální vodu hydrogen-uhličitánového typu, zvanou zde kyselka. Zaplavuje obří prostory Hranické propasti, ve Zbrašovských jeskyních vytváří několik jezer, nad jejichž hladinou leží neviditelný příkrov uvolněného oxidu uhličitého, pro lázeňské účely je jímána z vrtů a vyvěrá také volně do koryta Bečvy.

V současné době čelí Hranický kras většímu ohrožení než kdykoli předtím, a to v souvislosti s přípravou výstavby vodního díla Skalička s objemem 34 milionů m<sup>3</sup>. Myšlenka přehrazení bečevského údolí je bezmála 100 let stará, ale v určitých obdobích vždy znovu ožívá v hlavách centrálních plánovačů. V minulosti mělo být účelem díla např. napájení kanálu Dunaj-Odra-Labe nebo zásobování plánované jaderné elektrárny Blahutovice. Přehradní profil byl navrhován v nejužším místě teplického kaňonu na úrovni lázeňských budov. Kromě problémů s průsaky, netěsnostmi a kotvením hráze do zkrasovělých vápenců odborníci už tehdy varovali před nežádoucími změnami hydrogeologických poměrů a ohrožením lázeňských pramenů. Upozorňovali na zrychlení oběhu v hluboké krasové zóně, které by vedlo k destabilizaci dotace, mineralizace, proplynění a vydatnosti balneologických zdrojů, zániku přirozených jezer oxidu uhličitého v jeskyních ap. Právě kvůli těmto rizikům projektanti postupně několikrát posouvali přehradní profil stále výše proti toku Bečvy, do větší vzdálenosti od lázní.

V současnosti jej malují na východním okraji Hranického krasu, do ohbí Bečvy pod obcí Skalička, jen 2 km vzdušnou čarou proti proudu Bečvy nad lázněmi. Zkrasovělé vápence se i zde vyskytují jak v místě přehradního profilu, tak i na několika místech budoucí zátopy. Plánovaná hráz leží v ochranném pásmu přírodního léčivého zdroje stupně II A, zátopa ve stupni II B. Očekávali bychom tedy, že při přípravě díla budou mít hlavní slovo hydrogeologové České geologické služby (ČGS) a Český inspektorát lázní a zřidel (ČILZ). Investor



Obr. 1: Teplický kaňon. Hranická propast, Zbrašovské aragonitové jeskyně a lázně Teplice nad Bečvou. Foto: Ústav plánování krajiny ZF MendelU, Lednice

Povodí Moravy s. p. (PMO) však zadává přípravu ryze vodohospodářským firmám a institucím, u nichž si hydrogeologové vybojuvávají možnost přednesení odborných argumentů velmi obtížně a jen díky osobnímu nasazení.

Přípravy byly zahájeny po katastrofální povodni v roce 1997, kdy stará idea znovu ožila. V roce 2007 se dostala do plánu protipovodňových opatření státu jako suchý poldr. Z důvodu klimatických změn a sucha napadlo někoho na ministerstvu zemědělství v roce 2016 změnit poldr na trvale zaplavenou nádrž. V roce 2018 se tak stala prioritním úkolem ministerstva víceúčelová nádrž s přínosem protipovodňovým i „protisuchovým“, zásobovacím pro závlahy na jižní Moravě i průmysl v Přerově, rekreačním, rybářským, energetickým... Představa investora o rychlém schválení této podoby díla, tj. průtočné přehradě přehrazující tok Bečvy, našťastí vzala za své, a to díky apelaci senátorů RNDr. Jitky Seitlové a Petra Orla. Byla prosazena podmínka provedení hydrogeologického průzkumu(!) a rozhodnutí o variantě díla odsunuto až po jeho dokončení. V téže době (2016) přišla neformální platforma nevládních organizací a jednotlivců s názvem Spojená Bečva s návrhem bočního suchého poldru, který by eliminoval zničení šterkonosné funkce řeky přehrazením jejího toku, což investor následně pod tlakem zahrnul do zpracovávaných variant.

V roce 2018 investor zadal jak hydrogeologickou studii (vyhodnocena 2021), tak i tzv. multikriteriální analýzu (MKA), kterou zpracovávali stavaři VUT Brno s cílem širokého mezioborového posouzení a výběru nejvhodnější varianty. Oba materiály tedy vznikaly souběžně(!), přestože hydrogeologická studie by měla být logicky až po svém dokončení a vyhodnocení podkladem pro multikriteriální posouzení. MKA byla dokončena v roce 2021 a vybrala variantu trvale zatopené boční nádrže. Přestože neprošla žádnou oponenturou a rezort životního prostředí v čele s ministerstvem a hydrogeology ji v tzv. svodném vyjádření připomínkoval nesouhlasně od metodiky přes kvalitu hydrogeologického monitoringu, vstupní parametry matematických modelů až po její závěry, investor ji nadále prezentuje jako objektivní odborný podklad a neprůstřelné „zaklínadlo“ pro další kroky rozjetého schvalovacího procesu. Rozpor totiž šalamounsky vyřešila dohoda ministerstev zemědělství a životního prostředí: na základě programového prohlášení vlády z července 2022, v němž se vláda zavázala stavět pouze přehradu na pitnou vodu, je zbytečné připomínky MŽP vypořádávat – a investor změnil vítěznou variantu na boční suchou nádrž s manipulovatelným vtokem...

S tímto rozhodnutím pokročil investor k vypracování studie technického řešení díla a zadal ji firmě Aquatis



Obr. 2: Niva Bečvy u obce Skalička se zákřesem plánované nádrže. V pravém dolním rohu začátek teplického kaňonu. Foto: Ústav krajinného plánování ZF MendelU, Lednice.

a. s. Brno. O průběhu jejího zpracování (06/2023-06/2025) byli čas od času informováni zástupci okolních obcí, MZe a MŽP, avšak pozvánky na informační schůzky se jen výjimečně dostávaly k AOPK ČR Olomouc – k ČGS a Správě jeskyní ČR vůbec. V rámci schůzek před koncem roku 2024 se poprvé objevila informace zpracovatele, že pro zajištění nátoků vody do boční nádrže ve spádově plytké říční nivě bude třeba vybudovat další technické stavby (sypané hráze nebo betonové objekty), jednu z nich přímo přehrazující tok Bečvy. To však zcela mění dohodnutý princip, že do kontinua říčního toku nebude zasahováno.

Mezitím se specialisté ČGS Brno v rámci projektu RENS „Podzemní voda v krasových oblastech“ intenzivně zabývali výzkumem vod v Hranickém krasu a okolí. Jejich nové poznatky významně zpřesňují poznání zdejší hydrogeologické struktury, ale současně nastolují zásadní geologická rizika, která dosavadní příprava vodního díla nemohla zohlednit. Hlavním „objevem“ je objasnění úlohy dosud opomíjených tzv. černotínských pískovců v podloží a okolí vodního díla. Nová zjištění prokazují, že pískovce v různých mocných vrstvách přivádějí podzemní vody až z oblasti Oderských vrchů a jsou zdrojem vody ve studnách v Hluzově, Černotíně, Špičkách a Hranických Loučkách. Tato hornina je výrazně nehomogenní, plná puklin a může představovat vážný problém těsnění přehradní hráze. Samotným stavebním zásahem a těsněním navrhovaných hrází a technických objektů může také dojít k rozvrácení dosavadního stabilního proudění a tlakových poměrů v říční nivě Bečvy, na nichž závisí vodárenský zdroj u Ústí nebo prameny teplické kyselky, a to zejména v období sucha. A podobných problémů je celá řada.

ČGS a SJ ČR se v rámci svých omezených možností snažily zjištěné poznatky tlumočit zpracovateli, aby je mohl zohlednit ve zpracovávané technické studii, avšak bez úspěchu. Počátkem roku 2025 proto upozornily na závažnost situace MŽP, které pověřilo vedením dalších jednání ředitele ČGS Mgr. Zdeňka Veneru, Ph.D. ve spolupráci se sekci ochrany životního prostředí MŽP.

V dubnu 2025 byl z iniciativy senátorky RNDr. Jitky Seitlové svolán Kulatý stůl ve Skaličce, kde ČGS prezentovala nové poznatky a předala investorovi soubor odborných dotazů k řešení. Ze zasláných odpovědí a navazujících setkání zástupců ČGS, investora a zpracovatele k hydrogeologické problematice však vyplynulo, že se vodohospodáři opírají stále o stejné „mantry“ jako v době zahájení prací na multikriteriální analýze. Pro představu: „matematický model proudění vody v nivě prokazuje, že se stavbou poměry v nivě nezmění“ (model sám o sobě nemůže nic prokázat), „model proudění vod v devonských vápencích prokazuje, že stavba

nebude mít vliv na tvorbu kyslesek“ (proudění v krasových dutinách se nedá modelovat), černotínský pískovec je interpretován jako nepropustný jíł (vysvětlení viz výše) aj.

Stále si nechtějí připustit, že z hlediska hydrogeologických podmínek je tato lokalita tou nejnevhodnější a nejkomplicovanější, jakou si snad lze v podmínkách naší republiky představit. Umístění právě sem s sebou nese nutnost vyřešit řadu problémů, které by jinde vůbec nenastaly. Posun poznání hydrogeologické struktury v posledních letech potvrzuje, že se jedná o nesmírně komplikované území, jehož znalost není a nemůže být vzhledem k postupnému zpřesňování informací ani mezi hydrogeologickými odborníky obecná. Navíc – mezi autory hotové technické studie, předložené obcím a vládě k 30. 6. 2025, není hydrogeolog. Jednání k této problematice budou dále pokračovat, neboť ČGS nesouhlasí s tvrzením investora, že hydrogeologické problémy jsou už v této fázi přípravy vyřešeny. Nejsou.

Po zjištění, že zpracovatel studie navrhuje vybudovat na vtokové části díla další, původně neplánované technické stavby (usměrňovací objekt, rozdělovací objekt aj.), vedla paralelně AOPK ČR Olomouc během února až května 2025 několik jednání se zpracovatelem k provedeným a plánovaným revitalizačním opatřením a splaveninovému režimu v lokalitě. Interpretaci výsledků jednání ponechávám na kolezích z AOPK ČR. Ve výhledu je také setkání zástupců ČGS a AOPK ČR ke konzultaci společného postupu.

Politikům a vodohospodářům se zatím daří hydrogeologické argumenty odsouvat jako zbytečně komplikující marginálii při prosazování stavby, kterou „přece všichni tolik potřebujeme“. Při plném vědomí nutnosti protipovodňové ochrany sídel níže po toku Bečvy, s osobními zkušenostmi z povodní v letech 1997, 2010 a čerstvě 2024 jsem přesvědčena, že výsledné řešení nemá nadělat víc škody než užitku a je nutné přijmout také fakt, že žádná protipovodňová ochrana není všespásná. K takové komunikaci s veřejností má však málokterý politik odvahu.

Ústy odborníků varujeme před fatálními dopady budování 16 m vysoké těsněné hráze o délce 8 km v ploché říční nivě na proudění podzemní vody ve štěrčích, na stabilitu zdrojů ve studních v okolních obcích i lázeňských pramenech. Vysvětlujeme, že mocné vrstvy říčních štěrků dotují v době sucha vodu do koryta jako obrovská „vodní špajzka“ a není vůbec uvažováno, co nastane po zatěsnění 8 km hráze do podloží. Snažíme se vyložit, že úroveň vody v Bečvě je regulátorem úrovně kyselky, tím i rychlosti jejího odtoku do koryta Bečvy, tedy vyprazdňování devonské zvodně s přímým dopadem na mineralizaci kyselky a její proplynění.

Od roku 2016 běží výkup pozemků pro stavbu díla, který má být ukončen v roce 2027. V roce 2023 varianta boční suché nádrže s manipulovatelným vtokem vstoupila i do územně plánovací dokumentace, a to v podobě Mimořádné aktualizace Politiky územního rozvoje ČR č. 6. Úkol vymezit prostor pro stavbu v potřebném detailu a vypořádat její rozpory tak spadl na Olomoucký (částečně i Zlínský) kraj, které jej musí vyřešit v Zásadách územního rozvoje kraje. Olomoucký kraj vyčlenil VD Skalička z prováděných aktualizací pro jeho složitost zvláště a zaúkoloval investora, aby v rámci studie technického řešení předložil zpracované posouzení vlivu na životní prostředí (SEA) v potřebné podrobnosti, kterou kraj v takovém detailu nemůže zadat. Vzhledem k výše uvedenému bude jistě zajímavé, jak hodnotitel SEA posoudí takto úzce specializovanou hydrogeologickou a hydrologickou problematiku.

Zajisté je třeba vyvolat širokou diskuzi, v níž by odborné argumenty konečně dostaly prostor, a vynaložit veškerý argumentační um, aby byly příslušnými institucemi také uchopeny. Jedině tak se lze dobrat nalezení vhodnějšího řešení, než jakým je v tuto chvíli jednoznačné politické zadání. Jistě by přicházela do úvahy i variantní řešení s menšími dopady, např. v podobě několika menších, vhodněji situovaných suchých poldrů nejen u Skaličky, ale i v povodí proti toku nad ní. Diskuzi na toto téma však ministerstvo zemědělství zcela odmítá. Postup schvalovacího procesu bude také výrazně urychlen účinností tzv. liniového zákona, do jehož novely v roce 2020 se přes snahu senátorky Seitlové dostalo i Vodní dílo Skalička. V sázce je nevrátne zničení přírodních jevů a hodnot, které nelze nahradit.

#### Poděkování

Ráda bych vyslovila poděkování a úctu lidem, kteří se aktivně angažují v hledání řešení navzdory politickým tlakům a nevěli okolí: týmu geologů a hydrogeologů České geologické služby, zejména hydrogeoložce RNDr. Jitce Novotné; geologovi, hydrogeologovi a jeskyňáři Doc. Milanu Geršlovi, Ph.D.; hydrogeoložce a senátorce RNDr. Jitce Seitlové; týmu Českého svazu ochránců přírody ve Valašském Meziříčí v čele s panem Miroslavem Dvorským; týmu platformy Spojená Bečva; balneologovi lázní Teplic n. B. panu Zdeňku Růžičkovi a týmu Českého inspektorátu lázní a zřidel pod vedením Mgr. Zdeňka Trískaly.

*V Teplicích nad Bečvou 4. 7. 2025*

## CO PŘINESLY POVODNĚ 2024 DO SUCHÉHO ŽLEBU V MORAVSKÉM KRASU

*Eva Kryštofová<sup>1</sup>, Vít Baldík<sup>1</sup>, Roman Hadac<sup>1</sup>, Filip Chalupka<sup>2</sup>, František Kuda<sup>3</sup>, Jiří Nečas<sup>1</sup>, Roman Novotný<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Česká geologická služba, Jircháře 4a, 602 00 Brno, e-mail: eva.krystofova@geology.cz

<sup>2</sup> AOPK ČR, Správa CHKO Moravský kras, Svitavská 29, 678 01 Blansko

<sup>3</sup> Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Drobného 28, Brno

#### Abstrakt:

V roce 2024 byl Moravský kras postižen dvěma povodňovými událostmi. První z nich se odehrála v noci z 21. na 22. června, kdy při přechodu bouřkové fronty spadlo extrémní množství srážek v průběhu několika hodin a postihla s. a zejména sv. část Moravského krasu v oblasti Harbešské plošiny a povodí Suchého žlebu. Druhá povodeň kulminovala 15. září po nekolikadenních vytrvalých deštích a postihla zejména s. část Moravského krasu v oblasti hlavních ponorů Sloupského potoka a Bílé vody a na ně navazující Punkvu. V závislosti na odlišném rozložení srážek se v detailně zdokumentované oblasti Suchého žlebu a přilehlé Harbešské plošiny významně lišily projevy a dopady obou povodňových událostí.

**Klíčová slova:** Moravský kras, extrémní srážky, soustředěný odtok, kulminace hladin, periodické vyvěračky.

#### 1. Úvod

Suchý žleb je kaňonovitě meandrující údolí v severní části Moravského krasu, jehož svahy popisuje Karel Absolon jako „*k pláči holé, pokryté spoustami mrtvého kamení, sálající v létě horkem, bez vegetace, pusté a vyprahlé...*“. Ale stráně byly zalesněny a zejména od Horní Úzké ke Skalnímu Mlýnu je Suchý žleb i v horkém létě spíš stinný a temný. Není však protékán povrchovým tokem a nejsou v něm stálé vyvěračky.

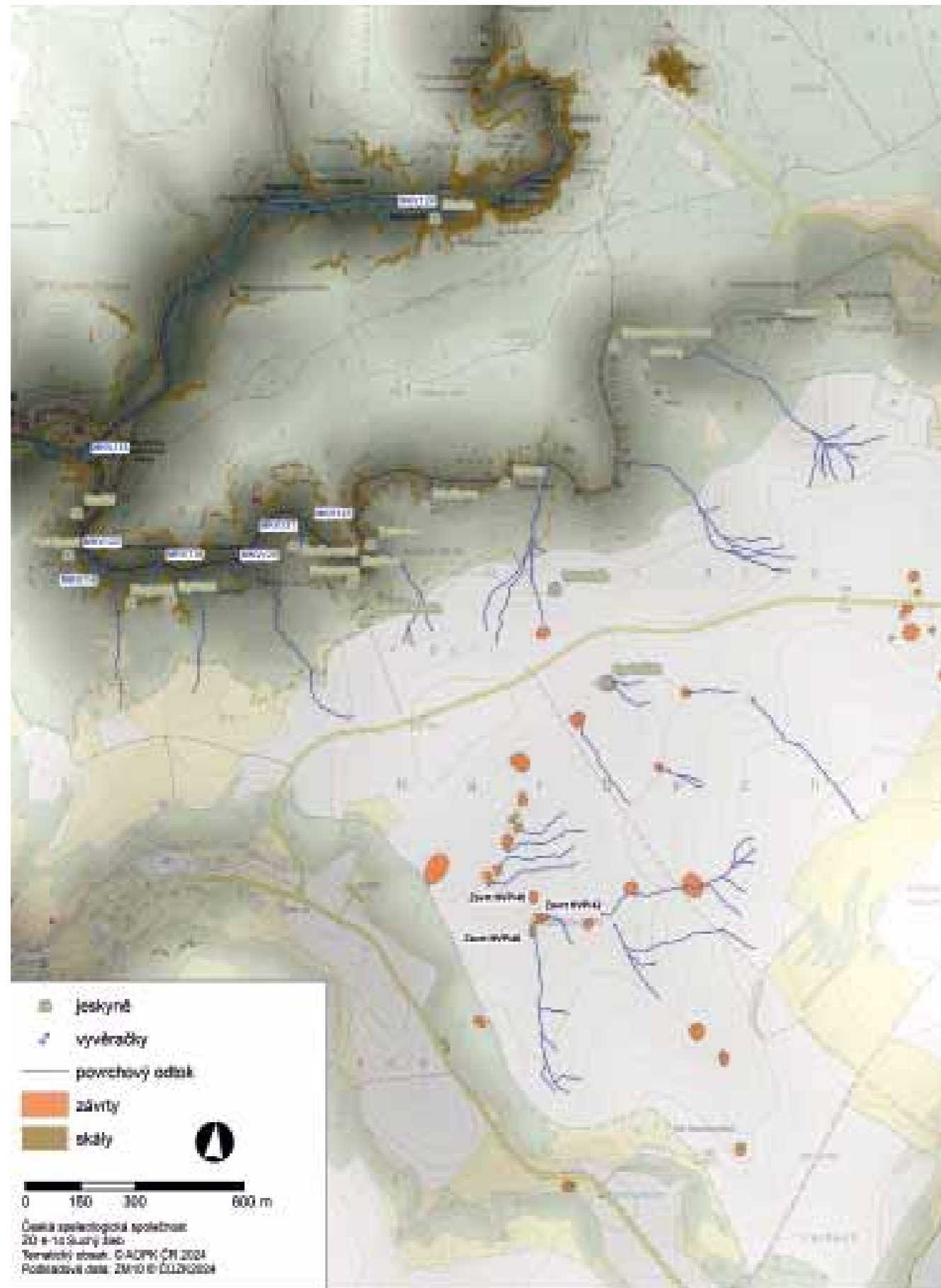
#### 2. Blesková povodeň v červnu 2024

V noci z 21. na 22. června spadlo během několika málo hodin extrémní množství srážek, nejbližší srážkoměrná stanice Šošůvka uvádí srážkový úhrn 73 mm. Na loukách a zejména na polích osetých kukuřicí na Harbešské plošině se mimořádné objemy srážek nestačily vsakovat a nastal soustředěný povrchový odtok. Směřoval k jednotlivým závrtovým depresím (obr. 1), mnohé z nich se proměnily se v dočasné ponory. Mělká údolíčka v polích nasměrovala vodu do roklí směřujících do Suchého žlebu, na jehož svazích soustředěný povrchový odtok vymlel hluboké erozní rýhy až na skalní podloží a odnesený materiál vytvořil dejekční kužely ve dně Suchého žlebu, kterým protékala povodňová řeka.

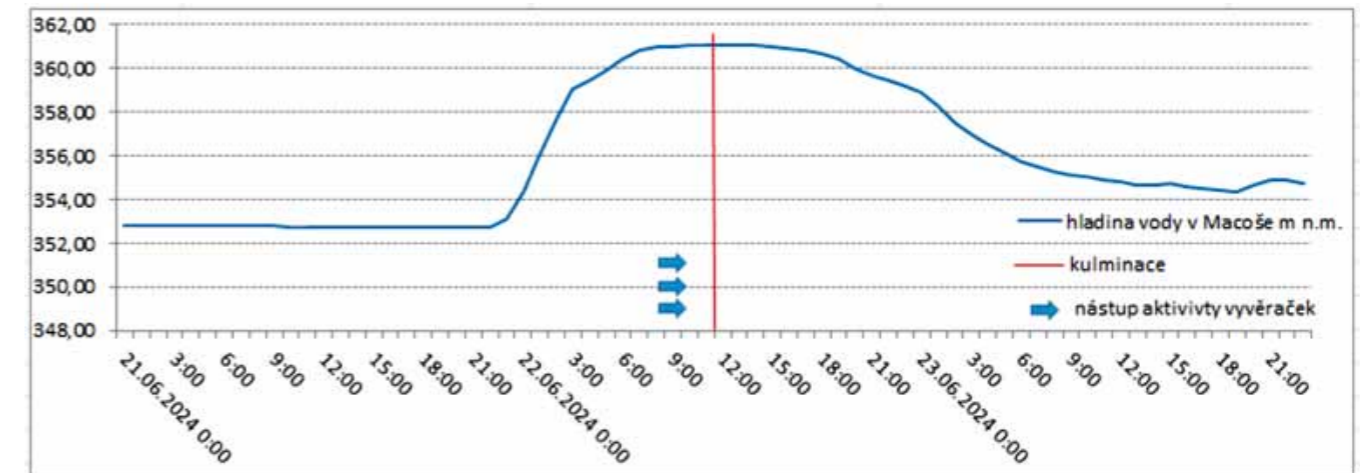
V důsledku bleskové povodně začaly téct periodické vyvěračky v dolní části Suchého žlebu (obr. 1) – Pod Kateřinským prstem (MKV118), Pod Zábranského stěnou (MKV119) a Pod Čertovými okny (MKV120), a také vyvěračka pod Hanákem (MKV125) na soutoku obou žlebů. Vodou se zaplnil vstup do jeskyně Mastný flek (MKV123) a prohlubeň naproti Mastnému fleku za silnicí (MKV121), odkud voda prosakovala na silnici. Aktivní byly také vyvěračky v sousedním Pustém žlebu – Pod Salmovkou, Pod Chobotem a povodňový průtok byl zaznamenán na Malém vývěru Punkvy i na vývěru Punkvy. Aktivita vyvěraček nastoupila během několika málo hodin časně ráno 22. června 2025, a to ještě před kulminací hladiny vody v Macoše (obr. 2).

#### 3. Povodeň v září 2024

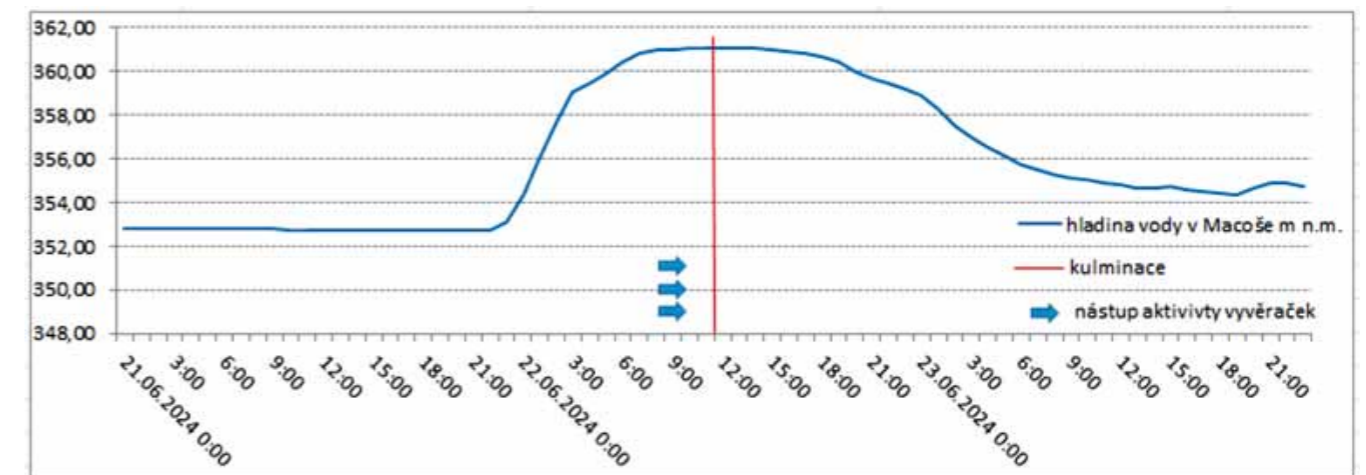
Záříjová povodeň nastala po nekolikadenních vytrvalých deštích s celkovým úhrnem srážek ve stanici Šošůvka téměř 160 mm a v Moravském krasu kulminovala 15. září 2024. Postihla zejména s. část Moravského krasu v oblasti hlavních ponorů ve Sloupu a Holštejně. Vlivem rozložení srážek na delší časový úsek nevznikl v oblasti krasových plošin soustředěný povrchový odtok, srážková voda stačila infiltrovat a Suchý žleb nebyl protékán povodňovým tokem. I v důsledku této povodně byly aktivovány periodické vyvěračky Pod Kateřinským prstem a Pod Zábranského stěnou, jejich aktivita však nastupovala postupně se vzájemným zpožděním několika dnů,



Obr. 1: Přehledná mapa Suchého žlebu a Harbešské plošiny



Obr. 2: Průběh hladiny vody v Macošě a vyznačení nástupu aktivity vyvěraček v dolní části Suchého žlebu v červnu 2024



Obr. 3: Průběh hladiny vody v Macošě a vyznačení aktivity vyvěraček v dolní části Suchého žlebu v září 2024, legenda viz obr. 2

a to až po kulminaci hladiny vody v Macošě (obr. 3). Nejvýše položená vyvěračka Pod Čertovými okny nezačala téct vůbec.

#### 4. Chemismus vody periodických vyvěraček

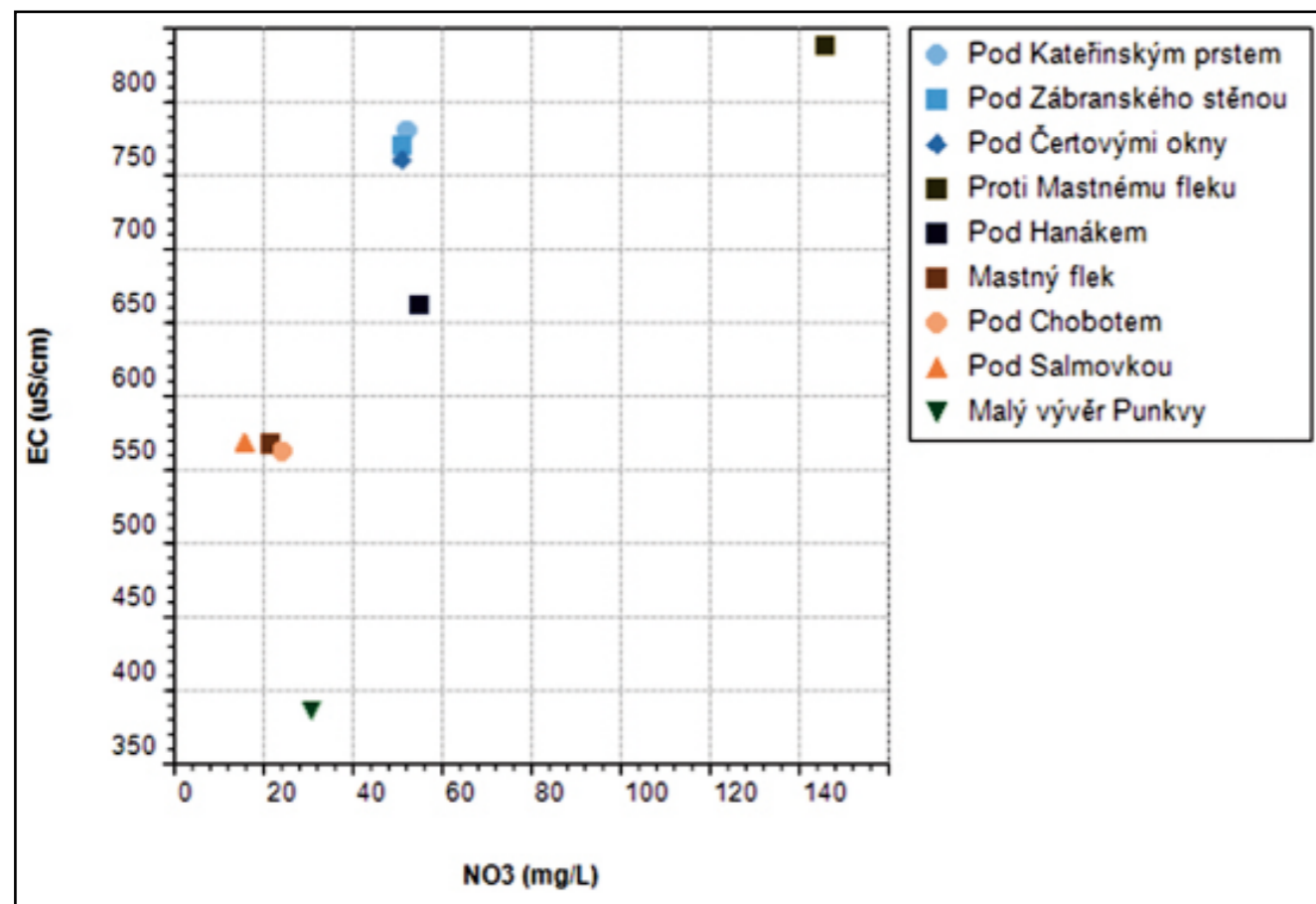
Po dobu své aktivity byly periodické vyvěračky opakovaně vzorkovány pro analýzy chemického složení vody. Jednotlivé skupiny vod se od sebe významně odlišují aniontovou částí majoritních složek, zejména zastoupením hydrogenuhličitanů a dusičnanů, a také výší měrné elektrické vodivosti EC (obr. 4). Chemické složení vody z vyvěraček v dolní části Suchého se po celou dobu jejich aktivity v podstatě neměnilo a zcela jednoznačně se nejedná o rychlou povodňovou vodu, ale o vodu s delším zdržením v krasovém kolektoru.

Voda z vyvěraček v Suchém žlebu tvoří jasně definovanou skupinu (modré body), která se odlišuje od ostatních vod v okolí. Další skupinu tvoří vody z vyvěraček v Pustém žlebu spolu s vodou z Mastného fleku (oranžové body). Od obou těchto skupin se odlišují vody z Malého vývěru Punkvy a voda z prohlubně proti Mastnému fleku. Zcela odlišné je také zastoupení pesticidních látek ve vodě z vyvěraček v Suchém žlebu a v rychlé povodňové vodě z Malého vývěru Punkvy (obr. 5).

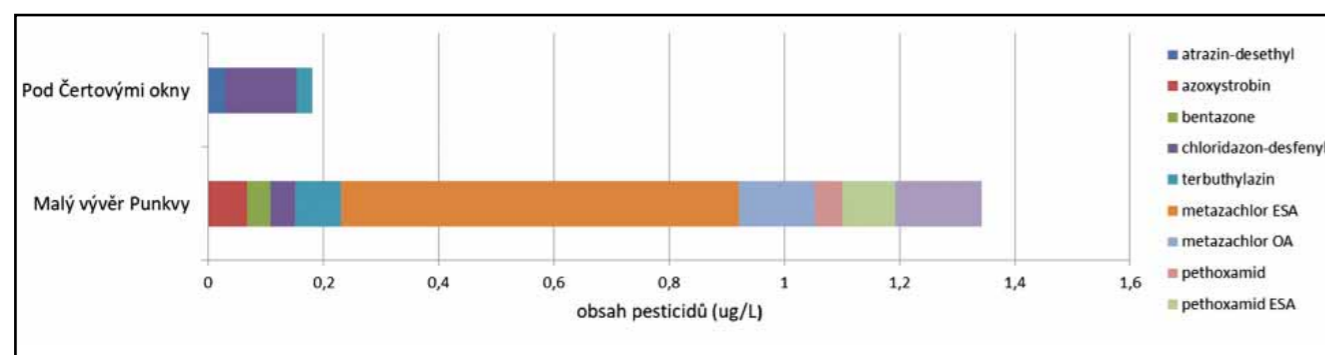
#### 5. Co povodně přinesly nového

Ladislav Slezák (Flek 2018) na základě dlouholetých pozorování a zejména po vyhodnocení povodně v roce 1997 předpokládá, že nástupy i poklesy hladin periodických vývěrů jsou v přímé souvislosti s oscilacemi hladin vody kolem Macochy. Uvádí také, že tyto periodické vody nepatří k povodí Harbešské plošiny, ale jednoznačně k vodám Punkvy (případně Východní větve).

Srovnání projevů obou povodní v roce 2024 ukázalo, že situace není tak jednoznačná. Všechny tři vyvěračky v dolní části Suchého žlebu velmi rychle během několika hodin a bez výraznějšího vzájemného zpoždění zareagovaly na aktivaci dočasných ponorů v závrtch na Harbešské plošině při červnové bleskové povodni. Otázkou zůstává, zda voda vytékající ve vyvěračkách skutečně infiltrovala na Harbešské plošině, nebo zda se jedná pouze o hydraulickou odezvu.



Obr. 4: Diagram závislosti měrné elektrické vodivosti na obsahu dusičnanů



Obr. 5: Zastoupení pesticidních látek

#### SEZNAM LITERATURY:

JAN KELF FLEK (2018): Velká voda a kras. – Správa jeskyní České republiky. Blansko. Acta Speleohistorica, vol. 01/2018. 96 str.

## POZOROVÁNÍ A MĚŘENÍ NÁSLEDKŮ POVODŇOVÝCH VLN NA SEDIMENTY V SYSTÉMU AMATĚRSKÉ JESKYNĚ

Stanislav Lejska<sup>1</sup>, František Kuda<sup>2</sup>, Barbora Špinarová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 43, 616 67 Brno, e-mail: stanislav.lejska@chmi.cz, barbora.spinarova@chmi.cz

<sup>2</sup> Ústav geoniky AV ČR, Drobného 28, 602 00 Brno, e-mail: frantisek.kuda@ugn.cas.cz

### Abstrakt:

Přesuny štěrkových sedimentů běžně provázejí povodňové průtoky, ať už se jedná o povrchové toky, nebo toky podzemní. V systému Amateřské jeskyně se nachází více míst, kde jsou změny štěrkové výplně podzemních chodeb obzvláště patrné, ale my se v tomto příspěvku zaměříme především na dvě lokality a dvě metody posuzování změn sedimentární výplně.

**Klíčová slova:** Amateřská jeskyně, povodeň, sedimenty, hydrometrování, laserové skenování

### 1. Úvod

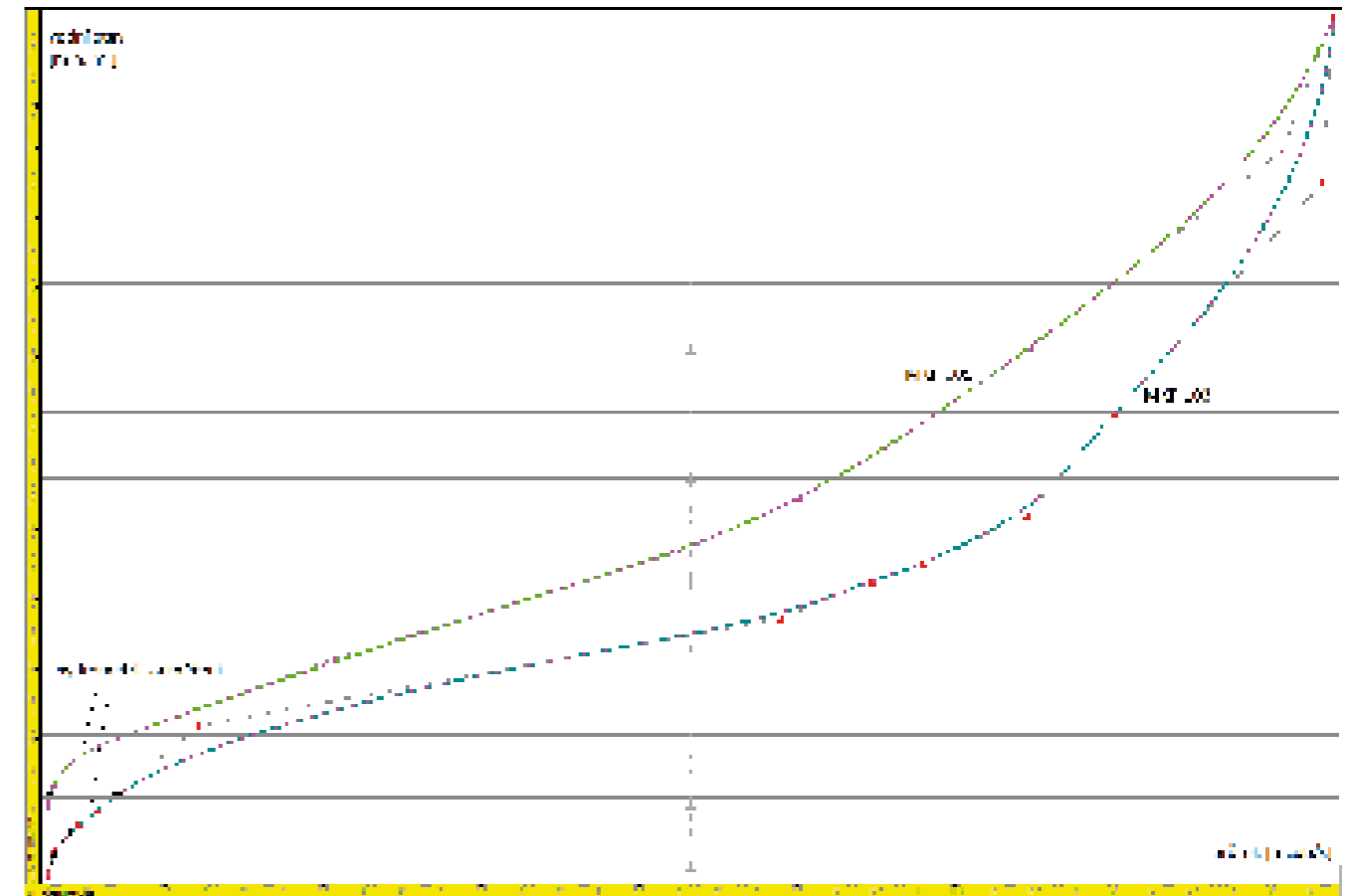
V březnu 2013 jsme započali s 3D mapováním Amateřské jeskyně pozemním laserovým skenerem Leica C10, přičemž za první stanoviště skeneru jsme zvolili štěrkovou terásku v Rozlehlé chodbě před vstupem do Krematoria. Tehdy nebylo naším záměrem zabývat se štěrkovými sedimenty, šlo nám především o precizní zmapování jeskynního systému pro potřeby hydrologických měření. Jenže roky 2013 a 2014 byly docela vodnaté, a nám po čtyřech vlnách, kdy Bílá voda protekla Rozlehlou chodbou, došlo, že využití skeneru pro sledování změn štěrkových sedimentů se doslova nabízí, a daný úsek chodby jsme opakovaně přeskenovali. Začali jsme se tak věnovat pozorování a měření změn sedimentů v systému Amateřské jeskyně, a zde překládáme naše průběžné poznatky.



Obr. 1: Měření průtoku v měrném profilu pod Dómem objevitelů ve Staré Amateřské j.



Obr. 2: Jeskynní systém Amaterské jeskyně v Moravském krasu



Obr. 3: Měrné křivky (MKP) pro profil pod Dómem Objevitelů ve Staré Amaterské jeskyni. MKP 103 je platná pro vzestupnou vlnu povodně v září 2024 (tzn. před kulminací), MKP 105 je platná pro sestupnou vlnu povodně (tzn. po kulminaci). Je jasně patrné, že spodní části křivek se rozcházejí, protože po kulminaci se koryto Bílé vody zaneslo štěrkovým materiálem.

## 2. Zájmové podzemní úseky toku Bílé vody: Rozlehlá chodba v Nové Amaterské jeskyni a Stará Amaterská jeskyně

Zaplavování Rozlehlé chodby je jev čistě přírodního charakteru. Postaral se o něj proces nekonečných změn hydrauliky krasových tratí přesně designovaných pro „pohodové“ odvedení povodňových vod. Interpretaci dat za posledních deset let hydrologických měření jsme jakžtakž schopni říct, kdy výlet do Amaterky mohl opravdu stát za to, protože na vlastní oči pozorovat Bílou vodu tekoucí Rozlehlou chodbou je opravdu krásný zážitek.

V srpnu 2019 jsme pod hlavičkou ČHMÚ ve Staré Amaterské jeskyni nainstalovali hladinoměr ALA, který primárně slouží ke kontinuálnímu záznamu změn výšek hladiny Bílé vody v jejím řečišti pod Dómem Objevitelů a k okamžitému přenosu těchto dat na internet. Místo našeho měření je shodné s umístěním limnigrafu, který tu byl instalován na konci 60. let 20. století a který byl před nedávnem demontován. Řečiště Bílé vody v profilu pod Dómem Objevitelů poskytuje také dobré podmínky pro hydrometrování, tedy pro měření průtoků (obr. 1), proto se k této podzemní stanici chováme v podstatě stejně jako k povrchovým stanicím sítě ČHMÚ. To znamená, že Bílou vodu ve výše zmiňovaném profilu vyhodnocujeme i průtokově, neboli vyrábíme časovou řadu průtoků, kterou pak můžeme porovnávat s průtokovou řadou limnigrafické stanice Holštejn, nacházející se nad propadáním Bílé vody do podzemí (obr. 2).

Abychom jakýkoliv tok co nejlépe průtokově vyhodnotili, nestačí jen zaznamenávat vodní stavy, v daném profilu je třeba pravidelně hydrometrovat. Jak všichni dobře víme, koryta toků se neustále mění, nejen po povodních. Hydrolog pak musí v každé limnigrafické stanici alespoň 4x až 6x do roka měřit průtok a toto naměřené číslo dává do páru s aktuální výškou hladiny neboli vodním stavem. Pár hodnot – průtok a vodní stav – pak porovnává s tzv. měrnou křivkou (obr. 3). Aktuální měrná křivka udává vztah vodního stavu a průtoků a vyjadřuje vlastně aktuální stav říčního koryta v daném profilu. Jednou je naměřený průtok

Datum kulminace	Průtok Holštejn [m <sup>3</sup> /s]	Datum kulminace	Průtok Holštejn [m <sup>3</sup> /s]	Datum kulminace	Průtok Holštejn [m <sup>3</sup> /s]	Průtok Stará AMJ [m <sup>3</sup> /s]
28.01.2002	4.13	16.04.2010	2.11	21.02.2017	2.90	
14.08.2002	2.24	18.05.2010	3.88	24.12.2019	2.32	2.62
31.12.2002	3.20	25.05.2010	2.71	04.02.2020	6.97	6.60
03.01.2003	3.82	02.06.2010	8.27	24.06.2020	2.00	1.73
28.01.2003	5.25	13.06.2010	2.12	26.06.2020	3.12	2.89
04.02.2004	7.56	01.09.2010	3.49	29.06.2020	2.59	2.63
17.03.2004	3.82	29.09.2010	2.45	02.07.2020	2.00	2.27
25.03.2004	3.09	25.12.2010	3.15	14.10.2020	12.50	12.50
10.06.2004	2.53	15.01.2011	2.34	25.12.2020	2.48	2.98
19.03.2005	26.80	18.03.2011	2.13	29.12.2020	2.17	2.73
13.09.2005	9.62	29.02.2012	4.60	05.01.2021		1.96
31.03.2006	13.10	06.01.2013	1.91	24.01.2021		2.06
02.05.2006	5.09	02.02.2013	2.33	04.02.2021	2.28	2.85
08.08.2006	2.70	26.02.2013	2.70	18.02.2023	2.25	2.17
03.02.2007	2.04	09.03.2013	3.08	15.04.2023	4.57	5.03
02.03.2007	2.43	12.04.2013	7.39	15.12.2023	2.29	2.27
25.03.2007	5.72	11.06.2013	3.01	22.12.2023	2.41	2.27
07.09.2007	3.06	04.08.2014	2.71	25.12.2023	10.80	10.50
25.11.2007	2.04	02.09.2014	3.37	03.01.2024	1.91	2.17
08.02.2009	2.49	12.09.2014	7.38	22.06.2024	13.60	14.10
06.03.2009	11.90	01.10.2014	3.80	28.06.2024	1.98	2.35
30.03.2009	2.09	10.01.2015	2.01	01.07.2024	6.56	8.13
01.03.2010	6.33	19.02.2016	4.57	14.09.2024	16.30	16.30
22.03.2010	4.19	29.05.2016	6.95			

Tab. 1: Pravděpodobný seznam všech událostí, kdy Bílá voda protékla Rozlehlou chodbou v Amatérské jeskyni od roku 2002 po současnost (pozn. Rozlehlou vyznačené červeně – pravděpodobně neteklo, modře – teklo/předtím 2.7.2020/vodnatý červen; 3.1.2024/vodnatý prosinec; 28.6.2024/vodnatý červen)

při daném vodním stavu vyšší než udává měrná křivka, tzn., že se koryto vodního toku v měrném profilu prohloubilo. Jindy je naměřený průtok nižší, což znamená, že koryto toku se sedimenty zaneslo. Tento cyklus se děje pořád dokola a my díky tomu máme další nástroj ke sledování změn sedimentárních výplní koryt.

Od srpna 2019 jsme na Bílé vodě zaznamenali 21 vln, které protekly Rozlehlou chodbou v Nové Amatérské jeskyni (tab. 1), ale za povodeň bychom mohli označit snad jen dvě. První z nich protekla Amatérskou jeskyní v říjnu 2020, a my jsme jí věnovali rozsáhlý článek ve Speleofóru (Lejska et al., 2021). Měrný profil ve Staré Amatérské jeskyni po ní zůstal prakticky nezměněn, a já jsem ve výše zmiňovaném příspěvku uváděl kótu 394,27 m n. m., jakožto výšku hladiny Bílé vody, při které tato začíná téct Rozlehlou chodbou. A skutečně tomu tak nějakou dobu bylo, nic na tom nezměnila ani blesková povodeň v červnu 2024, v kulminaci ještě vyšší než ta z října 2020. Jenže, máme ve zvyku posuzovat velikost povodně podle kulminačního průtoku, zjednodušeně řečeno, podle toho, jak vysoko voda vystoupá... Neméně důležitá je však i hodnota objemu povodňové vlny, neboli množství vody, které daným profilem při povodni proteče. A v tomto ohledu byla blesková červnová povodeň roku 2024 docela nevýznamná. Vše se mění až o tři měsíce později, v září 2024. Tato vlna nejenže byla v kulminaci nejvyšší dosud námi naměřenou povodní v Amatérské jeskyni, byla však nejvyšší, i co se objemu vlny týče (tab. 1).

A je tu další faktor, který zřejmě zapůsobil ve prospěch velkého přesunu šterkových sedimentů... Záříjová vlna roku 2024, byť jí předcházela bouřlivý červen a červenec, udeřila po dlouhotrvajícím suchu

druhé poloviny července až začátku září. Průtoky klesly na minimum a povodňová voda tak vstoupila do koryt se „suchými“ sedimenty, které je pro vodu snadnější „rozvolnit a brát“ než sedimenty „mokré“. A to je podstatný rozdíl oproti povodni z října 2020, které předcházelo deštivé počasí.

Každopádně je jasné, že teprve záříjová povodeň roku 2024 svojí kulminační výškou a objemem, ale i předcházejícím suchem, dokázala změnit dosud stabilní měrnou křivku (viz obr. 2), a to výrazně. Na základě hydrometrických měření lze konstatovat, že koryto Bílé vody pod Dómem Objevitelů, tedy v místě jakési přirozené hráze, bylo zaneseno dvacetimetrou vrstvou šterků. Tento fakt byl ověřen 3D mapováním pomocí statického laserového skeneru. Všechny milovníky povodňových průtoků dychtících po tom, vidět Bílou vodu tekoucí Rozlehlou chodbou do Bludiště Milana Šlechty, tímto prosím, aby si opravili hodnotu hladiny Bílé vody ve Staré Amatérské, jež tuto událost avizuje... A sice z výše uvedených 394,27 m n. m. na zatím empiricky neověřených 394,40 m n. m.

#### Závěr

V tomto příspěvku jsme se podrobně věnovali pouze malým podzemním úsekům toku Bílé vody, a to navíc v různých časových rovinách. Záříjová vlna roku 2024 byla největší povodní na Bílé vodě od března 2005 a pamětníci by snad věděli, jak tato povodeň tehdy „zahýbala“ jeskynními sedimenty. My můžeme pouze konstatovat, že za více než deset let našich pozorování se výška sedimentů v Amatérské jeskyni po větších povodních mění v řádu prvních decimetrů. Jeskynní systém se však sám dokáže udržovat v rovnovážném stavu, a tam kde jedna voda „brala“, další většinou zase „vrátila“...

#### SEZNAM LITERATURY:

LEJSKA S., KUDA F., SIROTEK J., KNĚŽÍNEK K., BÁRTA B., 2021: Velká říjnová povodeň 2020 aneb revoluce ve výškových poměrech v Amatérské jeskyni, s. 33–48. In: Bosák P., Geršl M., Novotná J. (eds.): Speleofórum 2021: Setkání speleologů v Moravském krasu. Praha: Česká speleologická společnost. 110 s.

## ODHAD INFILTRAČNÍ PLOCHY NA ZÁKLADĚ BILANCE SRÁŽEK A PRŮTOKU V KRASOVÉM ÚZEMÍ

Veronika Kršková<sup>1,2</sup>, Jiří Faimon<sup>1,2</sup>, Stanislav Lejska<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Česká geologická služba, Klárov 131/1, 118 21 Praha 1, e-mail: veronika.krskova@geology.cz

<sup>2</sup> Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Kotlářská 2, 602 00 Brno-střed

<sup>3</sup> Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 2578/43, 616 67 Brno

### Abstrakt:

Jeskynní systém Rudické propadání – Býčí skála představuje rozsáhlý krasový komplex odvodňovaný Jedovnickým potokem. Hydrologické fungování systému je ovlivněno přirozenými podzemními přítoky, antropogenními vstupy (ČOV Jedovnice, vypouštění Jedovnických rybníků) i sezónní variabilitou průtoků. Tato studie se zaměřuje na odhad infiltrační plochy krasového systému pomocí bilance mezi přítoky, odtokem a srážkovým úhrnem. Hydrometrická měření na klíčových profilech doplněná o analýzu srážkových dat umožnila kvantifikovat rozsah infiltrace ze zázemí systému.

**Klíčová slova:** Moravský kras, Rudické propadání, Býčí skála, Svážná studna, model, hydrometrování

### 1. Úvod

Jeskynní systém Rudické propadání – Býčí skála je se svou délkou 13 km druhým nejrozsáhlejším systémem v České republice. Systém je odvodňován Jedovnickým potokem, který se v slepém údolí propadá soustavou vodopádů téměř 90 metrů pod povrch do Rudického propadání. Jedovnický tok je dále dotován podzemními přítoky (včetně přítoku z jeskyně Svážná studna) a za Srbským sifonem pokračuje v jeskyni Býčí skála. Hlavní zónou drenáže je vývěrová oblast pod Býčí skálou. Studie se zaměřuje na odhad infiltrační plochy krasového systému na základě rozdílu mezi vstupními a výstupními průtoky a srážkovým úhrnem v daném období. K tomu byla využita hydrometrická měření na klíčových profilech.

### 2. Metodika

#### 2.1 Měření průtoku pomocí ultrazvukové a indukční metody

Na měření průtoků se používal přístroj FlowTracker2 (SonTek 2019) (obr. 2) a přístroj OTT MF pro (OTT Hydromet – HYDROMETRICS 2017). Na vybraných profilech (obr.4) se následně měřili průtoky v nepravidelných intervalech, přičemž se srovnávaly s průtoky měřeními na stanicích ČHMÚ u ČOV



Obr. 1: Míchání solného roztoku při měření průtoku přístrojem QT – Tracer (Býčí skála, Kaňony)



Obr. 2: Měření přístrojem FlowTracker2 (Rudické propadání, za Chodbou Staré řeky)

Jedovnice a na soutoku Křtinského a Jedovnického potoka. V Rudickém propadání byly vytipovány 4 měrné profily (obr. 4), měření se uskutečnilo dvakrát během roku. V jeskyni Býčí skála byly FlowTrackerem2 měřeny profily ve Velké síni a na soutoku Křtinského a Jedovnického potoka.

#### 2.2 Měření průtoku směšovací stopovací zkouškou

V úseku Kaňony – Vývěr byla použita metoda měření průtoku pomocí indikátorů. Při metodě se využívá přístroj TQ – Tracer (Sommer) (obr.1). Při zkoušce se změní konduktivita vody, následně se vsype do toku v množství stanoveném normou solní roztok a potom se v kontrolovaném profilu měří zředění.

#### 2.3 Měření průtoku s použitím měrného profilu

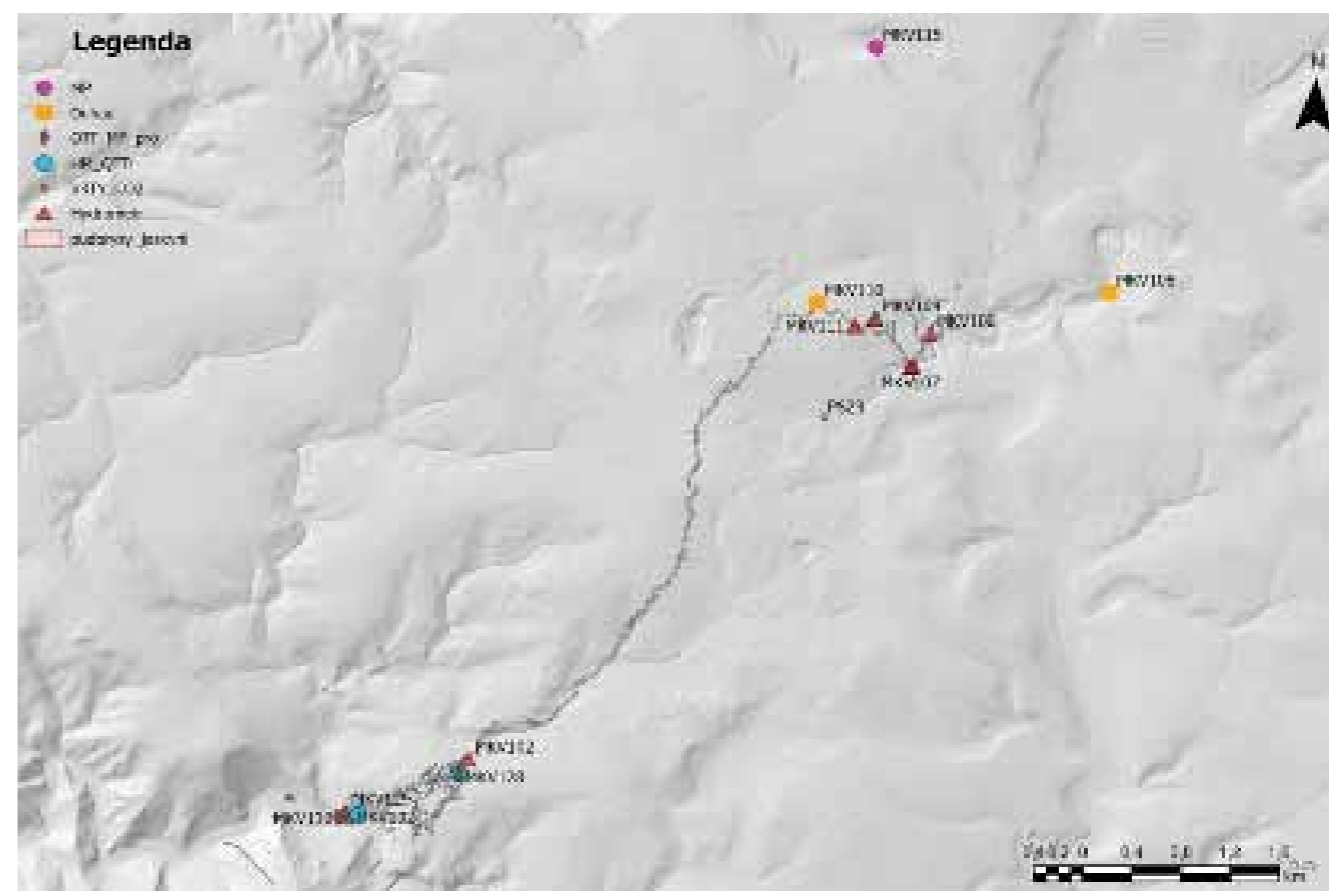
V méně dostupných lokalitách byl průtok odměřen pomocí měrného profilu, nádoby a stopek. Tak byl změřen Přítokový komín v jeskyni Svážná studna, který dotuje Starou řeku.

#### 2.4 Zpracování dat

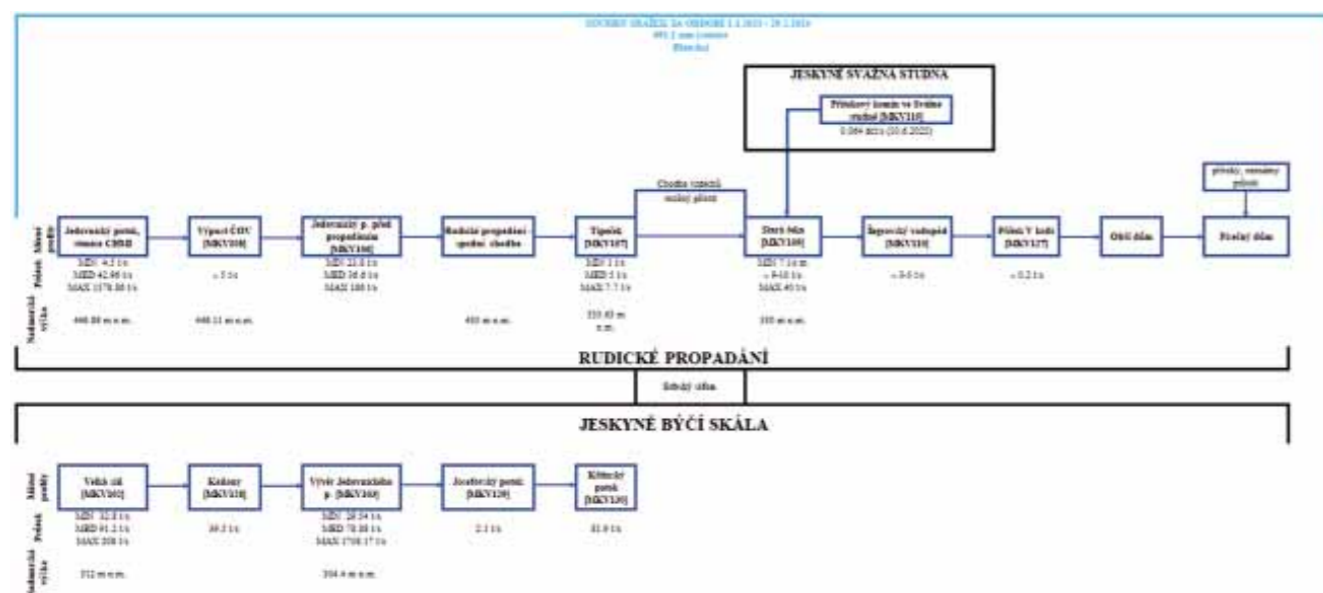
Průtoková data byla zpracována pomocí numerické lichoběžníkové integrace, která umožnila spočítat celkový objem vody (v m<sup>3</sup>) proteklý jednotlivými profilemi mezi 1. 1. 2023 a 29. 2. 2024. V případě výpadků byla data doplněna lineární interpolací. Extrapolace vycházela z typických vydatností jednotlivých podzemních i povrchových přítoků, jejich sezónního chování a dostupných historických měření v obdobných hydrologických situacích.

Na základě hydrometrických měření, dlouhodobého sledování a rešerše byla vytvořena detailní koncepční schématická mapa systému, která zahrnuje všechna odběrová místa, průtoky v jednotlivých profilech (medián, maximum, minimum), celkový srážkový úhrn v oblasti, a také význam jeskyně Svážná studna a jejího vztahu k Rudickému propadání, prostorové zobrazení Svážné studny a jejího vztahu k systému Rudického propadání – Býčí skála.

Model přehledně vizualizuje bilanci přítoků a odtoku a slouží jako podklad pro výpočty infiltrační plochy i pro lepší pochopení fungování hydrologického systému.



Obr. 4: Mapa se znázorněnými měrnými body v rámci systému RP-BS, včetně Svážné studny

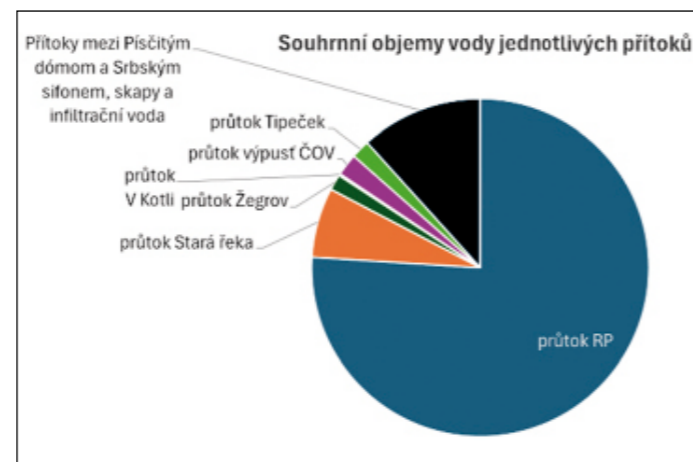


Obr. 3: Zjednodušený koncepční model systému Rudické propadání – Býčí skála

### 3. Výsledky

Obrázek 5 znázorňuje zjednodušený schematický model jeskynního systému. Jednotlivé odběrné místa a měrné profily jsou doplněny o hodnoty průtoku ve formě mediánu, maxima a minima. Na vybraných místech je uvedena průměrná hodnota průtoku, jelikož jsou tato místa obtížně dostupná a data jdou měřena nárazově. Model znázorňuje i propojení jeskyně Svážná studna s Rudickým propadáním skrze dotování přítoku Stará řeka vodami z Přítokového komínu. Pro úplnost jsou některé místa doplněny o nadmořskou výšku, která byla dopočtena na základě rešerše. Systém je propojen s jeskyní Býčí skála skrze Srbský sifon. Měření v Býčí skále začínají ve Velké síni, před Kaňony a končí Křtinským potokem.

Graf 1 (koláčový graf) znázorňuje souhrnné objemy vody (v m<sup>3</sup>), které protékaly jednotlivými profily v období od 1. 1. 2023 do 29. 2. 2024. Zahřnutý jsou všechny sledované vstupy do systému (přítok Stará řeka, Žegrov, Tipeček, výstup ČOV, V Kotli) a výstupní profil – vývěr Jedovnického potoka u Býčí skály. Mezi přítoky s nejvyšším podílem patří samotný Jedovnický potok a přítok Stará řeka. Nezanedbatelný podíl tvoří vody z neměřených přítoků, skapů a infiltrační voda.



Graf 1: Koláčový graf znázorňující souhrnné objemy vody jednotlivých přítoků

### 4. Závěr

Bilance průtoků systému Rudické propadání – Býčí skála ukazuje, že odtok z vývěru nelze vysvětlit pouze povrchovými přítoky. Výsledky potvrzují významný podíl infiltrace z okolní krasové plošiny. Studie poskytuje podklad pro další modelování a sledování vodní bilance v oblasti. Pokračování měření a trasovacích zkoušek je zásadní pro detailnější pochopení fungování systému.

### Poděkování

Výzkum byl realizován v rámci projektu „Horninové prostředí a nerostné suroviny“ (RENS, č. SS02030023) Technologické agentury České republiky.

### SEZNAM LITERATURY:

SONTEK/YSI INC., 2019: FlowTracker2  
OTT HYDROMET – HYDROMETRICS, 2017: OTT MF pro

## MOŽNOSTI MODELOVÁNÍ PUKLINOVÝCH KOLEKTORŮ A JEJICH APLIKACE PRO KRASOVÉ OBLASTI

Jiří Rez<sup>1</sup>, Vít Baldík<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Česká geologická služba, Leitnerova 22, 602 00, Brno, e-mail: jiri.rez@geology.cz

<sup>2</sup> Česká geologická služba, Leitnerova 22, 602 00, Brno, e-mail: vit.baldik@geology.cz

### Abstrakt:

Modelování distribuce puklin je základním nástrojem pro tvorbu hydrogeologických modelů v horninách s puklinovou propustností. Modely puklinové sítě jsou pro větší území většinou nepoužitelné kvůli limitům výpočetní techniky. Stochastické modelování počtu puklin jednotlivých systémů v buňkách gridu modelu je výpočetně mnohem vhodnější způsob modelování puklinatosti větších území.

**Klíčová slova:** modelování, puklina, hydrogeologický model, orientační analýza

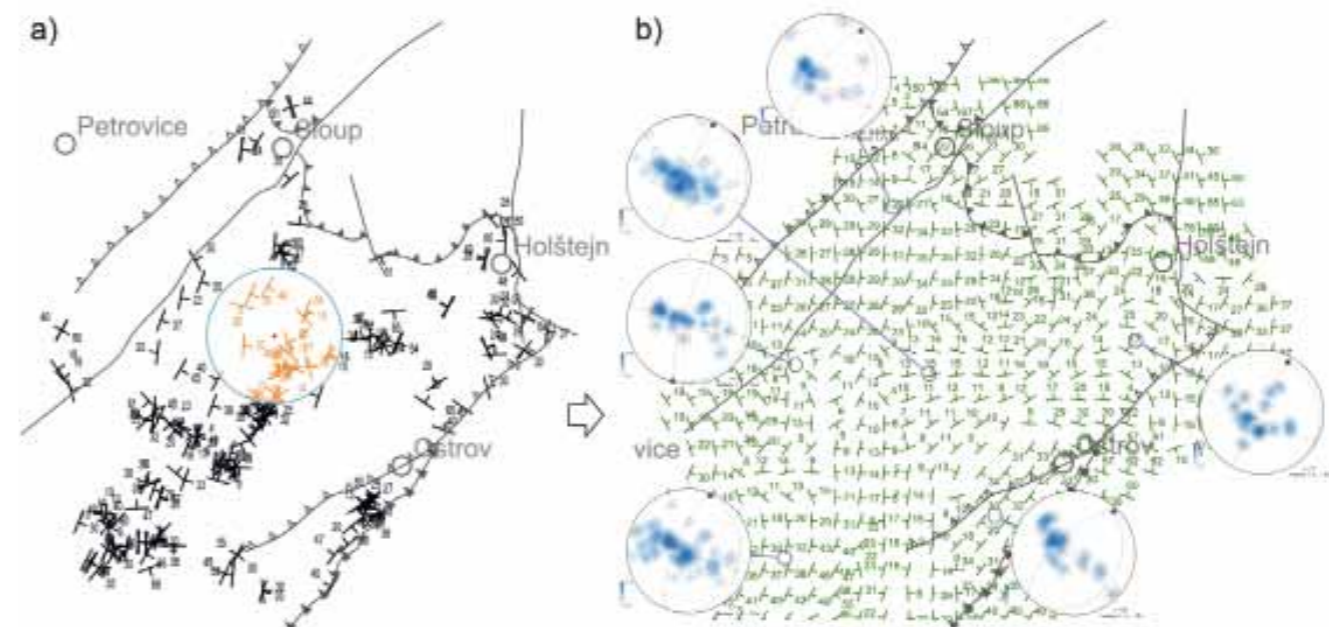
### 1. Úvod

Vápence mají velmi nízkou primární porozitu a ještě nižší efektivní porozitu a permeabilitu. Uplatňuje se u nich tedy sekundární, neboli puklinová, porozita, vznikající během tektonických procesů, které prodělaly po sedimentaci a diagenézi. Strukturální analýza krasového území spojená s orientační analýzou křehkých prvků (pukliny, kliváž, zlomy a příkrovy) je tím pádem nejen nástrojem pro pochopení geologické stavby a historie daného území, ale i k pochopení jeho hydrogeologického režimu/struktury (např. Rez, Baldík, 2023).

Největším problémem strukturální analýzy (a všech návazných „procedur“) je nedostatek dat a jejich nehomogenní distribuce. Většinou se tak nevyhne nutnosti strukturální data interpolovat některou metodou statistické analýzy nebo geologického modelování. Tento příspěvek má za úkol čtenáře seznámit se základními možnostmi modelování strukturálních prvků.

### 2. Metody strukturální analýzy

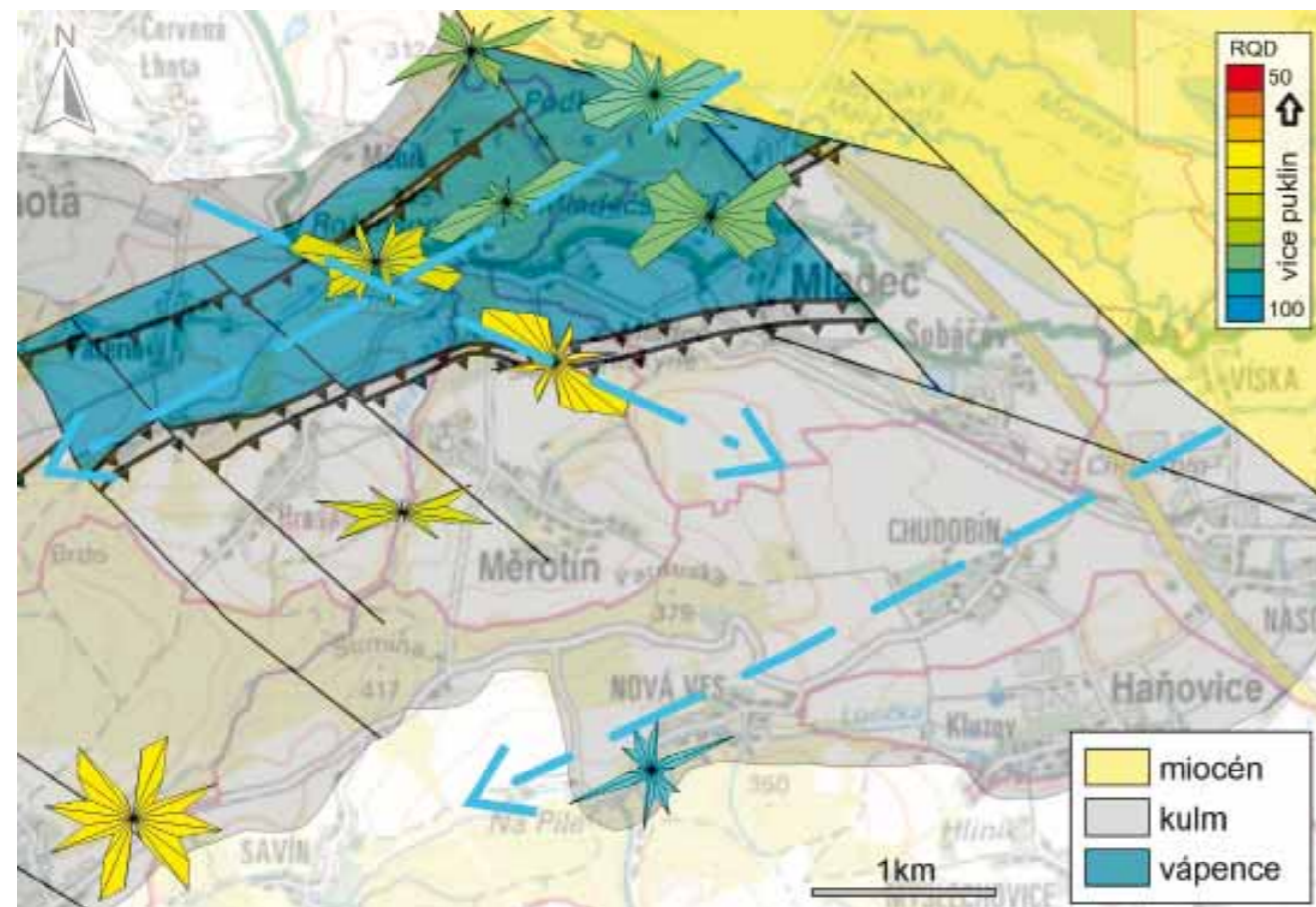
Standardní metodika strukturální analýzy se opírá o dokumentaci duktilních a křehkých struktur pokud možno na všech dostupných výchozech. Tato data jsou posléze statisticky vyhodnocena, a to jak formou strukturálních



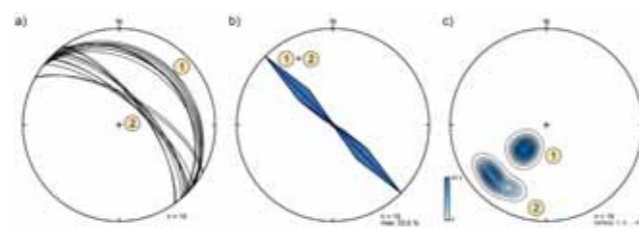
Obr. 1: Princip konstrukce mapy trendů: a) vstupní data + princip výběru dat pro jedno stanoviště kružnicí o daném poloměru; b) výsledná mapa trendů (vrstevnatost v severní části Moravského krasu) a příklady konturových diagramů dílčích podsouborů dat.

diagramů (růžicové a konturové diagramy – histogramy na kruhu a kouli), tak hlavně v prostoru. Pro potřeby hydrogeologie a návazných environmentálně zaměřených disciplín je distribuce strukturálních prvků v prostoru obzvláště důležitá, protože řídí migrační cesty podzemní vody. Některé strukturální prvky, jako jsou vrstevnatost, osy vrás a kliváž (jinými slovy prvky, které jsou na daném výchoze přítomny jako jedna generace/systém), lze analyzovat v prostoru pomocí mapy trendů. Mapa trendů je mapa „průměrné“ orientace daného strukturálního prvku vypočítaná v síti stanovišť (podle velikosti území, dejme tomu v síti 200×200 m) ze strukturálních prvků v dané vzdálenosti od počítaného stanoviště (kružnice o poloměru dejme tomu 2 km, obr. 1a), pomocí charakteristických vektorů matice orientace (např. Melichar 1991) vážených obrácenou hodnotou vzdálenosti od počítaného stanoviště (obr. 1b).

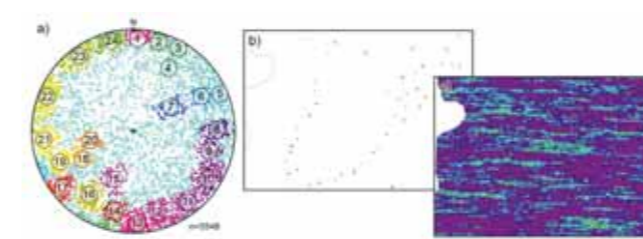
V případě, že statisticky zpracováváme strukturální prvky, které se vyskytují na výchozech ve více systémech (zlomy a hlavně pukliny), je třeba postupovat jinak. Nejjednodušší je vytvořit pomocí mapy podsoubory daných měření a ty zpracovat odděleně a výsledné diagramy vložit do mapy (obr. 1b). Tímto způsobem lze poměrně přesně stanovit hlavní migrační cesty podzemní vody, obzvláště pokud výsledné diagramy obarvíme podle hodnot puklinatosti (buď podle hustoty nebo indexu RDQ, např. Rez, Baldík, 2023). V technické praxi se nejčastěji používají tzv. růžicové diagramy směrů puklin (nebo zlomů). Jedná se o kruhové histogramy četnosti směrů puklin (průmět pukliny do horizontální roviny) v daných třídách (většinou 10 nebo 15°). Tyto diagramy jsou snadno čitelné i pro laickou veřejnost, protože maxima ukazují



Obr. 3: Preferenční cesty podzemní vody v oblasti Mladečských jeskyní. Barva růžicových diagramů značí index RDQ (Baldík et al. 2023).



Obr. 2: Strukturální diagramy diskutované v textu: a) obloukový diagram ploch (např. puklin); b) růžicový diagram ploch z obr. 2a (velikost třídy 10°); c) konturový diagram ploch z obr. 2a – málo ukloněné plochy 1 vytvářejí strmě ukloněné maximum u středu diagramu a strmé plochy 2 vytvářejí mírně ukloněné maximum u okraje diagramu.



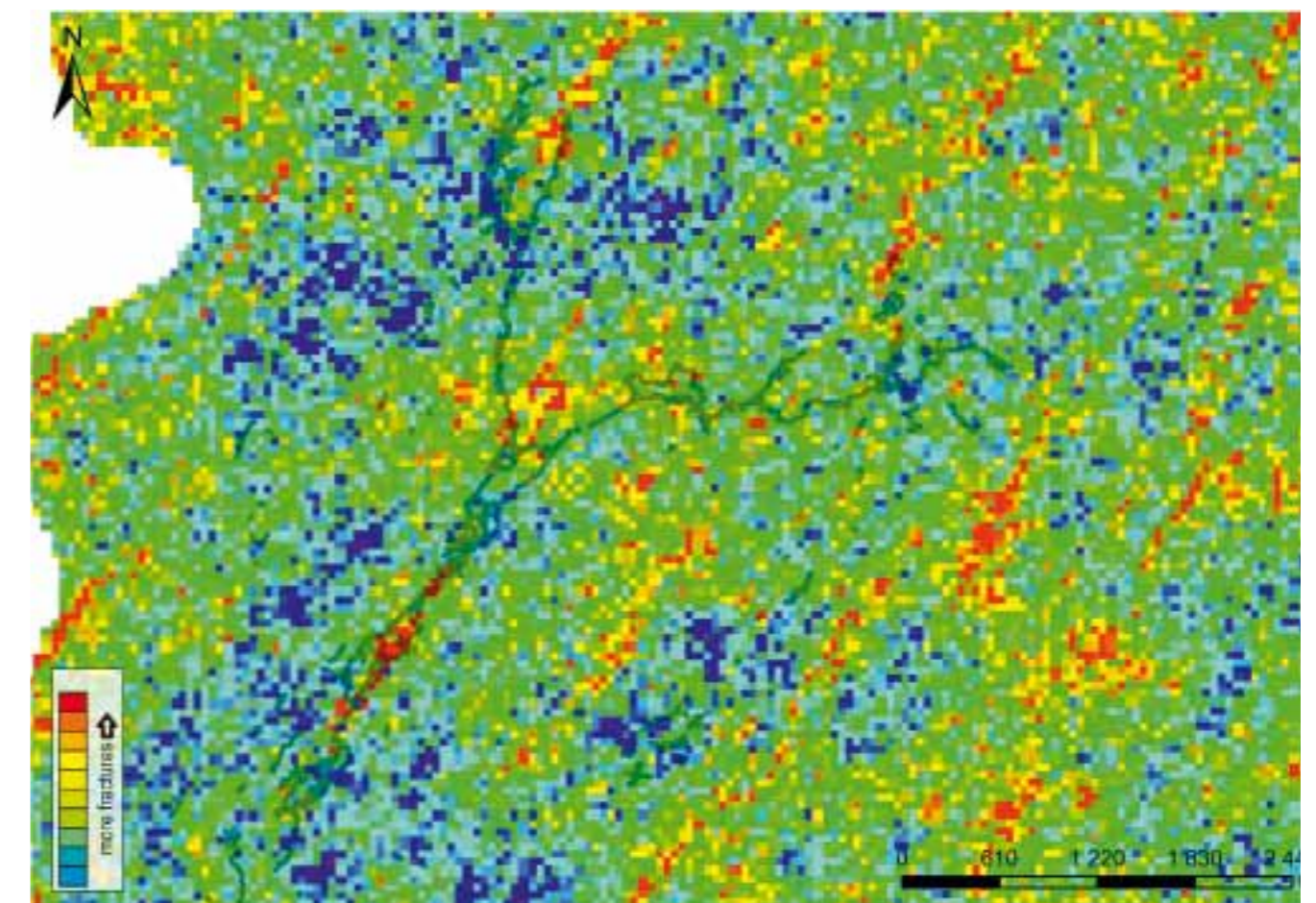
Obr. 4: Základní kroky vytváření puklinového modelu: a) identifikace systémů puklin; b) výpočet počtu puklin protínající buňku modelu v místě stanoviště měření puklin pro jednotlivé systémy c) distribuce počtu puklin jednotlivých systémů v celém gridu modelu.

diagramech sledují dva hlavní směry – preferenční cesty migrace vody. Tyto dva směry odpovídají směřům hlavních chodem Mladečských jeskyní.

### 3. Metody modelování

Logickým pokračováním analýz popsaných výše je vytvoření geologického modelu, který nejen že umožní sledovat distribuci puklinatosti a tím pádem i kolektorských vlastností vápenců v mnohem větším detailu, ale také ověřit reálnost preferenčních cest srovnáním s průběhem jeskynních systémů, protože jeskynní systémy logicky sledují pásma s nejlepšími kolektorskými vlastnostmi.

Generelně existují dva přístupy vytvoření puklinové sítě v prostoru. Deterministické modely generují



Obr. 5: Model puklinatosti (počet puklin) v oblasti Amatérské jeskyně v Moravském krasu.

přímo směry přednostní orientace daného prvku a tedy i migrace podzemní vody. Nelze je ovšem použít univerzálně a v některých případech je třeba použít sofistikovanější tzv. konturové diagramy (jedná se o konturovanou hustotní 3D funkci orientace normal ploch daného strukturálního prvku). Nejčastějším případem je přítomnost dvou a více systémů puklin se stejným směrem, ale rozdílným sklonem. Takové pukliny spadají do jedné třídy růžicového diagramu (obr. 2b), takže nejde poznat, že jsou to dva systémy! Obzvláště v IG praxi to může mít katastrofální následky. Konturové diagramy analyzují data ve 3D a tento problém odpadá.

Příklad použití růžicových diagramů pro určení preferenčních cest migrace podzemní vody je na obr. 3. Maxima směrů pukliny v růžicových

puklinovou síť přímo z naměřených dat. Výsledkem je model statisticky nejvěrnější naměřeným datům, nicméně jeho kvalita přímo odráží kvalitu vstupních dat. Stochastické modely generují puklinovou síť na základě statistických parametrů zadaných uživatelem. Tyto parametry pochopitelně vycházejí z naměřených dat, ale uživatel může nastavit míru nejistoty těchto měření a zavést do modelu náhodné jevy. Oba přístupy mají stejné výstupy a s nimi spojená úskalí. Výslednou síť je třeba převést do blokového hydrogeologického modelu. Nejčastěji se vypočítá počet puklin, které protínají daný blok (pro potřeby větších území cca 50×50 m). Výsledkem je grid modelu s vypočtenými hustotami puklin. Největším úskalím použití těchto modelů je enormně vysoký počet puklin, které modely vygenerují a s tím spojená extrémní náročnost na výpočetní techniku. Při modelech zahrnujících větší území (nad 0,5 km<sup>2</sup>) je může jednat o desítky milionů puklin (a to pouze pokud zvolíme nerealisticky plošně rozsáhlé pukliny), v případě ploch velikosti Moravského krasu se jedná o stovky miliard puklin, takže ani výkonné pracovní stanice nejsou schopny výpočet provést.

Praktické řešení tohoto problému je nasnadě. Namísto modelování/distribuce puklin a výpočtu jejich počtu/hustoty pro každou buňku, kterou protnou, je jednodušší distribuovat přímo počty/hustoty puklin na základě jejich statistických parametrů. Postup modelování je jinak naprosto totožný s předchozími způsoby a výsledný grid hustot puklin je totožný s gridem získaným při modelování puklin.

Prvním krokem modelování je orientační analýza systémů puklin. Na základě konturového diagramu puklin (nebo několika lokálních podsouborů) je třeba vyčlenit hlavní systémy, zjistit jejich průměrnou orientaci a rozptýlit daného shluku dat (obr. 4a). Následně je třeba pukliny rozdělit do těchto hlavních systémů. Pukliny, které nespádají do žádného systému, vytvářejí pozadový šum – poslední skupinu puklin s náhodnou orientací. Druhým krokem je výpočet počtu puklin každého systému v buňce, kam dané stanoviště měření puklin spadá (obr. 4b). Třetím krokem je distribuce těchto počtů pro jednotlivé systémy puklin do celého gridu modelu. Z dostupných algoritmů se jeví jako nejlepší „prostá“ Gaussovská simulace za použití statistických parametrů daného systému (průměrná orientace a parametr míry přednostní orientace). Výsledkem je model distribuce (množství puklin) daného systému (obr. 4c). Opakováním tohoto kroku pro všechny identifikované systémy získáme vstupní data pro poslední, čtvrtý krok. Posledním krokem je sečtení všech dílčích modelů puklinatosti. Výsledkem je model puklinatosti v celém studovaném území, který slouží jako vstup pro další hydrogeologické modelování (obr. 5).

#### 4. Modelový příklad

Jako modelový příklad jsme vybrali území kolem Amatérské jeskyně v Moravském krasu (obr. 5). Jedná se zatím o předběžnou verzi modelu, která má za úkol ověřit reálnost předkládaného konceptu. Základem modelu je cca 5500 měření puklin z celého Moravského krasu a přilehlých území. Celkem bylo vyčleněno 24 systémů puklin (obr. 4a) plus pozadový „šum“ nezatříděných puklinových systémů. Všechny systémy byly distribuovány do gridu modelu. Výsledný model je na obr. 5. Již při letmém pohledu je zřejmé, že dominantní systémy puklin mají SSV-JJZ směry, což odpovídá jak hlavním směrům jeskyní, tak i hlavním směrům dominantních struktur a puklin v Moravském krasu (Rez, Baldík, 2023). Obzvláště nápadná je naprostá shoda nejintenzivněji deformovaných partií (≈ mají nejvíce puklin) s jeskynními systémy.

#### 5. Závěr

Modelování distribuce křehkých struktur (puklin) je základním nástrojem pro tvorbu hydrogeologických modelů v horninách s puklinovou propustností. Orientační analýza pokud možno homogenně distribuovaných dat je pro toto modelování naprosto zásadní. Deterministické i stochastické modely puklinové sítě jsou pro větší území v měřítku krasu většinou nepoužitelné kvůli limitům výpočetní techniky. Namísto distribuce puklin v modelu a z nich pak počítané puklinatosti v jednotlivých buňkách modelu navrhuje vypočítat puklinatost (počet puklin) daného systému puklin v buňkách modelu, ve kterých leží změřené pukliny a distribuovat tyto puklinatosti v modelu vhodným stochastickým algoritmem. Stochastické modelování hustoty puklin nebo počtu puklin jednotlivých systémů je výpočetně mnohem vhodnější způsob modelování puklinatosti větších území.

#### SEZNAM LITERATURY:

BALDÍK V., REZ J., KRYŠTOFŮVÁ E., NOVOTNÝ R., NOVOTNÁ J., DOSTALÍK M., HADACZ R., NEČAS J., 2023: Účelová aktualizace rozsahu a průběhu podzemních krasových systémů a vymezení preferenčních cest přestupu podzemní vody po tektonických zónách. – Dílčí zpráva úkolu Podzemní voda v krasových oblastech, Horninové prostředí a suroviny, SS02030023V-8. Česká geologická služba. Brno.  
MELICHAR R., 1991: Metody strukturální geologie: orientační analýza. - Masarykova univerzita. Brno. 180 str.  
REZ J., BALDÍK V., 2023: Tektonika a krasovění: příčina a následek, s. 42-44. In: Audy M.: Speleofórum 2023. Praha. Česká speleologická společnost. Sv. 42. 96 str.

## DYNAMIKA KONDENZACE VODY V JESKYNI BALCARKA V MORAVSKÉM KRASU

Marek Lang<sup>1</sup>, Tereza Ptáčníková<sup>2</sup>, Simona Pospíšilová<sup>2</sup>, Jindřich Štelcl<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Ústav geologických věd, PřF MU, Kotlářská 267/2, Brno 611 37, email: mareklang@mail.muni.cz; stelcl@mail.muni.cz

<sup>2</sup> Katedra biologie, PdF MU, Poříčí 623/7, Brno 603 00, email: 523876@mail.muni.cz; 563840@mail.muni.cz

#### Abstrakt:

Zkondenzovaná voda se významným způsobem podílí na formování jeskynních výplní. Dynamika kondenzace byla v období 4/2023–1/2025 studována v rámci ventilační větve jeskyně Balcarka. Variabilita teploty externího / jeskynního vzduchu odhalila odlišné režimy proudění v létě (DAF mód), v zimě (UAF mód) a během jara / podzimu (přechodný mód). Teplota povrchů jeskynních stěn vykazovala klesající trend ve směru z hlubších pasáží jeskyně k jejímu východu a sezónnost s maximy během přechodného módu a minimy ve vrcholných fázích DAF / UAF módu. I přes zvýšené hnací síly kondenzace během letního období přímý monitoring na vápencovém etalonu vykazoval po celé období pouze slabé rosení.

**Klíčová slova:** lkondenzace, proudění vzduchu, rosný bod, teplotní rozdíl, vápencový etalon.

#### 1. Úvod

Proces kondenzace vody v jeskynním prostředí je úzce spojen se vznikem kondenzační koroze, která je v krasových oblastech studována už po několik desetiletí. Kondenzující vodní pára vytváří na stěnách vodní kapky / film v rovnováze s aktuálním partiálním tlakem CO<sub>2</sub> v jeskynní atmosféře, ale nenasyčené vůči karbonátům formujícím jeskynní stěny. Kondenzace vody je obecně podmíněna teplotním rozdílem

$$\Delta T_C = T_{DP}^C - T_{wall}^C, \quad (1)$$

kde  $T_{DP}^C$  je teplota rosného bodu a  $T_{wall}^C$  je teplota povrchu stěny. Zatímco kladná hodnota  $\Delta T_C$  podporuje kondenzaci vody, záporná hodnota vede k odparu vody. Zatímco  $T_{DP}^C$  je funkcí teploty,  $T_{air}^C$ , a relativní vlhkosti,  $RH_{air}^C$  jeskynního vzduchu (Lawrence, 2005), hnací silou  $T_{wall}^C$  je proudění vzduchu řízené teplotním rozdílem

$$\Delta T_{AF} = T_{air}^E - T_{air}^C, \quad (2)$$

kde  $T_{air}^E$  je teplota externího vzduchu. Na základě znaménka  $\Delta T_{AF}$  pak rozlišujeme tři ventilační režimy, a to (i) zimní vzestupné proudění (UAF mód), (ii) letní sestupné proudění (DAF mód) a (iii) přechodný mód v období přepínání mezi UAF / DAF módem (jaro, podzim) (Faimon et al., 2012). Tato práce navazuje na předchozí výzkum v Amatérské jeskyni v rámci dlouhodobého studia kondenzace vody v jeskynních Moravského krasu.

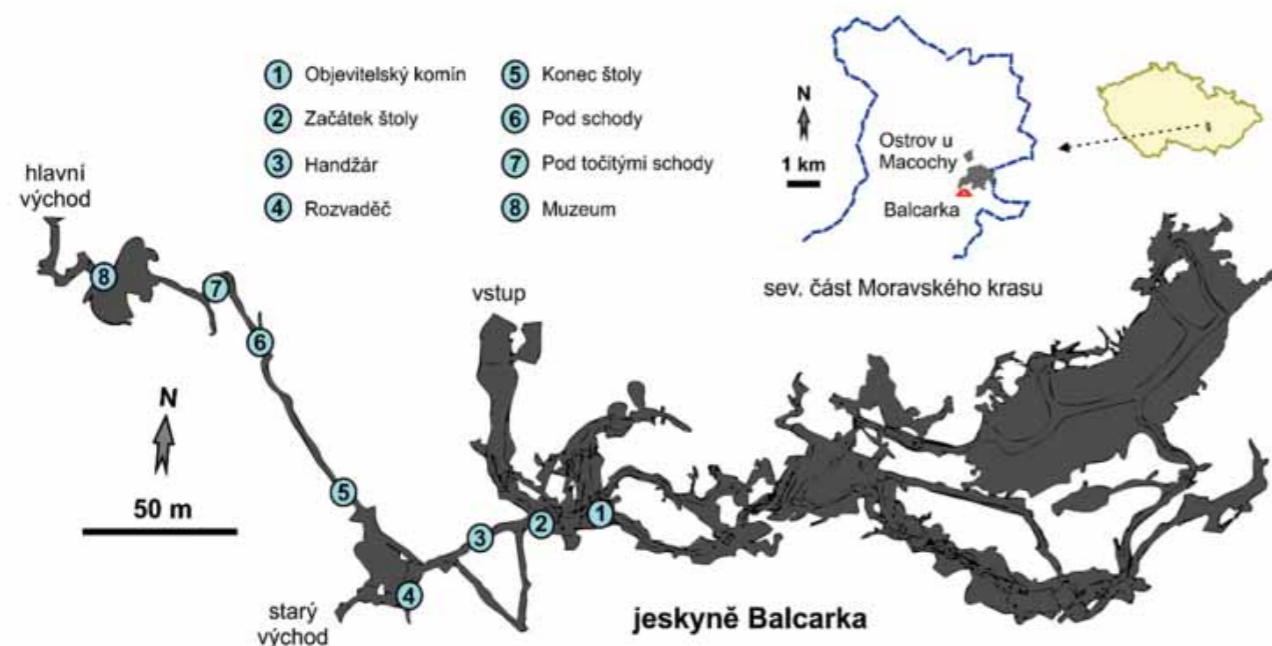
#### 2. Metodika

##### 2.1 Místo studia

Pro monitoring sledovaných proměnných byly vybrány lokality nacházející se na trase jedné z ventilačních větví jeskyně Balcarka situované v blízkosti jejího východu. Jeskyně je vyvinuta ve svrchnodevonských vápencích Macošského souvrství v severní části Moravského krasu nedaleko od Ostrova u Macochy (obr. 1). Je tvořena dvěma patry úzkých chodeb a domů s bohatou jeskynní výzdobou o celkové délce 1150 m. Komplexní geometrie jeskyně spolu s třemi známými vchody a dalšími předpokládanými skrytými otvory v odlišných nadmořských výškách zde zajišťuje dynamický charakter proudění vzduchu. Jeskyně je v období od března do listopadu otevřená pro turisty s průměrnou roční návštěvností 30000–40000 osob.

##### 2.2 Monitoring

Prezentovaná data byla získána v období od dubna 2023 do ledna 2025. Sběr mikroklimatických dat byl rozdělen do dvou fází: (1) dlouhodobý monitoring a (2) jednorázové monitorovací kampaně. Dlouhodobý monitoring byl zaměřen na kontinuální sběr dat  $T_{air}^C$  (lokality Objevitelský komín, Konec štoly a Muzeum) a  $T_{air}^E$  (u hlavního východu jeskyně) v dvouhodinových krocích záznamovými teploměry Termio-2 s externím



Obr. 1: Pozice a schematická mapa jeskyně Balcarka s vyznačenými monitorovacími místy.

čidlem PT1000 (rozsah  $-100$  až  $180$  °C s přesností  $\pm 0,07$  °C). Paralelně s dlouhodobým monitoringem byla sledována i denní návštěvnost jeskyně. V rámci jednorázových měření bylo provedeno 16 kampaní s měsíčními rozestupy zaměřených na monitoring  $T_{\text{air}}^{\text{C}}$ ,  $RH_{\text{air}}^{\text{C}}$  a  $T_{\text{wall}}^{\text{C}}$  na jednotlivých monitorovacích místech uvnitř jeskyně. K záznamu hodnot  $RH_{\text{air}}^{\text{C}}$  byla použita psychrometrická sonda FNAD46 (rozsah měření relativní vlhkosti 10 až 100 % s přesností  $\pm 1$  %, rozsah měření teploty vzduchu 0 až 60 °C s přesností  $\pm 0,2$  K, rozsah vestavěného snímače atmosférického tlaku 700 až 1100 hPa s přesností  $\pm 2,5$  hPa) propojená s přenosným dataloggerem Ahlborn ALMEMO 2590-4S. Data  $T_{\text{wall}}^{\text{C}}$  byla měřena infračerveným pyrometrem BOSCH PTD-1 (měřicí rozsah  $-20$  až  $200$  °C s přesností  $\pm 3$  °C v rozsahu od  $-20$  do  $10$  °C a  $\pm 1$  °C v rozsahu od 10 do 30 °C). Hodnoty  $T_{\text{wall}}^{\text{C}}$  byly měřeny na obou stěnách (pozice byly určeny ve směru od lokality Objevitelský komín) ve třech výškách nad podlahou (0,5 m; 1,0 m; 1,5 m) a výsledná hodnota odpovídala průměr. Monitoring dynamiky kondenzace vody byl realizován hodnocením intenzity rosení leštěného vápencového etalonu ( $6 \times 4 \times 0,5$  cm), vyrobeného ze vzorku vápence odebraného v jeskyni a umístěného na lokalitě Muzeum. Etalon byl připevněn ke stěně drátkem pro zabránění kontaktu se stěnami či dalšími objekty. Intenzita rosení povrchu etalonu byla hodnocena škálou zahrnující 4 stupně od zcela suchého povrchu (stupeň 1), přes mírně orosený povrch (stupeň 2), povrch s kapkami vody (stupeň 3) až po zcela mokré povrch (stupeň 4). Efekt z kondenzované vody na povrchu vápencového etalonu byl analyzován pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu JEOL JSM-6490LV vybaveného EDX analyzátozem (urychlovací napětí 15 kV, doba načítání EDX spektra 60 sekund). Před samotnou analýzou byl vzorek pokoven a snímky povrchu etalonu byly vytvořeny v módu sekundárních elektronů.

### 3. Výsledky a jejich diskuse

#### 3.1 Teplotní charakteristika jeskyně

Dlouhodobý monitoring  $T_{\text{air}}^{\text{E}}$  /  $T_{\text{air}}^{\text{C}}$  odhalil sezónní variabilitu v obou typech zkoumaných prostředí. Hodnoty  $T_{\text{air}}^{\text{E}}$  vykazovaly typický roční cyklus s maximy (32,8 a 31,8 °C) v letním období (červenec 2023 a 2024) a minimy ( $-12,9$  °C) během zimního období (leden 2024). Sezónnost  $T_{\text{air}}^{\text{E}}$  se promítla i do křivek  $T_{\text{air}}^{\text{C}}$  variujících od 3,5 do 13,5 °C, avšak charakter teplotních výkyvů byl na jednotlivých lokalitách odlišný. Zatímco na lokalitách Konec štoly a Muzeum byla identifikována výrazná sezónnost (rozsahy hodnot 5,3 a 8,0 °C), významně stabilnější hodnoty (rozsah 3,4 °C) byly zaznamenány na lokalitě Objevitelský komín. Zvýšené rozsahy indikují příslušnost lokalit Konec štoly a Muzeum do heterotermické zóny ovlivněné externími podmínkami, naopak nižší rozsah je typickým rysem homotermické zóny (Luetscher a Jeannin, 2004). Sezónní charakter byl patrný i u návštěvnosti jeskyně, kterou ve sledovaném období prošlo celkem 58407 osob s maximální denní návštěvností 489 osob.

Celkové počty osob v letních sezónách, 21012 (2023) a 20683 (2024) významně převyšovaly jak jarní sezóny (3682 a 6973 osob v letech 2023 a 2024), tak i podzimní sezónu 2023 (6057 osob). Vysoká letní návštěvnost se na všech křivkách  $T_{\text{air}}^{\text{C}}$  projevila píky dosahujícími v Muzeu až 3 °C.

#### 3.2 Proudění vzduchu jeskyní

Dynamika proudění vzduchu byla popsána na základě hodnot  $\Delta T_{\text{AF}}$ . Pro jejich výpočet byla použita data z lokality Objevitelský komín reprezentující homotermickou zónu jeskyně. Výsledné hodnoty  $\Delta T_{\text{AF}}$  ukázaly sezónní variace s minimy ( $-18,1$  °C) v zimním období a maximy (17,2 °C) v letních obdobích. Vývoj hodnot  $\Delta T_{\text{AF}}$  umožnil identifikovat tři módy ventilace jeskyně s odlišným směrem proudění: DAF mód, UAF mód a přechodný mód (Faimon et al., 2012). V obdobích květen–říjen 2023 a duben–září 2024 se jeskyně nacházela v DAF módu, kdy teplejší externí vzduch pronikal do jeskyně Objevitelským komínem a hlavním východem vystupoval z jeskyně ven. Tuto ventilační větev popsal už Lang et al. (2017). V období od listopadu 2023 do března 2024 proudění odpovídalo UAF módu s opačným směrem proudění (chladnější externí vzduch nasávaný do jeskyně hlavním východem proudil směrem k Objevitelskému komínu). Přechodný mód, spojený se změnami směru proudění vlivem výkyvů teploty, srážek či větru (Kowalczyk a Froelich, 2010), byl v jeskyni popsán v říjnu 2023 a březnu 2024. Uvedený model proudění byl narušen přírodními (změna teploty externího vzduchu) i antropogenními (otevřené okno, využívání starého východu) faktory.

#### 3.3 Vývoj teploty povrchů stěn

Naměřená data  $T_{\text{wall}}^{\text{C}}$ , pohybující se v širokém rozmezí hodnot od  $-0,4$  do 10 °C, ukázala téměř shodný vývoj na levých a pravých stěnách (rozdíly do 0,7 °C) se silnou (i) prostorovou i (ii) časovou distribucí. Prostorová distribuce byla ovlivněna prouděním vzduchu, což se projevilo postupným poklesem hodnot ve směru z hlubších pasáží k hlavnímu východu jeskyně. Během DAF módu pronikal teplejší externí vzduch do jeskyně Objevitelským komínem a ohříval stěny na bližších lokalitách, zatímco na vzdálenějších lokalitách se jeho efekt neuplatňoval (viz kampaň 18. května 2023). V UAF módu byly nižší hodnoty na lokalitách kolem hlavního východu výsledkem transportu chladnějšího externího vzduchu do jeskyně těmito pasážemi a nárůst hodnot na dalších lokalitách byl dán postupným slábnutím tohoto efektu (viz kampaň 23. února 2024). Podobné chování bylo popsáno i z Kateřinské jeskyně (Středová et al., 2024) a Císařské jeskyně (Gregorová, 2023). Časová distribuce vykazovala sezónnost s minimy ve vrcholných fázích DAF / UAF módu a maximy během přechodného módu, avšak letní období odhalila anomálie spojené se změnou ventilačního módu jeskyně či zkrácením návštěvní trasy.

#### 3.4 Dynamika kondenzace vody

Pro jednotlivé jednorázové kampaně byly na základě vztahu uvedeného Lawrenceem (2005) počítány  $T_{\text{DP}}^{\text{C}}$  a následně odhadovány podmínky kondenzace vody. V závislosti na širokém rozmezí hodnot  $T_{\text{DP}}^{\text{C}}$  (5,8–13,0 °C) byla identifikována sezónnost podmínek pro kondenzaci vody. Zatímco nejvyšší hnací síly pro kondenzaci byly zjištěny v letním období, zimní období bylo charakterizováno nižšími hodnotami  $\Delta T_{\text{C}}$  podporující spíše výpar vodního filmu ze stěn do jeskynní atmosféry. Srovnání vývoje  $\Delta T_{\text{C}}$  na jednotlivých lokalitách pak ukázalo postupnou ztrátu sezónnosti směrem k hlavnímu východu jeskyně v důsledku ovlivnění externími podmínkami. Přímý monitoring kondenzace na lokalitě Muzeum ukázal pouze slabé rosení (stupeň 2) leštěných ploch vápencového etalonu po celé sledované období, což potvrdila i mikroskopická analýza etalonu nálezem oválných útvarů indikujících kapičky z kondenzované vody s charakteristickým střídáním oblastí intenzivnějšího a slabšího ataku plochy etalonu.

### 4. Závěr

Ve sledovaném úseku jeskyně Balcarka (Moravský kras) byla popsána dynamická cirkulace vzduchu charakterizovaná třemi ventilačními módy: (i) DAF mód v období pozdního jara až počátku podzimu, (ii) UAF mód od pozdního podzimu do počátku jara a (iii) přechodný mód v průběhu podzimu a jara. Změny

proudění vzduchu měly přímý dopad na prostorovou i časovou distribuci teploty povrchů jeskynních stěn. Zatímco prostorová distribuce se projevila klesajícím trendem teploty ve směru z hlubších pasáží k hlavnímu východu, v rámci časové distribuce byla nalezena minima ve vrcholných fázích DAF / UAF módu a maxima během přechodného módu. Studium dynamiky kondenzace vody ukázalo přítomnost tohoto procesu v letním období, zatímco zimní období bylo spojeno spíše s výparem vody ze stěn do jeskynní atmosféry. Přímý monitoring kondenzace na vápencovém etalonu v dómu Muzeum pak po celou sezónu vykazoval pouze slabé rosení, což potvrdila i mikroskopická analýza etalonu.

#### Poděkování

Práce vznikla s institucionální podporou Masarykovy univerzity a poděkování patří také zaměstnancům jeskyně Balcarka za spolupráci po celou dobu monitoringu.

#### SEZNAM LITERATURY:

- LUETSCHER M., JEANNIN P.-Y., 2004: Temperature distribution in karst systems: the role of air and water fluxes. – *Terra Nova* 16, str. 344–350.
- FAIMON J., TROPOVÁ D., BALDÍK V., NOVOTNÝ R., 2012: Air circulation and its impact on microclimatic variables in the Císařská Cave (Moravian Karst, Czech Republic). – *International Journal of Climatology* 32, str. 599–623.
- GREGOROVÁ M., 2023: Teplotní profil Císařskou jeskyní (Moravský kras). – Ms., bakalářská práce. Pedagogická fakulta MU. Brno.
- KOWALCZK A. J., FROELICH P. N., 2010: Cave air ventilation and CO<sub>2</sub> outgassing by radon-222 modeling: How fast do caves breathe? – *Earth and Planetary Science Letters* 289, str. 209–219.
- LANG M., FAIMON J., KEJÍKOVÁ S., 2017: The impact of door opening on CO<sub>2</sub> levels: A case study from the Balcarka Cave (Moravian Karst, Czech Republic). – *International Journal of Speleology* 46, 3, str. 345–358.
- LAWRENCE M. G., 2005: The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air: A Simple Conversion and Applications. – *Bulletin of the American Meteorological Society* 86, 2, str. 225–234.
- STŘEDOVÁ H., STŘEDA T., VYSOUDIL M., 2014: Cave Rock Surface Temperature Evaluation Using Non-Contact Measurement Methods. – *Acta Carsologica* 43, 2-3, str. 257–268.

## NOVÁ RADIOUHLÍKOVÁ DATA Z ČESKÉHO KRASU: ZPŘESŇOVÁNÍ PŘEDSTAV O VYUŽITÍ REGIONU V ZÁVĚRU PALEOLITU A V MEZOLITU

Katarína Kapustka<sup>1</sup>, Ivan Horáček<sup>2</sup>, Karolína Pauknerová<sup>3</sup>, František Adámek<sup>1</sup>, Nikola Košťová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Archeologický ústav AV ČR, Praha, v.v.i., Letenská 4, 118 21 Praha 1, e-mail: culakova@arup.cas.cz, adamek@arup.cas.cz, kostova@arup.cas.cz

<sup>2</sup> Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 00 Praha 2, e-mail: ivan.horacek@natur.cuni.cz

<sup>3</sup> Centrum pro teoretická studia, UK, Jilská 1, 110 00 Praha 1, e-mail: pauknerova@cts.cuni.cz

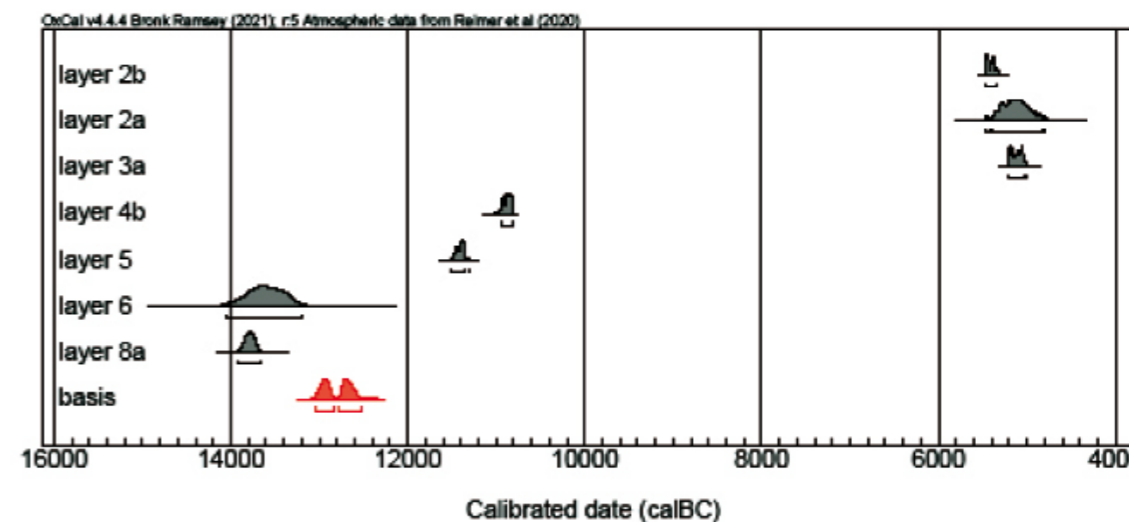
#### Abstrakt:

Český kras je významným regionem z hlediska archeologických nálezů i poznání proměn přírodního prostředí v minulosti. Výzkum lovecko-sběračského osídlení této oblasti zde však na delší dobu ustal. Tato případová studie nálezů ze Skalice u Měňan představuje první krok k jeho obnovení. Lokalita byla osídlena na konci paleolitu a během mezolitu, přičemž naleziště z tohoto období je v krasových oblastech známo jen málo. Paleoekologický vývoj místa v období přelomu pleistocén–holocén dokumentují bohaté paleontologické vzorky, které pochází z období 14 000–5 500 cal BC. Nové archeologické výzkumy, zahájené v roce 2025, navazují na dřívější sondáže a jejich cílem je komplexní propojení environmentálních a archeologických dat. Tento článek představuje první výsledky analýz archeologického materiálu a informace o chronologickém ukotvení naleziště.

**Klíčová slova:** mezolit, pozdní paleolit, štípané kamenné nástroje, radiouhlíkové datování

#### 1. Úvod

Český kras byl v pravěku intenzivně využívaným územím, jak dokládají četná archeologická naleziště v tomto regionu. Avšak lovecko-sběračské osídlení v tomto prostoru nebylo nikdy systematicky zkoumáno moderními metodami a poznatky o něm pochází z větší části z výzkumů v 1. pol. 20. století. Známa jsou jak naleziště v otevřené krajině, tak i pod převisy a v jeskyních. Výzkum jeskyně Na Skalici (ev. č. 19-008; kód v celostátní databázi jeskyní JESO K1128719-J-00008, k. ú. Měňany) je prvním počinem, který má vést k obnovení zájmu profesionálních archeologů o Český kras. Tato lokalita byla objevena M. Hahnem v roce 1988 při speleologickém průzkumu, který přerušil, poté co našel pravěké střepey. Následně zde v letech 1997 a 2015–2016 provedl sondáž s cílem získat vzorky mikrofauny biolog I. Horáček. V průběhu sondáže bylo narušeno rozsáhlé mezolitické ohniště a z této sondáže také pochází soubor kamenné štípané industrie (dále jen ŠI). Protože byly nálezy prakticky v celé mocnosti profilu, bylo potřebné soubor radiouhlíkově datovat. Tento text prezentuje výsledky datování.



Obr. 2: Souhrnný graf radiouhlíkových dat z jeskyně Na Skalici.

## 2. Radiouhlíkové datování Skalice

Pro chronologická zařazení archeologického materiálu je používáno chronologicko-typologické řazení archeologických nálezů na základě jejich charakteristik, velikosti, použitých surovin apod. Zvláště v případě lovecko-sběračského období, kdy se z archeologického materiálu často dochovávají jen kamenné štípané nástroje, je však vždy lepší, pokud je možné vybrané vzorky datovat i pomocí radiouhlíkové metody. V případě Skalice bylo dosud úspěšně datováno celkem osm vzorků (všechny pocházejí z kostí drobných savců). Dva vzorky byly datovány bezprostředně po sondáži I. Horáčka a další byly vybrány tak, aby reprezentovaly různé stratigrafické úrovně. Byly datovány v České radiouhlíkové laboratoři. Původní publikovaná data byla nově překalibrována, podle stávající kalibrační křivky, ke kalibraci dat byl použit program OxCal v4.4 a kalibrační křivka IntCal20 (Bronk Ramsey 2009; Reimer et al. 2020). Získaná data ukazují na tři období, kdy byla tato jeskyně, resp. její vstupní prostor, využívána: závěr mezolitu (vrstvy 2a-3a), pozdní paleolit (vrstvy 4b-5) a magdalenien (vrstvy 6-8a, viz obr. 2 a tab. 1). Datování vzorku z báze profilu nekoresponduje se stratigrafickou pozicí, což je častý problém. V hloubce dna vrtu je totiž obtížné získat neporušený materiál bez rizika kontaminace.

lokality	Vrstva	č. vzorku	C14 věk BP	+/-	kal. stáří v BC, 95.4% pravděpodobnost	kolagen, mg/gu	kvalita kosti
Na Skalici	vrstva 2a	24_0670	6424	21	5474-5330 (95.4%)	43	4,5
Na Skalici	vrstva 2b	neuveдено	6198	132	5390-4834 (92.7%);		4,5
Na Skalici	vrstva 2b	24_0671	6159	21	5210-5030 (94.9%);	41	4,5
Na Skalici	vrstva 4b	24_0672	10933	33	10952-10808 (95.4%)	16	4,5
Na Skalici	vrstva 5	24_0673	11474	30	11500-11348 (94.0%);	22	5
Na Skalici	vrstva 6	neuveдено	13000	150	14055-13192 (95.4%)		
Na Skalici	vrstva 8a	24_0674	13124	32	13931-13658 (95.4%)	24	5
Na Skalici	báze profilu	24_0675	12496	28	13047-12838 (46.5%); 12781 12533 (48.9%)	43	4,5

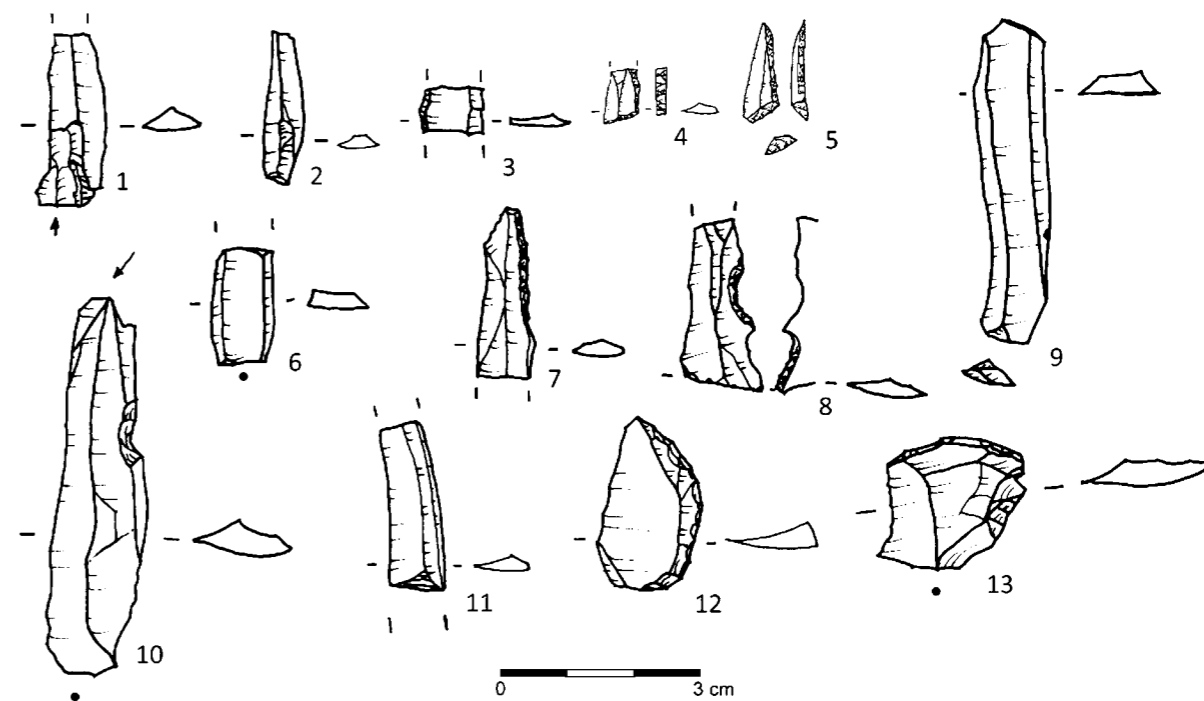
Tab. 1: Informace o radiouhlíkově datovaných vzorcích. Hodnocení jakosti vzorku kosti: 1 – nejlepší, 6 – nevyhovující

## 3. Popis nalezené kamenné štípané industrie

Soubor představuje cennou kolekci ŠI. Početnější stratifikované mezolitické nálezové celky z Českého krasu totiž chybí, což je dáno způsobem starších výzkumů (Svoboda ed. 2002). Pro získání drobnotvarých nástrojů je totiž materiál nutné systematické prosévání sedimentu, které však v minulosti často nebylo prováděno. I proto je materiál ze Skalice mimořádně cenný. Soubor dokládá intenzivní využívání místních surovin, především rohovců typu Český kras, které v materiálu převažují. Zastoupeny jsou však i kvalitní suroviny z oblastí S-SZ od lokality, jako jsou křemence a silicity glacienních sedimentů. Výrobní postupy jsou u všech surovin obdobné – cílená produkce

Suroviny	Rohovec ČK	křemence	SGS	neurčeno	PS	limnosilicít	celkem
Nástroje	4	3	5	1	3	0	16
Čepele/čepelky	15	0	6	0	1	0	22
Technické úštěpy	4	2	2	0	0	0	8
Debitáž	118	8	45	3	3	4	181
Celkem	141	13	58	4	7	4	227

Tab. 2: Základní informace o souboru kamenné štípané industrie ze Skalice. Použité zkratky: Rohovec ČK: Rohovec typu Český kras; SGS: silicity glacienních sedimentů; PS: přepálený silicít.



Obr. 2: Kresebná dokumentace vybraných nálezů ze Skalice. Stratigrafická poloha nálezů: vrstva 2: 1, 2, 8–11, 13; vrstva 3: 3–5; vrstva 4: 6, 7; vrstva 5: 12. Použité suroviny: křemence: 5, PS 3, 7, rohovec ČK 1, 2, 6, 8, 11, 13; SGS: 4, 9, 10, 12.

pravidelných čepelí/čepelků, a to i z místních rohovců (viz obr. 2). Typologicky se nálezy řadí mezi staromezolitické. Ze spodních vrstev navíc pochází silně patinované artefakty, které pravděpodobně přísluší mladému paleolitu (magdalenien).

## 4. Závěr

Naleziště Na Skalici má výrazný potenciál pro další výzkum. Byly zde zachovány archeologické materiály pokrývající dlouhé časové období, během něhož se život lidí zásadně proměnil. Archeologický záznam je v souladu s poznatky zoologickými a rovněž koresponduje s výsledky radiouhlíkového datování. Jde o dobře zachované naleziště dokumentující vývoj mezi závěrem pleistocénu a starší fází holocénu. Navzdory obvykle nižší intenzitě osídlení v krasových oblastech je tato lokalita na nálezy poměrně bohatá. Výzkum provedený v roce 2025, jehož výsledky zatím nejsou detailně zpracovány, předběžně potvrzuje poznatky získané analýzou prezentovaného archeologického materiálu. Jeskyně Na Skalici tak představuje cenný pramen pro studium proměn způsobu života lovců a sběračů na přelomu pleistocénu a holocénu.

## Poděkování

Děkujeme za finanční podporu výzkumu AVČR programu Strategie AV 21: Epicentra civilizace.

The project is co-financed by the governments of Czechia, Hungary, Poland and Slovakia through Visegrad Grants from the International Visegrad Fund (project n°22430057). The mission of the fund is to advance ideas for sustainable regional cooperation in Central Europe.

Za umožnění provedení výzkumu děkujeme CHKO Český kras a Lesům ČR, a za neocenitelnou pomoc při přípravě a provedení výzkumu děkujeme

## SEZNAM LITERATURY:

- SVOBODA J. A KOL. ED., 2002: Prehistorické jeskyně: katalogy, dokumenty, studie. – Archeologický ústav AV ČR. Brno. 407 str.  
BRONK RAMSEY C., 2009: Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51, 1, str. 337–360.  
REIMER P. A KOL., 2020: The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). - Radiocarbon 62, 4, str. 725–757.

## REVIZNÍ ARCHEOLOGICKÉ VÝZKUMY V JIŽNÍ ČÁSTI MORAVSKÉHO KRASU

Petr Škrdla<sup>1</sup>, Jaroslav Bartík<sup>1</sup>, Matěj Kmošek<sup>1</sup>, Martin Novák<sup>1</sup>, Ondřej Herčík<sup>1</sup>, Soňa Boriiová<sup>1</sup>,  
Katarína Adameková<sup>1</sup>, Ladislav Nejman<sup>1,2</sup>, Miroslav Králík<sup>3</sup>, Ondřej Mlejnek<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Archeologický ústav AVČR Brno, Čechyňská 363/19, 602 00 Brno, e-mail: skrdla@arub.cz

<sup>2</sup> School of Archaeology and Anthropology, Banks Building, The Australian National University, 44 Linnaeus Way, AU-0200 Canberra, e-mail: lnejman81@gmail.com

<sup>3</sup> Ústav antropologie, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno, e-mail: kralik@sci.muni.cz

<sup>4</sup> Katedra archeologie, Filozofická fakulta, Univerzita Hradec Králové, Rokitanskeho 62, 500 03 Hradec Králové, e-mail: ondrej.mlejnek@uhk.cz

### Abstrakt:

Výplně krasových dutin představují z archeologického i přírodovědného pohledu unikátní prostředí. Intenzivní výzkumy, které v jižní části Moravského krasu trvají již více než 150 let, vedené metodikou adekvátní své době, měly za následek značnou redukci intaktních poloh. Většina sedimentů z dřívějších výzkumů skončila na výsypkách, které byly deponovány v blízkosti jeskyní. Abychom zjistili archeologický potenciál, který se dosud skrývá v překopaných sedimentech, proplavili jsme vzorky z hald vyvezených z jeskyní Pekárna a Švédův stůl. Získané nálezy dokládají značný potenciál těchto sedimentů pro další výzkum a nutnost jejich ochrany. V případě jeskyně Liščí díra se podařilo zachytit okraje Klímových sond a rozšířit kolekci stratifikovaných nálezů. Odebrané vzorky mají potenciál vyřešit otázku, kdo a kdy v jeskyni v pravěku přebýval, a jaké v té době bylo v údolí Řičky přírodní prostředí.

**Klíčová slova:** revizní archeologický výzkum, vyvážka, plavení sedimentů, Švédův stůl, Liščí díra, Pekárna

### 1. Úvod a historie výzkumů v jižní části Moravského krasu

Jeskyně představovaly přirozené úkryty v otevřené krajině a lákaly tak nejenom na toto prostředí specializovanou faunu, ale i člověka a jeho předchůdce. Lidé využívali jeskyně nejen jako krátkodobé útočiště, ale i pro delší pobyty, nebo rituální účely. Krasové dutiny obecně představují unikátní přírodní prostředí, sedimentární past, která umožňuje dochování širokého spektra přírodnin včetně pozůstatků po přítomnosti člověka – jeho fyzické ostatky, nástroje, ozdoby, umění i zbytky lovené zvěře.

Výzkum jeskyní v jižní části Moravském krasu byl do značné míry ovlivněn jeho polohou v blízkosti města Brna, a tudíž jeho snadnou dostupností pro široké spektrum zájemců. Vlastní výzkum, vedený s cílem získání dokladů o přítomnosti člověka v minulosti (souhrnně např. Svoboda et al. 2002; Valoch 2001, Valoch et al. 2002; Pokorný 1998), započal již na konci devatenáctého století pracemi studentů (např. F. Koudelka, J. Knies) a posléze se do něho zapojili všichni významní krasoví badatelé (H. Wankel, J. Szombathy, M. Kříž, R. Trampler a další) i další amatérští zájemci (za všechny K. Kubasek, nálezece ochozské čelisti). Následující etapou byla rozsáhlá výzkumná činnost K. Absolona v období mezi dvěma světovými válkami, kdy spolu s R. Czižekem systematicky prokopali jeskyni Pekárnu. Aktivní ale i v tomto období byli i další badatelé (např. F. Czupik, H. Walloch, V. Gebauer, K. Valoch, F. Bulla ad.). Jižní části Moravského krasu se naštěstí vyhnul osud některých větších jeskyní (Kůlna, Michalka, Výpustek, Stará Drátenická a Býčí skála) ve střední a severní části Moravského krasu, které byly za druhé světové války upravovány na podzemní továrny pro válečnou výrobu a jejich sedimentární výplně byly touto činností zničeny nebo značně poškozeny.

Po válce se na jeskyně Moravského krasu zaměřila nová generace badatelů v čele s B. Klímou, kteří revidovali dosavadní poznatky a prozkoumali další lokality. Zmínit je možné zejména komplexní výzkumy jeskyní Švédův stůl, Křížova, Liščí díra, Klímova, Hadí a taktéž výzkumy na plošinách před jeskyněmi Pekárnou a Ochozskou. O dvě dekády později získal J. Svoboda stratigrafické údaje k pozdnímu glaciálu z jeskyně Kůlnička a výzkumem intaktní polohy ve vstupu do jeskyně Pekárna ověřil Absolonovu stratigrafii, ze které získal údaje o přírodním prostředí a první absolutní data pro magdalénien z jižní části

Moravského krasu (Svoboda 1991). Z dalších badatelů je z poválečného období zdokumentována zejména činnost J. Vaňury, jenž na haldě před jeskyní Švédův stůl našel izolovaný zub neandrtálce (Vaňura 1965; souhrnně Mlejnek et al. 2024).

### 2. Aktuální výzkumy

Všechny výše zmíněné akce měly za následek nevratné poškození výplní krasových dutin. Jelikož počet těchto dutin vhodných k osídlení a stejně tak objem sedimentů v nich je omezený, je v současné době možnost nových výzkumů nebo revizí dříve zkoumaných lokalit značně limitovaná.

#### 2. 1. Revize haldy před jeskyní Pekárna

Před jeskyní Pekárnou se po deštích běžně nalézají kamenné artefakty i osteologický materiál. Cílem revizního výzkumu, realizovaného v letech 1995–1997, proto byla kvantifikace zbývajícího archeologického potenciálu sedimentů, které byly vyvezeny z jeskyní během dřívějších výzkumů. Proplavena byla pouze malá část sedimentů deponovaných na haldě vlevo před portálem Pekárny (Škrdla a Lázničková 1999). Vzhledem k náročnosti operace (ruční transport do Kamenného žlíbku) byly proplaveny pouze 2 m<sup>3</sup> sedimentu, který přesto poskytl několik stovek kamenných artefaktů (včetně několika desítek čepelek s otupeným bokem) i neutilitární předměty (kostěný korálek, zlomek břidlice s provrtem a zlomek kosti se stopami rytí). Konstatován byl značný potenciál získání dalších předmětů (včetně uměleckých) drobných rozměrů.

#### 2. 2. Revize plošiny a haldy před jeskyní Švédův stůl

Cílem výzkumu bylo ověření možnosti, že někde v prostoru plošiny před jeskyní se mohly dochovat intaktní sedimenty. Byla proto vyhloubena sonda od portálu po hranu plošiny. Tato sonda v prostoru dále od portálu směrem k haldě skutečně zachytila mezi kameny zbytky původního intaktního sedimentu. Získány byly ojedinělé artefakty, osteologický materiál a radiokarbonová data spadající na počátek mladého paleolitu (Nejman et al. 2020). V letech 2019–2024 byla věnována pozornost také reviznímu výzkumu sedimentů



Obr. 1: Liščí díra, revizní výzkum v roce 2025. Kosti pleistocenního koně v intaktním sedimentu.

z haldy, kterou B. Klíma deponoval před jeskyní během jeho výzkumů v 50. letech minulého století (Škrdla et al. 2025). Zatímco B. Klíma (1962) podle jeho odhadu prokopal a vyvezl 450 m<sup>3</sup> sedimentů, nově bylo prozkoumáno pouze 16 m<sup>3</sup> těchto sedimentů, což představuje přibližně 3,6 % objemu Klímovy haldy. Na rozdíl od původní výzkumné metodiky byly při revizním výzkumu veškeré sedimenty plaveny na sítech o rozměru oka 2 mm, což umožnilo získání i těch nejdrobnějších artefaktů.

Nově bylo získáno 229 artefaktů (oproti 193 artefaktům z výzkumu B. Klímy). Převážnou část nově získaných artefaktů štípané kamenné industrie lze klasifikovat jako magdalénien, pouze u několika ústěpů z hrubozrnných surovin lze uvažovat i o středopaleolitické klasifikaci. Ojedinelé artefakty umožňují i post-paleolitickou klasifikaci (srpová čepel z rohovce typu Olomučany). Technologické spektrum je téměř z poloviny (45 %) tvořeno drobnými artefakty do velikosti 1,5 cm. Skupina nástrojů představuje 15,7 % souboru a z poloviny je tvořena mikrolitickými nástroji, které doplňují škrabadla, rydla, retušované čepele a jejich zlomky, vrták, odštěpovač a retušovaný zlomek. Nálezy keramických fragmentů odpovídají kulturním okruhům doloženým již výzkumem B. Klímy. Nově ale byly získány dva malé korálky a zlomek jednoho většího skleněného korálku, které lze na základě prvkové analýzy datovat do doby bronzové a do doby železné. Z dalších zajímavých předmětů pravděpodobně paleolitického stáří, lze zmínit zlomek vápence se stopami rytí, snad opad ze stěny jeskyně, který bude předmětem specializované studie, dva protáhlé valounky kulmské břidlice beze stop rytí, špičák lišky s otvorem na zavěšení a hrudky oxidů železa. Výše popsané nálezy doplňuje více než 30 kg fragmentů osteologického materiálu.

### 2. 3. Revizní výzkum jeskyně Liščí díra

V prostoru pod převisem, který představuje pokračování vlastní jeskyně severním směrem, jsme nejprve začistili okraje předpokládaných Klímových sond. Podařilo se zachytit severní okraj dřívějšího výzkumu (Klímův profil 4) i zaoblené nároží s profilem 5 (cf. Klíma 2002, 161, obr. 3). Rozhodli jsme se Klímovu sondu rozšířit jednak o dva metry severním směrem, kde jsme sledovali pokračování převisu, a jednak směrem od profilu 5 k portálu jeskyně, což je prostor výslovně zmiňovaný Klímou jako vhodný pro pokračování výzkumu. Rozšíření severním směrem nepřineslo archeologický materiál s výjimkou dlouhé, úzké čepelky, která ovšem byla nalezena v zásypu starší, zřejmě jeskyňářské sondy. Z intaktní spraše pod převisem byl získán pouze osteologický materiál (lebka a další kosti koně). Naproti tomu v sondě za profilem 5 jsme ve sprašovitém sedimentu našli hojný osteologický materiál (převažuje kůň, ale zřejmě se objevil i nosorožec) v doprovodu 10 drobných štípaných kamenných artefaktů. Níže byl zachycen horizont oranžově hnědé půdy, jehož nejsvrchnější část byla snad propálena od ohně. Žádné artefakty ale v této úrovni již nalezeny nebyly.

Klíma na lokalitě popisuje dva kulturní horizonty – magdalénský v horní partii vrstvy 5 (pazourkové rydlo) a druhý z počátku mladého paleolitu na bázi vrstvy 5 (industrie z rohovce typu Býčí skála). Námi nalezené artefakty byly rozptýleny ve sprašovitém horizontu, který dosahoval mocnosti přibližně 30 cm a je ho možno ztotožnit s Klímovou vrstvou 5. Surovinově (rohovec typu Býčí skála a pazourek) odpovídají naše nálezy Klímovým artefaktům a v jednom případě se dokonce podařilo přiložit drobnou čepelku z našeho výzkumu na jádro z Klímova výzkumu, čímž se obě kolekce propojily. Nutno však konstatovat, že námi nalezené artefakty jsou výrazně menší, než ty z Klímova výzkumu. To by naznačovalo možnost, že podobně jako u výše popsaných jeskyní, sediment ve vyvážce před jeskyní ještě obsahuje drobnější artefakty přehlédnuté během Klímova výzkumu. Jeden ústěp radiolaritu skutečně před lety našel na haldě jeden z autorů příspěvku (P. Š.). Vzhledem ke skutečnosti, že při současném výzkumu bylo proplaveno přibližně 5 m<sup>3</sup> sedimentu a bylo získáno pouze 10 artefaktů (z nichž 5 představují drobné šupinky), není případné proplavení haldy na pořadu dne. Možné by bylo rozšíření zkoumané plochy za Klímovým profilem 5 směrem k portálu jeskyně. Odebrány byly vzorky na přírodovědné analýzy včetně datování, které zodpoví výzkumnou otázku týkající se absolutního datování osídlení jeskyně lidmi.

### 3. Diskuse a závěr

Reexkavace jeskynních sedimentů vyvezených během starších výzkumů z jeskyní Švédův stůl a Pekárny, stejně tak jako revizní výzkum Liščí díry umožňují porovnání výzkumných etap, které od sebe dělí téměř 70 let. Hlavní rozdíl spočívá v metodice výzkumu – zatímco jeskynní sedimenty byly při dřívějších výzkumech prokopány pomocí hrubých nástrojů a nebyly prosévány, dnes jsou veškeré sedimenty kompletně proplavovány. Použití síta o velikosti 2 mm a vody k promytí veškerého materiálu poskytlo příležitost k získání artefaktů, které byly při dřívějších výzkumech přehlédnuty. Artefakty z hald jsou ve

srovnání s dřívějšími nálezy obecně menší, ale kolekce nově získaných nálezů obsahuje i větší předměty a taktéž kategorie předmětů dříve nezachycených. Výzkumy dochovaných intaktních sedimentů umožňují získat materiál pro přírodovědné analýzy, které nebyly v době původních výzkumů k dispozici. Odebrané vzorky tak umožní dataci jednotlivých horizontů a poskytnou informace o formování jednotlivých vrstev a taktéž i vývoji přírodního prostředí.

Závěrem je možno konstatovat, že výzkum již jednou překopaných sedimentů má potenciál přinášet další poznatky o využívání jeskyní v různých obdobích pravěku, a proto v něm chceme pokračovat. Současně je třeba konstatovat, že výsypky před jeskyněmi z našeho pohledu představují sekundární archeologické lokality a jako takové je třeba je patřičně chránit.

### Poděkování:

Naše poděkování míří na jedné straně ke Správě CHKO za vstřícný přístup k archeologickým výzkumům a na druhé straně k dobrovolníkům, kteří se na výzkumných akcích podíleli. Výzkum Liščí díry podpořil projekt ESF s názvem Last Neanderthals, jehož hlavní řešitelé jsou S. Benazzi (Univ. Bologna), F. Berna (Univ. Siena) a O. Barzilai (Univ. Haifa).

### SEZNAM LITERATURY:

- KLÍMA B., 1962: Die archäologische Erforschung der Höhle Švédův Stůl in Mähren. In: R. Musil (red.): Die archäologische Erforschung der Höhle Švédův Stůl 1953–1955. - Anthropos 13, N. S. 5. Brno: Krajské nakladatelství v Brně, str. 7–96.
- KLÍMA B., 2002: Jeskyně v údolí Říčky: Kůlnička, Liščí a Klímova. In: J. Svoboda (ed.): Prehistorické jeskyně. Katalogy, dokumenty, studie. – Dolnověstonické studie 7. Brno: Archeologický ústav AV ČR, Brno, str. 158–172.
- MLEJNEK O., OLIVA M., NÝVLTOVÁ FIŠÁKOVÁ M. ET AL., 2024: History of research at Švédův stůl Cave in the Moravian Karst. – Přehled výzkumů 65/1, str. 11–37.
- NEJMAN L., HUGHES P., SULLIVAN M. ET AL., 2020: Preliminary report of the 2019 excavation at Švédův Stůl Cave in the Moravian Karst. – Přehled výzkumů 61/1, str. 11–19.
- POKORNÝ J., 1998: Výzkumy v jeskyni Pekárně. – Speleofórum XVII, str. 18–23.
- SVOBODA J., 1991: Neue Erkenntnisse zur Pekárna Höhle im Mährischen Karst. – Archäologisches Korrespondenzblatt 21, str. 39–43.
- SVOBODA J., HAVLÍČEK P., LOŽEK V. ET AL., 2002: Paleolit Moravy a Slezska. – 2. aktualizované vydání. Dolnověstonické studie 8. Archeologický ústav AV ČR Brno.
- ŠKRDLA P., LÁZNIČKOVÁ M., 1999: Mokrý – Horákov (kat. úz. Mokrý, okr. Brno-venkov). – Přehled výzkumů 40, str. 158–159.
- ŠKRDLA P., BARTÍK J., NEJMAN L. ET AL., 2025: Re-examination of discarded deposits from Švédův stůl Cave (Moravian Karst, Czech Republic) and their archaeological potential. – Študijné zvesti archeologického ústavu Slovenskej Akadémie Vied, 72, 1, str. 1–17.
- VALOCH K., 2001: Das Magdalénien in Mähren. 130 Jahre Forschung. – Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz, 48, str. 103–159.
- VALOCH K., SVOBODA J., BALÁK I., 2002: Katalog moravských jeskyní s paleolitickými nálezy. In: J. Svoboda (ed.): Prehistorické jeskyně. Katalogy, dokumenty, studie. Dolnověstonické studie 7. Brno: Archeologický ústav AV ČR, Brno, str. 25–52.
- VAŇURA J., 1965: Nález moláru neandrtálského člověka na haldě před jeskyní Švédův Stůl v Moravském krasu. - Časopis pro mineralogii a geologii, 10, 3, str. 337–341.

## ARCHEOLOGICKÉ A EPIGRAFICKÉ VÝZKUMY V KATEŘINSKÉ JESKYNĚ

Petr Zajíček<sup>1</sup>, Ivana Vostrovská<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Oddělení péče o jeskyně, Správa jeskyní České republiky,

<sup>2</sup> Katedra historie, Filozofická fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci

### Abstrakt:

Stará Kateřinská jeskyně byla známá a přístupná od pravěku. Mohutný portál byl objektem zájmu archeologů od poloviny 19. století. Byly zde učiněny nálezy z období neolitu, až po středověk. Od roku 2016 začal ve vnitřních prostorách staré Kateřinské jeskyně epigrafický výzkum abstraktních uhlíkových čar na stěnách. Postupně se do dnešní doby podařilo nalézt a datovat celkem 15 pravěkých kresebných uhlíkových stop z období od neolitu po halštát, tři středověké a jedna novověká uhlíková stopa. V návaznosti na epigrafický výzkum probíhal v letech 2022–2024 archeologický výzkum v blízkosti datovaných pravěkých kreseb, který v jedné části jeskyně přinesl překvapující objevy.

**Klíčová slova:** Archeologie, neolit, Morava, Moravský kras, jeskyně, Kateřinská jeskyně, doba halštatská, jeskynní kresby, archeologický výzkum, pravěk, radiokarbonové datování, paleontologie

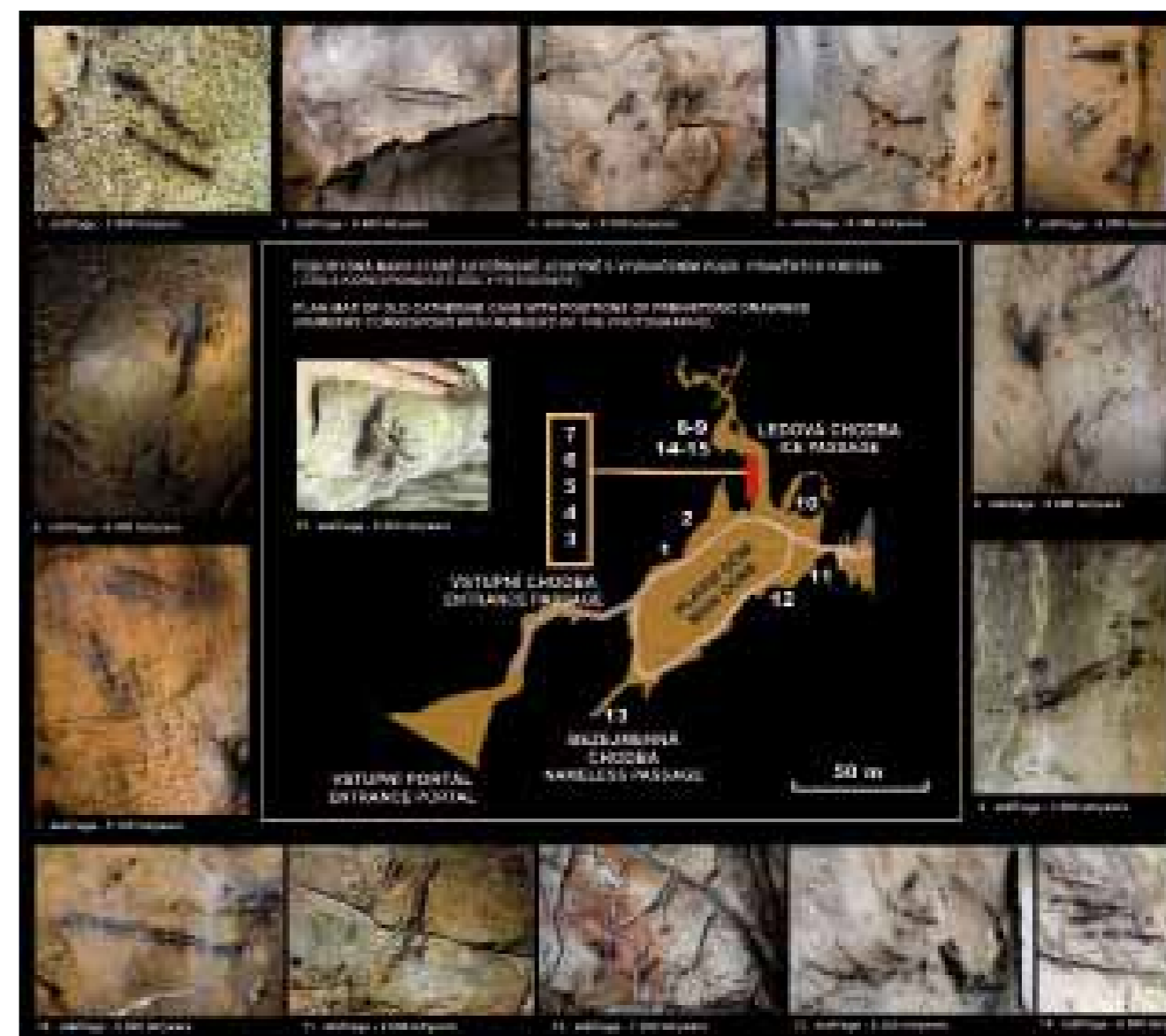
### 1. Úvod

V roce 2016 byly na stěnách ve vnitřních prostorách Kateřinské jeskyně zjištěny uhlíkové abstraktní kresebné objekty, které připomínají kresebné stopy z období neolitu z jiných jeskyní Evropy (např. Mihevc 2022). Ve spolupráci s Ústavem jaderné fyziky AV ČR byly odebrány a datovány radiokarbonovou metodou vzorky uhlíku z těchto objektů. V roce 2017 byla datována pouze jedna kresba, a to do vrcholného středověku. Až v roce 2019 byly teprve identifikovány první čtyři kresby z období neolitu, které se tak staly nejstaršími jeskynnými kresebnými objekty v České republice, a jedna z období halštátu (Zajíček 2019). Následně byly v různých částech staré Kateřinské jeskyně vytipovány další uhlíkové kresebné stopy, z nichž byly odebrány vzorky, a po analýze bylo v roce 2021 zjištěno celkem šest kreseb, čtyři z neolitu a eneolitu, a dvě středověké (Zajíček 2020). Výsledky výzkumů včetně popisu metodiky radiokarbonového datování byly též publikovány v mezinárodním odborném časopise Radiocarbon (Golec et al. 2021). V dalších letech pokračoval epigrafický výzkum a následně proběhl systematický archeologický výzkum ve vnitřních prostorách staré Kateřinské jeskyně v blízkosti detekovaných pravěkých kreseb, který přinesl následující výsledky. Na epigrafickém a archeologickém výzkumu se podílí Univerzita Palackého v Olomouci, Ústav jaderné fyziky AV ČR a Správa jeskyní České republiky.

### 2. Epigrafický výzkum v Kateřinské jeskyni v letech 2021–2024

Dosud zjištěné a datované pravěké kresby se nacházejí v různých částech staré Kateřinské jeskyně. Nejvíce v Ledové chodbě, dále na stěnách největšího prostoru – Hlavního domu a jedna z nich se nachází v tzv. bezejmenné chodbě. Postupně v několika etapách byly detekovány další pravěké kresby. Evidováno je k 31. 12. 2024 celkem 15 kresebných pravěkých uhlíkových stop z období od neolitu po halštát, tři středověké a jedna novověká uhlíková stopa. Jedna ve výklenku u tzv. Netopýřího jezírka, jedna v tzv. bezejmenné chodbě, šest na stěnách Hlavního domu a nejvíce 11 v různých částech Ledové chodby. Většinou se jedná o abstraktní skupiny čar a skvrn. Několikrát se však opakuje dvojité rovnoběžné čára. Pozoruhodné jsou dva objekty v Ledové chodbě vzdáleně připomínající lidské postavy. Tvarově podobné kresby byly nalezeny v jeskyni Domica ve Slovenském krasu (Šeřčáková – Levchenko 2021) nebo v jeskyni Bezažovca ve Slovinsku (Mihevc 2022). Ty byly již dříve datovány radiokarbonovou metodou a bylo zjištěno stáří 6 700 let, což odpovídá neolitickým kresbám v Kateřinské jeskyni (Zajíček 2022). V prostorách jeskyně se nachází ještě pět dalších kresebných objektů, které ještě datovány nebyly.

Množství a charakter a různé stáří kreseb na stěnách staré Kateřinské jeskyně bezesporu svědčí o tom, že prostory za nízkou, 60 metrů dlouhou vstupní chodbou, byly v různých etapách pozdního pravěku hojně



Obř. 1: Patnáct datovaných uhlíkových pravěkých kreseb v Kateřinské jeskyni a jejich pozice v mapě

navštěvovány. Dle charakteru kreseb nelze předpokládat, že šlo o náhodné otěry hořících loučů, ale byly vytvořeny záměrně. Jeskyně mohla v pravěku sloužit jako svatyně pro iniciační obřady. Jedná se o praktiky, kdy je jedinec uváděn do nové společenské role. Všechny společnosti například oslavují přechod chlapce nebo dívky z dětského věku do světa dospělých. Lidé mohli prolézat dlouhou nízkou chodbou až do vnitřních prostor jeskyně. Mohutný prostor Hlavního domu, který sotva dokázali osvětlit loučemi, jistě působil na stav jejich mysli (Lewis-Williams 2007). Při této příležitosti mohli vznikat kresby na stěnách jeskyně jako značky dokládající dosažení konkrétního místa v hlubokém nitru jeskyně.

### 3. První etapa archeologického výzkumu v roce 2022

V návaznosti na překvapivé výsledky epigrafického výzkumu a nález nejstarších jeskynných kreseb na území České republiky byl již v roce 2022 schválen archeologický výzkum v místech blízko pravěkých kreseb. Výzkum prováděli pracovníci a studenti Univerzity Palackého v Olomouci, pracovníci Moravského zemského muzea v Brně a Správy jeskyní České republiky. První etapa výzkumu probíhala ve dnech 7.–12. srpna 2022 (Vostrovská et al. 2023). Výzkum probíhal na dvou místech, a to v Ledové chodbě a v chodbě bezejmenné. Velmi brzy se ukázalo, že sedimenty ve svrchní vrstvě v Ledové chodbě byly narušeny. Přesto v nich byly nalezeny kosti pleistocenních živočichů, převážně medvěda jeskynního (*Ursus spelaeus*). Níže byly nalezeny dokonce pozůstatky elektroinstalace z prvního zpřístupnění jeskyně v roce 1910. Teprve na dně sondy byla zjištěna intaktní vrstva jezerního sedimentu.



Obr. 2: Torzo středověké keramické nádoby spleené z nalezených střepů v bezejmenné chodbě



Obr. 3: Torzo zdobené středověké keramické nádoby nalezené v bezejmenné chodbě



Obr. 4: Ukázka pravěké štípané kamenné industrie - šípky z rohovce - nalezené v bezejmenné chodbě

Mnohem zajímavější nálezy byly učiněny při odkrývání vrstev v chodbě tzv. bezejmenné. Prvním pozoruhodným artefaktem byl plíšek ve tvaru staré mince bez vyraženého reliéfu. Několik dalších fragmentů kovových plechů s otvory vzápětí potvrdilo, že se jedná o mincovní střížek a odpadní materiál středověké penězokazecské dílny. Zároveň s nimi byly odhaleny i středověké keramické střepy patrně ze stejného období. V kulturní vrstvě byla nalezena pravěká kamenná štípaná industrie a několik nálezů keramických střepů z doby bronzové. Ve spodních vrstvách sondy se už nacházely převážně jen kosti pleistocenních živočichů.

První etapa archeologického výzkumu odhalila první jeskynní penězokazecskou dílnu na území Moravského krasu. Pravěká a středověká keramika a též štípané kamenné nástroje přinesly nové poznatky o této lokalitě.

#### 4. Archeologický výzkum v roce 2023

V roce 2023, ve dnech 19.–23. června pokračoval archeologický výzkum ve stejném rozsahu (Vostrovská et al. 2024). V Ledové chodbě byly otevřeny další dvě sondy, avšak terénní situace a materiál byl podobný obsahu sondy z roku 2022. Svrchní vrstvy sedimentů byly nesourodé, zjevně dříve porušené, s výskytem kostí pleistocenních živočichů v nepůvodním uložení. Následně však byla pod sintrovou deskou zjištěna již intaktní pleistocenní vrstva s velkým množstvím roztroušených kostí zvířat. V tzv. bezejmenné chodbě pokračoval výzkum směrem k ústí z Hlavního domu. Velmi překvapující byl nález několika celých kovových plátů s probítnými otvory po padělaných mincích. Dále bylo nalezeno množství dalších střížků a odpadu, které doplnily tento unikátní nález. Doplněna byla i kolekce keramických střepů jak z doby bronzové, tak i ze středověku. Opakované pravěké návštěvy vnitřních prostor staré Kateřinské jeskyně potvrdily další nalezené artefakty kamenné štípané industrie. Pozoruhodný byl nález šípky vyhotovené ze spongolitu. Kamenné nástroje z bezejmenné chodby mohou pocházet z mladého paleolitu až eneolitu. Největším překvapením byl nález dvou úlomků kamenné břídicové destičky s basreliéfem, který připomíná procesí chetitských bohů vyobrazené na skalní stěně ve svatyni Yazılıkaya v Chattušaši v dnešním středním Turecku. Původ i stáří tohoto nálezu jsou prozatím nejasné. Tento nález skýtá nejvíce otázek a je pravděpodobné, že jeho původ nebude nikdy zcela objasněn.



Obr. 5: Ukázka pravěké štípané kamenné industrie nalezené v bezejmenné chodbě

#### 5. Překvapivý objev během archeologického výzkumu v roce 2024

Archeologický výzkum vnitřních prostor Kateřinské jeskyně byl schválen i pro rok 2024. Trval dva týdny ve dnech 11.–23. 8. (Vostrovská et al. v tisku). Prostory Ledové chodby byly z výzkumu již vyňaty, protože v této chodbě nebyly zjištěny žádné antropogenní vrstvy. Pokračovala však exkavace v tzv. bezejmenné chodbě a do výzkumu byly zahrnuty prostory Hlavního domu. Jednalo se o sondy u skalního útvaru „Mozek“, na kterém byly datovány vůbec nejstarší kresebné stopy, a také o sondu ve výklenku za Netopýřím jezírkiem, kde se nachází také pravěké kresby. V těchto sondách v prostoru Hlavního domu však byly nalezeny opět pouze kosti pleistocenních živočichů, avšak v intaktních vrstvách. V sondě za Netopýřím jezírkiem bylo těsně při povrchu nalezeno pár novověkých keramických střepů. Nejzajímavější nálezy v tomto roce tak byly učiněny v navazující sondě v tzv. bezejmenné chodbě. Byla doplněna kolekce pravěkých a středověkých keramických střepů, štípané kamenné industrie i dokladů penězokazecské dílny.

Nejvýznamnějším objevem byl nález tří ozdob z ulit sladkovodního plže zubovce dunajského (*Theodoxus danubialis*). Tento druh se na území Moravského krasu nikdy nevyskytoval, tedy se dalo předpokládat, že byly ulity nebo již hotové závěsky do Kateřinské jeskyně přineseny v minulosti lidmi. To potvrdila i radiokarbonová analýza. Jejich stáří je přibližně 7000–8000 let, což zapadá do období neolitu, případně mezolitu. Jedná se o první nález tohoto druhu plže na území Moravského krasu.



Obr. 6: Kovové pláty z penězokazecké dílny v místě nálezu v bezejmenné chodbě



Obr. 7: Plíšky a střížky z penězokazecké dílny

## 6. Závěr

Několikaletý epigrafický a archeologický výzkum přinesl řadu významných objevů a poznatků o pravěkých a středověkých aktivitách ve staré Kateřinské jeskyni. Nejstarší jeskynní kresby v České republice, pestrý konvolut unikátních artefaktů a první doklady o penězokazecké dílně na území Moravského krasu. Stará Kateřinská jeskyně, jejíž vnitřní prostory byly od pravěku hojně navštěvovány, se tak stala jednou z našich nejvýznamnějších archeologických lokalit.



Obr. 8: Pravěké keramické střepy z doby bronzové



Obr. 9: Pravěké ozdoby z ulit zubovce dunajského



Obr. 10: Břidlicové destičky s basreliéfem zobrazujícím procesí Chetitských bohů.

## SEZNAM LITERATURY:

- GOLEC M., ZAJÍČEK P., SVĚTLÍK I. ET AL., 2021: Prehistoric charcoal graffiti discovered in Kateřinská cave, Czech republic. – Radiocarbon 63/2, str. 473–480.
- LEWIS-WILLIAMS D., 2007: Mysl v jeskyni: Vědomí a původ umění. – Praha. Academia.
- MIHEVC A., 2022: Neolitske risbe v jamí Bestažovci na Krasu. - Arheološki vestnik 73, str. 29–47.
- ŠEFCÁKOVÁ A., LEVCHENKO V., 2021: Prehistoric charcoal drawings in the caves in the Slovak Republic, Central Europe: Successful radiocarbon dating by a micro-sample 14C AMS. - Quaternary International 572, 20 January 2021, str. 120–130.
- VOSTROVSKÁ I., ZAJÍČEK P., GOLEC M. ET AL., 2023: Vavřinec (k. ú. Suchdol v Moravském krasu, okr. Blansko). Kateřinská jeskyně, parc. č. 753/1. Pozdní středověk. Dílenský areál. Sonda. Badatelský výzkum. - Přehled výzkumů 64/2, str. 157–159.
- VOSTROVSKÁ I., ZAJÍČEK P., PLICHTA A., 2024: Vavřinec (k. ú. Suchdol v Moravském krasu, okr. Blansko). Kateřinská jeskyně, parc. č. 753/7. Vrcholný středověk, pozdní středověk. Dílenský areál. Sonda. Badatelský výzkum. - Přehled výzkumů 65/2, str. 269–271.
- VOSTROVSKÁ I., ZAJÍČEK P., PLICHTA A., v tisku: Vavřinec (k. ú. Suchdol v Moravském krasu, okr. Blansko). Kateřinská jeskyně, parc. č. 753/7. Vrcholný středověk, pozdní středověk. Dílenský areál. Sonda. Badatelský výzkum. - Přehled výzkumů 66/2.
- ZAJÍČEK P., 2019: V Kateřinské jeskyni byly zjištěny pravěké uhlíkové kresebné stopy, nejstarší v České republice. – Ochrana přírody, 74, 5, str. 49-41.
- ZAJÍČEK P., 2020: Další etapa epigrafického výzkumu posunula hranici nejstarších kresebných stop v našich jeskyních. – Ochrana přírody, 75, 4, str. 24-25.

## GUÁNO A KOSTI NETOPÝRŮ: MÁLO DOCENĚNÁ ČASOVÁ SCHRÁNKA V NASICH JESKYNÍCH

Ivo Pavlík<sup>1</sup>, Tomáš Lošák<sup>1</sup>, Tadeáš Hrušovský<sup>1</sup>, Milan Geršl<sup>1</sup>, Michal Guba<sup>2</sup>, David Čani<sup>2</sup>, František Kuda<sup>3</sup>, Vít Ulmann<sup>4</sup>, Ivo Světlík<sup>5</sup>, Zuzana Golec Mírová<sup>5</sup>, Vlastislav Káňa<sup>6</sup>, Věra Fejtová<sup>7</sup>, Martin Golec<sup>8</sup>, Ivana Vostrovská<sup>8</sup>, Lenka Špačková<sup>9</sup>, Pavel Šunka<sup>9</sup>, Martin Zavřel<sup>10</sup>, Vlastimil Čoupek<sup>11</sup>, Marek Kalvoda<sup>11</sup>, Fraňo Travěnek<sup>12</sup>, Petr Zajíček<sup>13</sup>

<sup>1</sup> Mendelova univerzita, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, e-mail: ivo.pavlik@mendelu.cz,

tomas.losak@mendelu.cz, tadeas.hrusovsky@mendelu.cz, milan.gersl@mendelu.cz

<sup>2</sup> ZO ČSS 7-02 Hranický kras, Krčmaňská 481, 783 72 Velký Týnec, e-mail: michal.guba@seznam.cz, cani@hranickapropast.cz

<sup>3</sup> Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Drobného 28, 602 00 Brno, e-mail: Frantisek.Kuda@ugn.cas.cz

<sup>4</sup> Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě, Partyzánské náměstí 2633/7, Moravská Ostrava, 702 00 Ostrava, e-mail: vit.ulmann@zuova.cz

<sup>5</sup> Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i., Na Truhlárce, 39/64, 180 86 Praha 8, e-mail: svetlik@ujf.cas.cz, mirova.z@seznam.cz

<sup>6</sup> Muzeum Blanenska, p. o., Zámek 1/1, 678 01 Blansko, e-mail: kanabat@email.cz

<sup>7</sup> Museum Vysočiny Havlíčkův Brod, Havlíčkovo nám. 19, 580 01 Havlíčkův Brod, e-mail: vera.fejtova@centrum.cz

<sup>8</sup> Univerzita Palackého v Olomouci, Filozofická fakulta, Na Hradě 5, 779 00 Olomouc, e-mail: Golec@seznam.cz, ivana.vostrovaska@upol.cz

<sup>9</sup> Česká speleologická společnost, Na Březince 14, 150 00 Praha 5, e-mail: lenkaspachkova@volny.cz, pavel102@seznam.cz

<sup>10</sup> Masarykova univerzita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno, e-mail: m.zavrelx@gmail.com

<sup>11</sup> ZO ČSS 6-15 Holštejská, 679 13 Holštejn 72, e-mail: vlastimil.coupek@seznam.cz

<sup>12</sup> ZO ČSS 6-23 Aragonit, Polní 1190, Hranice I-Město, 753 01 Hranice, e-mail: travenec.franco@gmail.com

<sup>13</sup> Správa jeskyní České republiky, Květnové náměstí 3, 252 43 Průhonice, e-mail: zajicek@caves.cz

### Abstrakt:

Při studiu významu mykobakterií u netopýrů v krasovém prostředí bylo vyšetřeno 54 vzorků, jejichž stáří bylo stanoveno radiokarbonovým datováním. Z Hranického krasu (jeskyně Rotunda) pocházelo 35 vzorků guána netopýrů. Mykobakterie byly izolovány ze 22,9 % vzorků a jejich DNA byla prokázána v 74,3 %. Z Moravského krasu (jeskyně Býčí skála, Kateřinská a Amatérská) bylo vyšetřeno 8 vzorků guána netopýrů a 11 vzorků jejich kostí. Pouze z 1 (12,5 %) vzorku guána byly izolovány mykobakterie a současně byla prokázána i jejich DNA. Interval kalibrovaného stáří nejstaršího vzorku guána (CRL23\_1710) byl 13 393–13 155 BC a nejstaršího vzorku kostí netopýrů (CRL23\_1435) byl 7 325–7 076 cal BC. Mykobakterie byly izolovány z guána netopýrů (CRL23\_1421) datovaného 741–406 cal BC a jejich DNA byla prokázána v nejstarším datovaném vzorku. V kostech netopýrů mykobakterie nebyly prokázány žádnou metodou.

**Klíčová slova:** tuberkulóza, lepra, speleologie, ekologie mykobakterií, paleontologie, archeologie, chiropterologie

### 1. Mykobakterie: zdravotní význam a výskyt v prostředí

Mykobakterie zahrnují zdravotně nejvýznamnější mikroby. Obligátně patogenní *Mycobacterium (M.) tuberculosis* a *M. bovis* zůstávají dosud původci tuberkulózy člověka, skotu a ostatních savců. *M. leprae* způsobuje malomocenství (Kazda et al. 2009). Dalších, v roce 2022 validně popsanych 192 druhů, se vyznačuje pestrými vlastnostmi a výskytem. Všechny celkem 195 druhů mykobakterií je děleno podle klinického významu do tří rizikových skupin (Směrnice Evropské unie 2000/54/ES). Do **Rizikové skupiny (RZ) 1** (zdravotně nevýznamné, environmentální druhy) patří 99 (50,8 %) do **RZ 2** (podmíněně patogenní druhy) patří 86 (44,1 %) a do **RZ 3** (obligátně patogenní druhy) patří 8 (4,1 %) druhů (včetně výše zmíněných tří druhů ještě *M. africanum*, *M. caprae*, *M. pinnipedii*, *M. microti* a *M. ulcerans*). Tato **RZ 3** reprezentuje původce závažných

onemocnění lidí a zvířat (Pavlík et al. 2022a,b). V post-tuberkulózních změnách tkání i kostech lidí a zvířat může být DNA patogenu prokázána po několika tisíci letech (Crubézy et al. 1998, Bartos et al. 2006). Rozsáhlý výzkum realizovaný od roku 2016 v Moravském krasu a dalších českých a zahraničních krasových oblastech umožnil objasnit ekologii a význam více než 95 druhů mykobakterií (Modra et al. 2017, 2018, Pavlík et al. 2018, 2021, Hubelova et al. 2021, Ulmann et al. 2021, Pavlík et al. 2022a,b, Zukalova et al. 2023, Modra et al. 2024, Zukal et al. 2025).

#### 1.1. Výskyt mykobakterií v krasovém území

Mykobakterie se v krasovém území vyskytují v povrchových vodních zdrojích a různém, především rostlinném, materiálu. Do jeskynního prostředí jsou mykobakterie přinášeny vodou, která je kontaminována mykobakteriemi z erodované půdy nebo odpadní vodou z lidských sídel (Modra et al. 2024). V jeskyních (např. v Býčí skále) jsou dále ze sedimentů horizontálně šířeny mimo jiné žížalami (Modra et al. 2017). Skapové vody jsou v jeskyních mykobakteriemi kontaminovány zcela ojediněle, jak bylo např. zjištěno v Amatérské jeskyni (Modra et al. 2018). Do vod přítomných na dně propasti jsou mykobakterie zanášeny z povrchu splachovanou půdou, organickými zbytky (stěbla rostlin, listí, jehličí, větvičky a další dřevité materiály) a dalším materiálem, jak bylo zjištěno např. v Hranické propasti (Pavlík et al. 2018). Recentně odhaleným, významným vektorem transportu mykobakterií do jeskyní jsou netopýři, kteří je, stejně jako žížaly, vylučují výkaly, které se po asi 8 hod. mění na pomalu se rozkládající guáno (Modra et al. 2017, Pavlík et al. 2021, Ulmann et al. 2021).

#### 1.2. Průkaz mykobakterií

Mykobakterie jsou prokazovány v laboratorních podmínkách přímou mikroskopií po specifickém barvení dle Ziehl-Neelsena, kultivací (pevné a tekuté půdy) a detekcí mykobakteriální DNA. Metoda qPCR přitom umožňuje jejich množství kvantifikovat. K dispozici jsou již také i molekulárně biologické metody schopné prostřednictvím specifických úseků DNA určit přímo ve vzorku jejich druh (Ulmann et al. 2021). Metoda NGS umožňuje analyzovat přítomnost rodu *Mycobacterium* ve vyšetřovaném vzorku, který je mykobakteriemi bohatě osídlen (Pavlík et al. 2018).

#### 1.3. Mykobakterie jako nový indikátorový mikroorganismus v krasovém prostředí

Mykobakterie mají výjimečné vlastnosti díky stavbě buněčné stěny, která obsahuje peptidoglykan, mykolové kyseliny a glykolipidy. Tato složitá stavba zajišťuje mykobakteriím hydrofobicitu a tím i efektivní bariérou pro nízkomolekulární látky a ionty. V prostředí všechny druhy mykobakterií dlouhodobě přežívají; za určitých podmínek to jsou měsíce až roky. Přitom téměř všechny druhy v **RZ 1** a **RZ 2** jsou schopny se i pomalu množit při teplotách vyšších než 5 °C (Kazda et al. 2009, Pavlík et al. 2022b). Některé druhy mykobakterií využívají při svém růstu a replikaci v prostředí enzymy, které rozkládají např. dřevitý materiál (lignináza) nebo zbytky vnější kostry bezobratlých živočichů (chitináza). Ke svému přežití potřebují minimální množství kyslíku (jsou mikroaerofilní) a za nepříznivých podmínek jsou schopny vytvářet formy podobné sporám (tzv. pseudosporulace). Mykobakterie se proto jeví jako alternativní indikátorový mikroorganismus pro průkaz organického znečištění jeskynního prostředí (Pavlík et al. 2024). Dlouhodobá perzistence indolentních mikroorganismů může rovněž představovat vysoké riziko ohrožení zdraví osob přítomných v tomto prostředí kontaminovaném nejen podmíněně patogenními druhy mykobakterií, ale také jinými bakteriemi, viry, mikroskopickými houbami nebo parazity (Pavlík et al. 2017, Geršl et al. 2017).

### 2. Netopýři a mykobakterie

Přestože jsou mykobakterie schopné úspěšně infikovat studenokrevné i teplotokrevné obratlovce, netopýři jsou vysoce odolní vůči progresivnímu onemocnění (Kazda et al. 2009). Netopýři byli prozatím odhaleni jako vektor přenosu a rezervoár mykobakterií ve svém zažívacím traktu (Zukalová et al. 2023), kde mykobakterie zároveň spoluhibernují s hostitelem. Potvrzena byla i jejich schopnost dlouhodobého přežití v **guánu** (Pavlík et al. 2021, Zukal et al. 2025).

### 2.1. Přítomnost mykobakterií v současných vzorcích od netopýrů

V **guánu** pocházejícím z jeskyní osmi evropských zemí (Bulharsko, Česká republika, Francie, Maďarsko, Itálie, Rumunsko, Slovensko a Slovinsko) a v guánu na půdách budov produkovaném letními koloniemi netopýrů velkých v České republice bylo dosud izolováno 19 mykobakteriálních druhů. Celkem 22,5 % mykobakteriálních izolátů pocházelo z **RZ 1** a 58,6 % z **RZ 2** (Pavlik et al. 2021). Druhá pestrost je ve **výkalech a guánu** ve srovnání s jinými vyšetřovanými matricemi statisticky významně vyšší. Guáno a zahradní substráty s guánem používané ke hnojení rostlin jsou rovněž hojně kontaminovány stejnými druhy mykobakterií (Ulmann et al. 2021, Lošák et al. 2025).

V **kostech** jsou mykobakterie u člověka a savců prokazovány v případě jejich infekce obligátně patogenními druhy; kostní humánní i bovinní tuberkulóza člověka postihuje jak dospělé osoby, tak i děti (infikována bývá jak kostní dřev, tak ostatní části kostí). U netopýrů nebyly tyto patogenní druhy v kostech prokázány (Kazda et al. 2009).

### 2.2. Mykobakterie v guánu a kostech netopýrů

Povědomí a dříve získané poznatky o rezistenci mykobakterií a jejich DNA nás vedlo k ověření jejich možné přítomnosti v 54 vzorcích archaického guána a kostí netopýrů, jejichž stáří bylo stanoveno pomocí radiokarbonového datování (Svetlík et al. 2019). Z Hranického krasu (jeskyně Rotunda) bylo vyšetřeno z pěti vrtů celkem 35 vzorků guána (obr. 1 a 2); z 8 (22,9 %) vzorků byly izolovány mykobakterie a ve 26 (74,3 %) vzorcích byla prokázána jejich DNA. Z Moravského krasu pocházelo 8 vzorků guána, z nichž bylo z 1 (12,5 %) vzorku izolováno *M. terrae* komplex zároveň s pozitivním průkazem mykobakteriální DNA. Vyšetření 11 vzorků kostí netopýrů (obr. 2) bylo na přítomnost mykobakterií negativní.



Obr. 1: Posouzení vzorků ze sondy z jeskyně Rotunda Milanem Geršlem.



Obr. 2: Odběr vzorků guána na laboratorní vyšetření



Obr. 3: Zasintrované kosti netopýrů v Býčí skále.



Obr. 4: Posouzení vzorků kostí z jeskyně Moravského krasu Ivo Světlíkem (vlevo) a Vlastislavem Káňou (vpravo) před jejich radiokarbonovým datováním

### 2.3. Mykobakterie v guánu a kostech netopýrů a radiokarbonové datování

Výsledky detekce přítomnosti DNA mykobakterií metodou qPCR, kultivace živých mikrobů a radiokarbonového datování jsou uvedeny v tab. 1. Celkem 5 mykobakteriálních izolátů bylo identifikováno do druhu, poddruhu nebo komplexu. Ostatních 5 mykobakteriálních izolátů se zatím nepodařilo identifikovat.

Tabulka 1:

Průkaz mykobakterií metodami qPCR a kultivace v radiokarbonově datovaných vzorcích guána netopýrů

Lokalita Matrice	Vzorek CRL	Vzorek PC	Konvenční radiouhlíkové stáří (léta BP)	Kalibrované stáří (léta AD, BC)	P (%)	qPCR	Izolát
<b>Hranický kras, Hranická propast</b>							
Rotunda	23_1427	530-26	-152 ± 17	2013–2018 AD	86,0	+	-
	23_1693	538-1	-275 ± 17	2010–2014 AD	71,0	+	-
	23_0337	194-20	-369 ± 29	2006–2012 AD	86,9	+	<i>M. szulgai</i>
	23_1706	538-13	83 ± 16	1877–1915 AD	34,0	+	<i>M. sp.</i>
	23_1698	538-6	218 ± 18	1741–1798 AD	46,0	+	-
	23_1699	538-7	221 ± 18	1741–1798 AD	44,0	+	-
	23_1696	538-4	211 ± 18	1738–1800 AD	50,0	+	-
	23_1707	538-15	197 ± 16	1734–1802 AD	50,0	+	<i>M. sp.</i>
	23_1697	538-5	193 ± 17	1732–1803 AD	57,0	+	<i>M. sp.</i>
	23_1704	538-12	163 ± 17	1724–1811 AD	50,0	+	-
	23_1701	538-14	138 ± 17	1674–1942 AD	94,0	+	-
	23_1694	538-2	230 ± 17	1642–1670 AD	49,0	+	<i>M. arupense</i>
	23_1429	530-28	233 ± 18	1641–1670 AD	52,3	+	-
	23_1700	538-8	229 ± 18	1641–1671 AD	48,0	+	-
	23_1428	530-27	245 ± 18	1638–1667 AD	67,7	+	<i>M. avium*</i>
	19560/22	194-15	240 ± 30	1631–1684 AD	51,3	+	<i>M. avium*</i> , <i>M. sp.</i>
	23_1705	538-3	316 ± 18	1500–1644 AD	96,0	+	-
	23_1708	538-16	439 ± 17	1431–1468 AD	95,0	+	-
	23_1421	530-17	2426 ± 22	741–406 BC	97,0	+	<i>M. sp.</i>
	19560/22	194-17	2495 ± 30	776–516 BC	95,4	+	-
19560/22	194-19	2690 ± 30	902–803 BC	95,4	+	-	
23_1422	530-18	2755 ± 23	978–827 BC	96,0	+	-	
23_1424	530-20	2954 ± 22	1259–1055 BC	97,0	+	-	
23_1712	538-20	5591 ± 35	4494–4351 BC	96,0	+	-	
23_1709	538-17	6742 ± 22	5715–5622 BC	95,0	+	-	
23_1710	538-18	12767 ± 29	13393–13155 BC	95,0	+	-	
<b>Moravský kras, Stará Býčí skála</b>							
Guánová chodba	19560/22	191-1	2680 ± 30	900–801 BC	95,4	+	<i>M. terrae</i> komplex
<b>Celkem</b>	<b>pozitivní</b>					<b>27</b>	<b>9</b>

\* *M. avium* subsp. *hominissuis*;

### 3. Diskuse

Detekce živých mykobakterií a jejich DNA ve vzorcích guána netopýrů přináší nové informace nejenom v oblasti ekologie mykobakterií (tab. 1). Při archeologické a paleontologické činnosti je vhodné v jeskynním prostředí odebrat na vyšetření nejen guáno (často je pozorováno jako černá organická hmota), ale i kosti netopýrů. Radiokarbonové datování objasňuje různé nálezové

souvislosti, přičemž současně průkaz mykobakterií je z ekologického hlediska rovněž významný. DNA netuberkulózních mykobakterií patřících do **RZ 1** a **RZ 2** byla zjištěna jako závažná komplikace při průkazu humánní tuberkulózy v archeologických vykopávkách (Müller et al. 2015, 2016). Proto je povědomí o přítomnosti netuberkulózních mykobakterií pro úspěšnou diagnostiku původu změn kostí způsobených tuberkulózou nebo malomocenstvím významná.

#### 4. Závěr

Průkaz mykobakteriální DNA v radiokarbonově datovaných vzorcích od netopýrů byla v České republice realizována poprvé. V multioborové spolupráci bude možné objasnit ekologii mykobakterií v širších souvislostech.

#### Poděkování

Výzkum byl podpořen projektem GAČR 25-17469S a projektem: 3D mapování jeskyní Moravského krasu (Muzeum Blanenska).

#### SEZNAM LITERATURY:

- BARTOS M., PAVLIKOVA H., DVORSKA L. ET AL., 2006: Risk assessment of mycobacterial infections (human tuberculosis and avian mycobacteriosis) during anatomical dissection of a cadavers. – *Veterinari Medicina*, 51, 5, str. 311–319.
- CRUBÉZY E., LUDES B., POVEDA J.-D. ET AL., 1998: Identification of Mycobacterium DNA in an Egyptian Pott's disease of 5,400 years old. – *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III*, 321, 11, str. 941–951.
- GERŠL M., KOUTECKÝ B., PAVLÍK I., 2017: Speleology as adrenalin phenomenon and current security risks. In: *Sborník z konference Rekreace a ochrana přírody (RaOP 2017)*, 1. – 3. 5. 2017, Brno, 2017, str. 365–370.
- HUBELOVA D., ULMANN V., MIKUSKA P., 2021: Nontuberculous mycobacteria prevalence in aerosol and spiders' webs in karst caves: Low risk for speleotherapy. – *Microorganisms*, 9, 2573.
- KAZDA J., PAVLIK I., FALKINHAM J., HRUSKA K. (eds.), 2009: *The ecology of mycobacteria: Impact on animal's and human's health*. - 1. vyd., Springer, 520 s.
- LOŠÁK T., HRUŠOVSKÝ T., KEUTGEN A. ET AL., 2025: Effect of bat guano on yield and quality of kohlrabi and detection of non tuberculous mycobacteria. In: *60th Croatian and 20th International Symposium on Agriculture, Bol, 2025: Sborník abstraktů z konference*. Osijek: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, University Josip Juraj Strossmayer in Osijek, s. 140.
- MODRA H., BARTOS M., HRIBOVA P., 2017: Detection of mycobacteria in the environment of the Moravian Karst (Bull Rock Cave and the relevant water catchment area): The impact of water sediment, earthworm castings and bat guano. – *Veterinari Medicina*, 62, str. 153–168.
- MODRÁ H., GRUBEROVÁ E., KONEČNÝ O. ET AL., 2018: Influx and concentration of triazine pesticides in the Amaterska cave system, Moravian Karst, Czech Republic. – *Journal of Soils and Sediments*, 18, 2, str. 640–647.
- MODRA H., ULMANN V., GERŠL M. ET AL., 2024: River sediments downstream of villages in a karstic watershed exhibited increased numbers and higher diversity of nontuberculous mycobacteria. – *Microbial Ecology*, 87, 15, 1–17.
- MÜLLER R., ROBERTS C. A., BROWN T. A., 2015: Complications in the study of ancient tuberculosis: non-specificity of IS6110 PCRs, STAR. – *Science & Technology of Archaeological Research*, 1, 1, str. 1–8.
- MÜLLER R., ROBERTS C. A., BROWN T. A., 2016: Complications in the study of ancient tuberculosis: Presence of environmental bacteria in human archaeological remains. – *Journal of Archaeological Science*, 68, str. 5–11.
- PAVLÍK I., GERŠL M., BARTOS M. ET AL., 2018: Nontuberculous mycobacteria in the environment of Hranice Abyss, the world's deepest flooded cave (Hranice karst, Czech Republic). – *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 24, str. 23712–23724.
- PAVLÍK I., HUBELOVÁ D., KONEČNÝ O., 2017: Příspěvek ke geografii zdraví: zdroje kontaminace povrchové vody a zdravotní rizika v CHKO Moravský kras. – *Geographia Cassoviensis*, XI, 1, str. 33–50.
- PAVLÍK I., ULMANN V., KÁŇA V., 2024: Moravský kras pod mikroskopem, Kritický katalog výstavy. Mendelova univerzita v Brně, 167 str.
- PAVLÍK I., ULMANN V., MODRA H. ET AL., 2021: Nontuberculous mycobacteria prevalence in bats' guano from caves and attics of buildings studied by culture and qPCR examinations. – *Microorganisms*, 9, 2236.
- PAVLÍK I., ULMANN V., FALKINHAM J. O. III., 2022a: Nontuberculous mycobacteria: Ecology and impact on animal and human health. – *Microorganisms*, 10, 1516.
- PAVLÍK I., ULMANN V., HUBELOVA D., WESTON R. T., 2022b: Nontuberculous mycobacteria as saprozoites: A review. – *Microorganisms*, 10, 1345.
- SVETLIK I., JULL A., MOLNÁR M. ET AL., 2019: The best possible time resolution: How precise could a Radiocarbon dating method be? – *Radiocarbon*, 61, 6, str. 1729–1740.
- ULMANN V., MODRA H., BABAK V. ET AL., 2021: Recovery of mycobacteria from heavily contaminated environmental matrices. – *Microorganisms*, 9, 2178.
- ZUKAL J., KOTUC M., KONEČNÝ O. ET AL., 2025: The role of environmental factors in presence of non-tuberculous mycobacteria in Myotis myotis summer shelter guano. – *Science of the Total Environment*, 973, 179116.
- ZUKALOVA K., SEIDLOVA V., ULMANN V. ET AL., 2023: Prevalence of non-tuberculous mycobacteria in Noctule (*Nyctalus noctula*) females during gestation. – *Acta Chiropterologica*, 25, 2, str. 351–361.

## ŠTRAMBERSKÝ KRAS A JEHO NEDOŘEŠENÁ GENEZE

Jan Lenart<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Česká speleologická společnost, Na Březince 14, 150 00 Praha 5, e-mail: jan.lenart@osu.cz

#### Abstrakt:

Štramberský kras je tvořen v krajině Štramberské vrchoviny mnoha roztroušenými izolovanými vápencovými vrchy či malými útržky jurského až křídového vápence, které se jako olistolity skluzy zabořily do mořského flyšového pánevního sedimentačního prostoru. Po vyvrásnění Vnějších Západních Karpat pak došlo k jejich exhumaci z okolních klastických sedimentárních hornin a následnému krasovnění zřejmě v několika fázích, jejichž přesný sled zůstává dosud neodhalen. Dřívější představa o vývoji Štramberského krasu z poloviny dvacátého století připisuje jeskyním pouze okrajovou pozici ve vyčnívajících skalnatých hřbítcích, které v době zahlubování říční sítě stály vodotečím v cestě. Tato teorie by měla být podrobena revizi. Mezitím totiž došlo k objevům a dokumentaci dalších krasových jeskyní, které se nacházejí buď v různých nadmořských výškách, nebo mají vertikální průběh či jsou aktivně zvodnělé. Jejich stáří i výplně zůstávají dosud neprozkoumány. Příspěvek diskutuje genezi jeskyní Štramberského krasu ve světle posledních poznatků a navrhuje možná řešení.

**Klíčová slova:** diskuse, jeskyně, sedimenty, Štramberk

#### 1. Charakteristika Štramberského krasu

Štramberský kras se rozkládá v české části Vnějších Západních Karpat. Je součástí Štramberské vrchoviny, která je dále součástí vyšší geomorfologické jednotky Podbeskydská pahorkatina. Reliéf členitě a morfologicky pestré Štramberské vrchoviny detailně popsal Buzek (1969) či Pánek (2010), který se domnívá, že počátek vývoje současné tvárnosti reliéfu spadá již do konce třetihor (přelom miocénu a pliocénu), kdy současná Štramberská vrchovina musela v hrubých rysech již existovat.

První komplexní pojednání o Štramberském krasu se souhrnem štramberských jeskyní publikovala Prosová (1952), následně Panoš (1964), který z Prosové vycházel, dále pak Šutta a Baroň (2009), naposledy pak Lenart (2024).

Ve Štramberském krasu bylo do současnosti dokumentováno 25 jeskyní, z nichž pět bylo zničeno těžbou lomu Kotouč. Dobře vyvinutou krasovou morfologii mají dnes jeskyně Šipka, V lomu Na Horečkách, Pouťová a Vacova. Dobře vyvinutou rozsedlinovou morfologii mají jeskyně Sláмова sluj, Vykopaná a Kolmá puklina.

#### 2. Dosavadní diskuse o genezi

V historii geologických, speleologických i geomorfologických výzkumů se názory na genezi a stáří jeskyní ve Štramberku několikrát měnily, přesto lze z dosavadních převládajících názorů sestavit jistý scénář (obr. 1). Prosová (1952) na základě stejné výškové úrovně vstupů do jeskyní Šipka, Psí kostelík a Čertova díra těmto třem připisovala vznik ve stejné době za stejných podmínek. Upozornila, že všechny tři byly vytvořeny v nepatrných výběžcích Kotouče, což je v nepoměru ke značným rozměrům podzemních prostor. Domnívala se, že zmíněné jeskyně byly průtočné, ale že jeskynní prostory nikdy neměly větší rozlohu než dnes. Později Šutta a Baroň (2009) ale předpokládali stovky metrů dlouhé jeskynní systémy.

Hydrografická síť, která jeskyně formovala, byla podle Prosové (1952) založena především v okolních nekrasových flyšových horninách a při klesání erozní báze došlo k situaci, že vodní tok narazil na vyčnívající odolnější vápencovou polohu, do které se tedy na krátkou vzdálenost ponořil. Štramberský kras byl tedy dle Prosové (1952) vytvořen alochtonními toky, které vápencové polohy převážně obtékaly. Pak ovšem připustila absenci sedimentárních důkazů. S tím nesouhlasil později Panoš (1964): „*O přítomnosti fluviatilního materiálu v Šipce i v jeskyni Čertova díra nemůže být pochyb, protože jej uvádějí jak K. J. Maška (1884) tak J. Knies (1929).*“

Michovská (1957) ve své klasifikaci krasových území Československa zařadila Štramberský kras do kategorie Neúplný kras (merokarst), konkrétně *neúplný kras v sedimentárních vápencích s omezenou rozlohou vápencového území, velkou proměnlivostí petrografického složení a malou mocností krasovějících souvrství s nedokonalým rozvojem krasových tvarů*. Autorka konkretizovala, že jeskyně štramberského krasu

mají okrajovou polohu, průtokový charakter a leží ve stejné úrovni asi 80–100 m nad současnou údolní sítí. Zmínila také nedostatečnou tvorbu sintrů a nedokonalý vývoj povrchových krasových forem. Také Panoš (1964) uvedl, že nynější hydrografická síť není napojená na podzemní odvodňování karbonátů, nelze pozorovat ponory a nejsou vyvinuty závrtky.

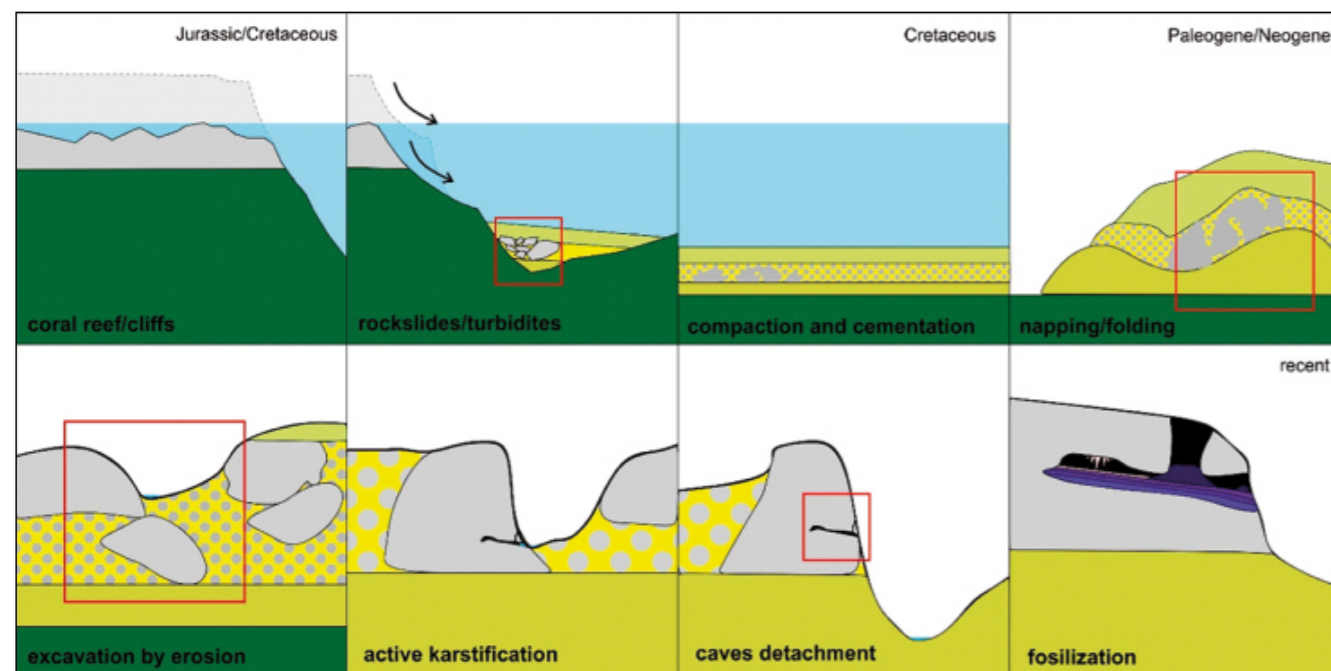
Buzek (1969) v rámci tehdy moderní teorie třetihorních zarovnaných povrchů uvedl, že jejich úrovně ve Štrambersku stínají přímo temena vápencových vrchů, případně jsou ve výšce těchto plošin průtočné jeskyně, a paralelizoval je s tehdy popisovanými úrovněmi zarovnání ve flyšových Karpatech.

V době Prosové, Michovské ani Buzka nebyly ale vůbec zdokumentovány krasové jeskyně, jejichž vstupy jsou v odlišné nadmořské výšce oproti výšce jmenovaným (Vacova díra, V lomu Na Horečkách), nebo mají vertikální charakter (Pouťová). Morfologie jeskyně V lomu na Horečkách obsahuje zřejmě epifreaticky modelovaný kanál, podobně Pouťová jeskyně je zřejmě teprve mohutný slepý komín vedoucí na sedimenty vyplněnou, avšak výrazně zvodnělou úroveň. V případě Pouťové jeskyně můžeme dokonce hovořit o aktivní krasové modelaci. Celková geneze jeskyní Štramberského krasu tak bude výrazně složitější, než se doposud předpokládalo, a půjde zřejmě o fáze odlišného vývoje v různých obdobích.

Existenci fosilního krasu ve štramberských vápencích se zabývali Houša a Panoš. Předpokládali vynoření štramberských vápenců z moře v nejvyšším tithonu a nejspodnější křídě, vznik krasových dutin a jejich pozdější sekundární vyplnění spodnokřídovými uloženinami (shrnutí Lenart, 2024). Panoš (1964) tehdy předpokládal, že krasové a příbojové jeskyně na Štrambersku z rozhraní jura-křída jsou se spodnokřídovými krasovými formami pohřbenými pod rudickými vrstvami v Moravském krasu zatím nejstaršími přesně datovanými mezoformami karbonátového reliéfu ve střední Evropě.

Eliáš (1983) však namítal, že domnělé výplně spodnokřídových krasových dutin jsou synsedimentárně prohněteny, jsou vrstevnaté konkordantně s omezením předpokládaných dutin, nebo pozvolně, nikoliv ostře, přecházejí do vápencového masivu, a nelze je tedy považovat za výplně krasových dutin ani dřívějších rozsedlin, a tedy ani za uloženiny transgresní. K tropickému krasovnění tak dojít nemohlo, neboť vápence se podle něj nikdy nevynořily.

Lenart (2024) shrnul ale názory mnohem mladších autorů Uchmana et al. a Skupienu et al., kteří také předpokládali vynoření s následným krasovněním. Panoš (1964) se též domníval, že již odtěžené skalnaté svahy Kotouče byly exhumovány už před pleistocénem erozí Sedlnice a Bařinského potoka, a po křídové fázi tropického krasovnění tak došlo ke druhé následné v neogénu, kdy dosti silné vodní toky utvářely jeskyně Šipka, Čertova díra a Psí kostelík ve výběžcích jen zčásti obnaženého vápencového masivu. S dalším zahlubováním erozní sítě se jeskynní trosky ocitly vysoko nad údolími, avšak ještě v mladším pleistocénu měl být podle Panoše povrch vápencových vrchů pokryt sítí dříve pokrývných nekrasových hornin, jak ukazovaly podle něj soliflukční polohy sedimentů v jeskyních.



Obr. 1: Konceptuální model vývoje Štramberského krasu dle dosavadních názorů.

Dalším z autorů, kteří se snažili popsat vývoj krasu od spodní křídly až po čtvrtohory, byl Buzek (1969). Štramberské vápence měly být od spodní křídly do paleogénu ponořeny a byly překryty mladšími flyšovými sedimenty. Exhumaci radil do spodního pliocénu a dále zvláště do svrchního pliocénu, kdy se měla formovat říční síť v úrovni průtočných jeskyní Kotouče. Na přechodu pliocénu a pleistocénu pak mělo dojít k úplnému rozrušení této úrovně a k další exhumaci vápencových ostrohů. Zbytky překryvných hornin se měly dochovat jako součást jeskynních sedimentů.

Šutta a Baroň (2009) rozlišili tři fáze vývoje jeskyní Štramberského krasu. Ve spodní křídě předpokládali v souladu se staršími názory krasovnění tropické. Ve třetihorách nastala pak podle nich druhá fáze krasovnění po vypreparování vápencových vrchů nad okolní flyšové horniny. Pak došlo k odnosu méně odolných flyšových vrstev a snížení erozní báze. Říčky se zahloubily níže a začaly vápencová tělesa obtékat. Tím měla odstartovat poslední fáze vývoje trvajících dodnes, charakteristická střídavým zaplňováním jeskyní sedimenty a jejich evakuací. Stále však zůstává nejasné, jakými sedimenty jsou jeskyně vyplněny. V případě blízko povrchu dochovaných torz Čertovy díry, Psího kostelíku nebo Šipky s mnoha otvory lze věřit polygenetickému transportu sedimentů (svahoviny, eolické) bez účasti fluvialní činnosti. Nevysvětlené však zůstává zaplnění Pouťové jeskyně, Vacovy díry nebo jeskyně V lomu Na Horečkách. Také vzhledem k tvaru a směřování jejich chodeb si lze stěží představit jejich zaplnění bez účasti ponorných toků. Není také jasné, kdy k vyplnění těchto jeskyní došlo. K rozpoznání krasového vývoje štramberských jeskyní by jistě pomohla moderní analýza sedimentárních výplní. Ty však chybějí jak v archeologem Maškou prokopané Šipce, tak v jeskyňáři vykopané Pouťové jeskyni, která je navíc zaplavena vodou. Maška sice ve svých denících detailně zachytil popis sedimentárních výplní, nové informace o vývoji krasového území ale z jeho makroskopických popisů dnes získat nejdu. Důležitou výzkumnou otázkou také bylo, zda se na modelaci jeskyní podílely tavné vody kontinentálních ledovců, neboť z minulosti existují zprávy o nálezu eratického materiálu z jeskyní na Kotouči (shrnutí Lenart, 2024).

#### 4. Závěr

Ke zpřesnění geneze Štramberského krasu a jeho jeskyní by pomohly moderní detailní analýzy: a) morfometrické, přinášející přesnější informace o reliéfu exhumovaných bloků druhohorního vápence ale také interiérů zdokumentovaných jeskyní; b) sedimentologické, přinášející moderní geochemické, paleontologické a paleoekologické poznatky o původu jeskynních sedimentů; c) datovací, umožňující bližší geochronologické zařazení povrchových i podzemních forem a jejich výplní. V kontextu regionálního vývoje krajiny má pokračující výzkum Štramberského krasu potenciál přispět také k otázce dynamiky a vývoje denudace flyšových Karpat a vněkarpatkých sníženin.

#### SEZNAM LITERATURY:

- BUZEK L., 1969: Geomorfologie Štramberské vrchoviny. – Spisy pedagogické fakulty v Ostravě, 11. Ostrava: Pedagogická fakulta Ostrava. 86 str.  
 ELIÁŠ M., 1983: Poznámky ke vzniku akumulací štramberských vápenců. – Věstník Ústředního ústavu geologického, 58, 4, str. 235–239.  
 LENART J., 2024: Jeskyně Štramberského krasu. – Knihovna České speleologické společnosti, svazek 39, Praha: Česká speleologická společnost, 111 str.  
 MICHOVSKÁ J., 1957: Typizace československého krasu. – Československý kras, 10, str. 60–68.  
 PÁNEK T., 2010: Geomorfologie, s. 6–11. In: Blahutová M. a kol.: Štrambersk: příroda a pravěk. Štrambersk: Město Štrambersk ve spolupráci s Muzeem Novojičínka.  
 PANOŠ V., 1964: Krasové jevy, s. 25–47. In: Votrubeč C.: Komplexní geografický průzkum území Příbor – Kopřivnice – Štrambersk. Brno: Geografický ústav ČSAV Brno – Praha – Opava.  
 PROSOVÁ M., 1952: Štramberský kras. – Zvl. otisk Přírodovědeckého sborníku Ostravského kraje, 13, str. 417–447.  
 ŠUTTA V., BAROŇ I., 2009: Štramberský kras, str. 532–535. In: Hromas J. (ed.) a kol.: Jeskyně. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. 608 str.

**„Touha po odkrytí podzemních krás jeskynních...“.  
MEZIVÁLEČNÉ VÝZKUMY SLOVENSKEHO KRASU  
VE SLUŽBÁCH VĚDY I NÁRODA**

Marcela Starcová<sup>1</sup>, Olga Lečbychová<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Archeologický ústav AV ČR, Praha, v. v. i., Letenská 123/4, 11800 Praha 1, e-mail: starcova@arup.cas.cz

<sup>2</sup> Archeologický ústav AV ČR, Brno, v. v. i., Čechyňská 363/19, 60200 Brno, e-mail: lecbychova@arub.cz

**Abstrakt:**

Meziválečné období přineslo na území Slovenského krasu nebývalý rozvoj archeologických, geologických a speleologických výzkumů. Zatímco první objevy byly iniciovány nadšenými amatéry, postupně se jejich vedení ujaly odborné instituce v čele se Státním archeologickým ústavem, Krasovou komisí Klubu československých turistů či nově založenými památkovými orgány. Výzkumy jeskyní přinesly cenné poznatky o prehistorickém osídlení a zároveň se staly impulsem pro vznik turistické infrastruktury i formování moderní slovenské archeologie. Význam těchto výzkumů však přesáhl rámec čistě vědeckého poznání. Nálezy z jeskyní sehrály důležitou roli v posilování národní identity a veřejné prezentaci dějin Slovenska jako prostoru s hlubokými kulturními kořeny.

**Klíčová slova:** Státní archeologický ústav, archeologie, Slovenský kras, jeskyně, národní identita, popularizace prehistorie

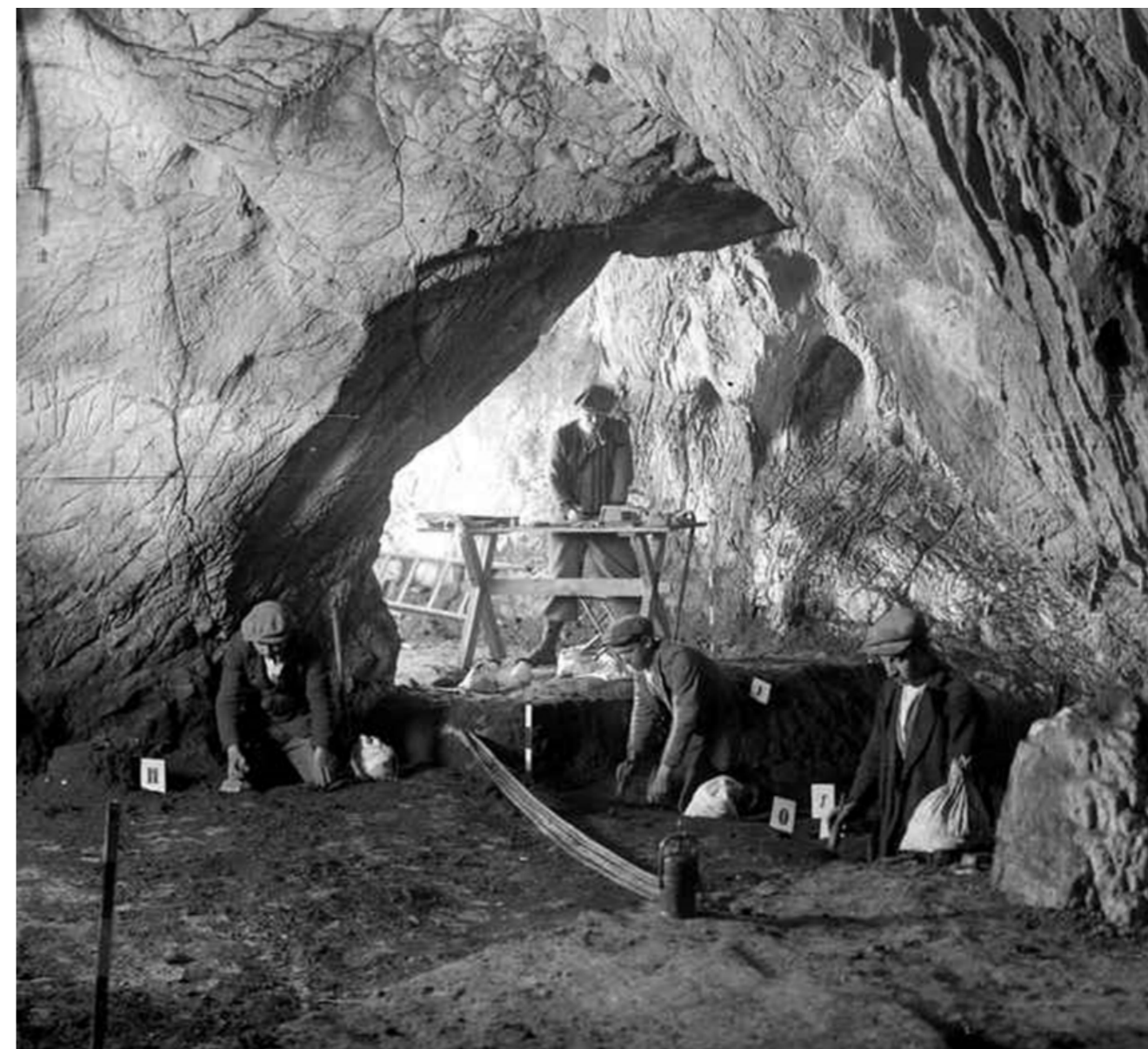
**1. Úvod**

Archeologické výzkumy Slovenského krasu po roce 1918 přispěly zásadním způsobem k rozvoji slovenské profesionální archeologie. Klíčovou roli přitom sehrály oblasti východního Slovenska (zejména okolí Košic a Rožňavy), kde byly objeveny nejen impozantní krápníkové prostory a ponorné řeky, ale také významné archeologické nálezy z neolitu, doby bronzové a halštatské. Výzkumy komplexu Jasovských jeskyní, a dále zejména jeskyní Domica, Silická Ľadnica či Ardovskej jeskyně vzbudily značný zájem domácí i zahraniční odborné veřejnosti. V čele těchto výzkumů stál Klub československých turistů a Státní archeologický ústav, jejichž spolupráce umožnila nejen provedení archeologických výzkumů na profesionální úrovni, ale také zpřístupnění jeskyní široké veřejnosti. Výsledky výzkumů významně přispěly k hlubšímu pochopení prehistorického osídlení Slovenska a zásadně podnítily rozvoj cestovního ruchu v ekonomicky zaostávající oblasti Slovenského krasu.

**2. První archeologické výzkumy**

Většinu slovenských krasových jeskyní znali místní obyvatelé už ve vzdálené minulosti, využívali je například jako provizorní příbytek k přenocování či úkryt v případě nebezpečí. Od 18. století začaly jeskyně přitahovat pozornost amatérských badatelů, archeologů, speleologů či geologů, kteří se je snažili prozkoumat a zdokumentovat. Po vzniku Československé republiky se však výzkumy jeskynních prostor začaly profesionalizovat a jejich vedení pozvolna přecházelo z rukou amatérských nadšenců na profesionální badatele různých oborů. Od 1. poloviny 20. let se na území Slovenska rozbíhá systematická predikce jeskynních prostor, na níž navazují systematické výzkumy vybraných lokalit. Výzkumy zaštiťovali převážně archeologové Státního archeologického ústavu, zpočátku státní konzervátor pro Slovensko Jan Eisner, ve 30. letech pak Jaroslav Böhm (obr. 1) a Vojtech Budaváry (Starcová a Lečbychová, 2025).

Řada jeskyní na Slovensku byla objevena a následně prozkoumána a zpřístupněna díky spolupráci Státního archeologického ústavu s Klubem československých turistů a jeho regionálními pobočkami. Amatérští badatelé, členové lokálních poboček klubu, pronikali do jeskynních systémů a dokumentovali jejich polohu, rozsah a výzdobu. Pokud při svých průzkumech narazili na stopy pravěkého osídlení, ve většině případů hlásili nálezy Státnímu archeologickému ústavu (Slovenský kras, 1975). Kromě toho archeologové spolupracovali také s řadou amatérských badatelů pocházejících z místních elit (učitelé, úředníci, statkáři apod.), státních zaměstnanců (např. státních drah, pošty), ale také armády či finanční stráže (Starcová a Lečbychová, 2025). V meziválečném období bylo na Slovensku prozkoumáno celkem sedm jeskyní a jeskynních komplexů



Obr. 1: Jeskyně Domica, Jaroslav Böhm (osoba za stolem) se spolupracovníky v Síni jedenácti plamenů, 1935. <https://slovakiana.sk>

(tab. 1, obr. 2). Výsledky výzkumů významně přispěly k hlubšímu pochopení prehistorického osídlení Slovenska, především období neolitu, doby bronzové a halštatské.

Zároveň však měly výsledky vědeckých výzkumů zásadní dopad na posilování národní identity. Objev nových jeskyní, nálezy prehistorického osídlení, návštěvy zahraničních badatelů – to vše rezonovalo v celostátním i regionálním tisku. Diskurz hrdosti na hluboké kořeny národní historie se objevoval jak při zveřejňování nových objevů, tak při jejich zpřístupňování široké veřejnosti.

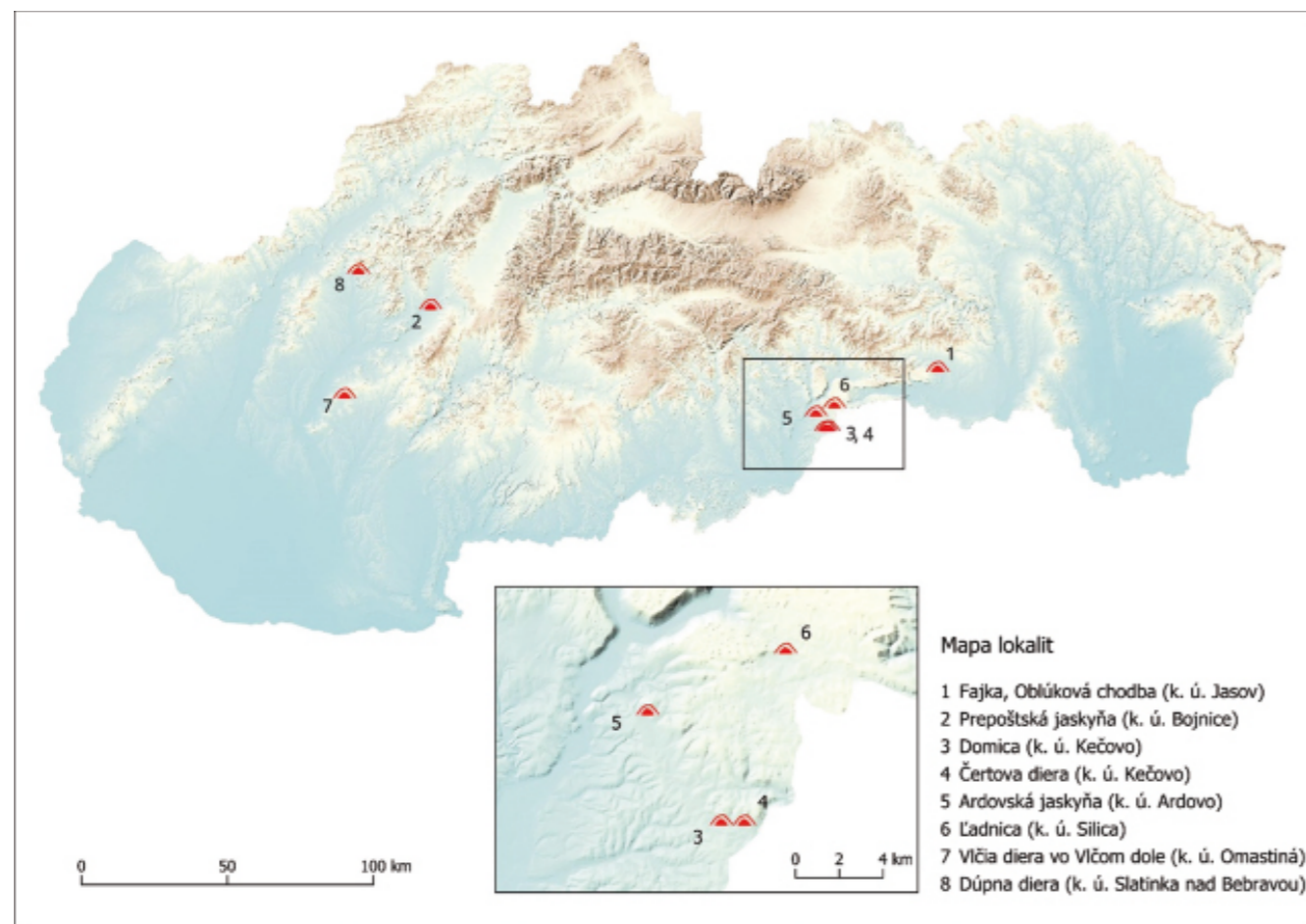
**3. Popularizace výzkumů v režii Klubu československých turistů**

Současně s vědeckými poznatky ovlivnily archeologické výzkumy a jejich výsledky zejména oblast cestovního ruchu. V některých případech se Klub československých turistů stal majitelem pozemků, pod nimiž se jeskyně nacházely, a poté spolufinancoval archeologické výzkumy a podílel se na jejich popularizačních výstupech. Zásluhou Klubu československých turistů došlo ke zpřístupnění řady jeskyní, které byly vybaveny elektrickým osvětlením a upraveny pro návštěvníky. Klub pravidelně informoval ve svých bedekrech o možnosti navštívit krásy Slovenského krasu a nešetřil superlativy. Byly vydávány informační letáky, brožury a pohlednice s fotografiemi odhaleného pohádkově krásného podzemního světa. Na příliv turistů se jednotlivé lokality připravovaly budováním nocleháren v chatách KČST v bezprostřední blízkosti vstupů do jeskynních prostorů.

Katastr	Lokalita	Rok	Vedoucí	Kultura
Jasov	Fajka, Oblúková chodba	1924-1925	Eisner	paleolit, neolit, halštát
Bojnice	Prepoštská záhrada	1927	Eisner, Babor, Medvecký, Janšák	paleolit
Kečovo	Domica	1932-1934	Böhm	neolit
Kečovo	Čertova díera	1933	Böhm	neolit
Ardovo	Ardovská j.	1933-1934	Böhm	neolit, bronz, halštát
Silica	Ľadnica	1932, 1934-1935	Böhm	neolit, bronz, halštát
Slatinka n. Bebravou	Dúrna díera	1935	Budaváry, Blažovjeh	neolit, eneolit, bronz, halštát, latén, stredovek
Omastiná	Vlčia díera vo Vlčom dole	1934	Budaváry	neolit, bronz

Tab. 1: Výzkumy slovenských jeskyní prováděné Státním archeologickým ústavem 1919-1938 (Starcová a Lečbychová, 2025).

Byly budovány nové silnice a k jeskynním byla zaváděna autokarová doprava od nejbližších nádraží (Starcová a Lečbychová, 2025). Návštěvnost krasových oblastí podporovaly i organizované zájezdy – například v rámci Výstavy východu ČSR, první velké všeobecné výstavy na Slovensku, konané roku 1938 v Košicích, pořádala



Obr. 2: Speleologické lokality zkoumané na Slovensku Státním archeologickým výzkumem v letech 1919–1938.

Výstavní cestovní kancelář exkurze do Domice a Jasova (Roštlapil a Janeček, 1938). Podobné akce přispívaly k postupnému začleňování jeskyní do infrastruktury cestovního ruchu a zvyšovaly povědomí veřejnosti o těchto lokalitách. To vedlo k přílivu turistů do oblasti Slovenského krasu a podnítilo tak hospodářský rozvoj chudého regionu.

#### 4. Archeologie a nacionalismus

Ve 30. letech se archeologické výzkumy a objevy na Slovensku začaly potýkat s nacionalistickým napětím, které se v oblasti archeologického dědictví odráželo v česko-maďarských i česko-slovenských vztazích. Maďarská strana například usilovala o zmezinárodnění jeskynního komplexu Domica a jeho spojení s maďarskými jeskyněmi Baradla, argumentujíc, že jde o jednotný jeskynní systém bez ohledu na státní hranice (Fischer, 1933).<sup>1</sup> Nacionalistické spory se projevily i v otázce umístění a prezentace archeologických nálezů ze slovenských jeskyní. Počáteční dohady o vlastnictví nálezů a jejich umístění v regionálních muzeích vyústilo v konflikt na celostátní úrovni, kdy slovenské instituce kritizovaly odvážení těchto nálezů do Čech. Výsledkem několika let trvajících sporů bylo založení samostatné slovenské archeologické instituce v roce 1939, Slovenského archeologického ústavu, a následné vymáhání všech archeologických nálezů získaných při výzkumech na území Slovenska.<sup>2</sup>

#### 5. Závěr

Meziválečné výzkumy jeskyní Slovenského krasu se postupně profesionalizovaly. V jejich čele stáli odborníci státních institucí, kteří však nadále využívali spolupráci s amatérskými badateli. Výsledky vědeckých výzkumů, přispěly k rozšíření poznání nejen nejstarší historie Slovenska. Objevy a průzkumy jeskyní na Slovensku zároveň jednoznačně podnítily rozvoj cestovního ruchu a přilákaly do Slovenského krasu tisíce domácích i zahraničních turistů. Výsledky výzkumů měly také zásadní dopad na posilování národní identity. Oznamování nových objevů, otevírání jeskyní veřejnosti i budování infrastruktury v krasových oblastech byly velmi často prezentovány v duchu hrdosti na hluboké kořeny národní historie a sloužily jako prostředek k formování národní identity. Od 30. let se však začaly prohlubovat nacionalistické spory související s výzkumy a objevy na Slovensku. Tyto spory, týkající se umístění archeologických nálezů primárně ve slovenských muzeích a vývozu slovenských kulturních památek do Čech vyústily v odtržení slovenské archeologie a založení vlastní národní instituce – Slovenského archeologického ústavu, paralelně pak ve vymáhání všech archeologických nálezů, získaných při výzkumech na území Slovenska.

#### Poděkování

Příspěvek vznikl s podporou výzkumného programu *Strategie AV 21: Anatomie evropské společnosti, historie, tradice, kultura, identita*, v rámci projektu *Archeologie na Slovensku v letech 1918-1939. Ve stínu nacionalismu?*

<sup>1</sup> Národní archiv, fond Klub československých turistů, karton 249, inv. č. 212, čj. 1667/32 z 21. 7. 1932. Slovenská politika Bratislava, 14. 11. 1933. Archiv ARÚ Praha, fond Výstřížková služba, čj. 2644/33.

<sup>2</sup> Masarykův ústav a Archiv AV ČR, fond Státní archeologický ústav, karton 8, inv. č. 80; karton 11, inv. č. 149.

#### SEZNAM LITERATURY:

ANONYM, 1975: Sto rokov archeologického výskumu v jaskyniach na Slovensku. – Slovenský kras, 13, str. 3-36.

FISCHER R., 1933: Z kraje sliackých bublin. Domica. - Pozor, Olomouc, 28. 7. 1933.

ROŠTLAPIL V., JANEČEK J. (EDS.), 1938: Katalóg Výstavy východu ČSR v Košiciach 16. VII. – 31. VIII. 1938. – Košice. Výstavné družstvo. 94 str.

STARCOVÁ M., LEČBYCHOVÁ O., 2025: Cesty do hlubin Slovenska: archeologické výzkumy v krasových oblastech poprvé profesionálně, str. 129-172. In: Mellnerová Šuteková J., Barta P. (eds.): V službe pre Slovensko. Dejiny archeológie v období prvej Československej republiky. Bratislava: Múzeum mesta Bratislavy.

## MIKROKLIMA JESKYNÍ ČESKÉHO KRASU

Jaroslav Rožnovský<sup>1</sup>, Filip Chalupka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno, email: jaroslav.roznovsky@chmi.cz

<sup>2</sup> Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Regionální pracoviště Jižní Morava, Svitavská 23, 678 01 Blansko, email: filip.chalupka@aopk.gov.cz

### Abstrakt:

Jeskyně jsou unikátní podzemní přírodní útvary, které mají své specifické klima, z hlediska kategorií označované jako mikroklima. Cílem této studie je stanovit průběh teploty a vlhkosti vzduchu, rychlosti proudění a koncentrací CO<sub>2</sub> v jeskyních Arnoldka, Čeřinka a Martina na území Českého krasu. S ohledem na prokazatelnou změnu klimatu byla prováděna meteorologická měření na zřízené meteorologické stanici v Tetíně. Z provedených měření vyplynulo, že teplota vzduchu má přes dílčí drobné rozdíly mezi jeskyněmi velmi malou amplitudu, s velmi malou změnou teploty vzduchu. Teplota povrchu skály se od teploty vzduchu v podstatě neliší. Vzduch je převážně nasycen vodní parou. Vysoké jsou koncentrace CO<sub>2</sub>, v převážné části jeskyně Martina překračují hodnotu 4 000 ppm, nebezpečnou pro pobyt člověka.

**Klíčová slova:** teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, koncentrace CO<sub>2</sub>, proudění

### 1. Úvod

Přirozený teplotní režim jeskyní je ovlivňován především vstupy tepla z nadloží, podloží a prouděním vzduchu a vody z vnějšího prostředí (Hromas et al., 2009). Průměrná teplota vzduchu v jeskyni je velmi blízko k vnější průměrné roční teplotě, vyznačuje se velmi malými sezónními a denními amplitudami a je v rovnováze s vnitřní teplotou skalního masivu a vody (Litschmann a Rožnovský, 2008). V blízkosti vstupu do jeskyně (heterogenní zóna) se dostává konvekci venkovní vzduch a způsobuje změny teploty na vzdálenost max. stovek metrů (Pokladníková et al., 2009). Mikroklimatické poměry jeskyní jsou charakterizovány v porovnání s volným terénem nižší denní i roční amplitudou průběhu teploty a vlhkosti vzduchu, vyšší relativní a absolutní vlhkostí vzduchu, nízkým výparem a výrazným ročním případně i denním chodem rychlosti a směru větrného proudění (Piasecki et al., 2002).

Výzkum mikroklimatu jeskyní byl prováděn v rámci projektu „Ochrana vybraných jeskyní a krasových jevů ve zvláště chráněných územích ČR“, identifikační číslo projektu „CZ.05.4.27/0.0/0.0/19\_120/0009904“, jeho dílčí části „Výzkum jeskynního mikroklimatu a koncentrací CO<sub>2</sub> v jeskynním ovzduší“, který vedla Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Kaplanova 1931/1, 148 00 Praha 11 – Chodov.

### 2. Metodika

Měření mikroklimatu jeskyní probíhala ve vybraných částech (měřících bodech) v jeskyních Arnoldka, Čeřinka a Martina podle metodiky (Hebelka et al. 2012). Zpracování naměřených dat v roce 2022 bylo provedeno pomocí běžných statistických postupů, vždy v souladu s metodikami Českého hydrometeorologického ústavu pro zpracování meteorologických dat na klimatologických stanicích. Tyto postupy byly využity u všech měření mikroklimatu jeskyní. Průběhy jednotlivých meteorologických prvků jsou vyjádřeny graficky.

Použité měřicí přístroje v kontinuálním režimu:

Teplota a vlhkost vzduchu - registrátory teploty vlhkosti vzduchu (řada PRO V2) s teplotním čidlem na bázi elektrického teploměru a vlhkostranným kapacitním čidlem.

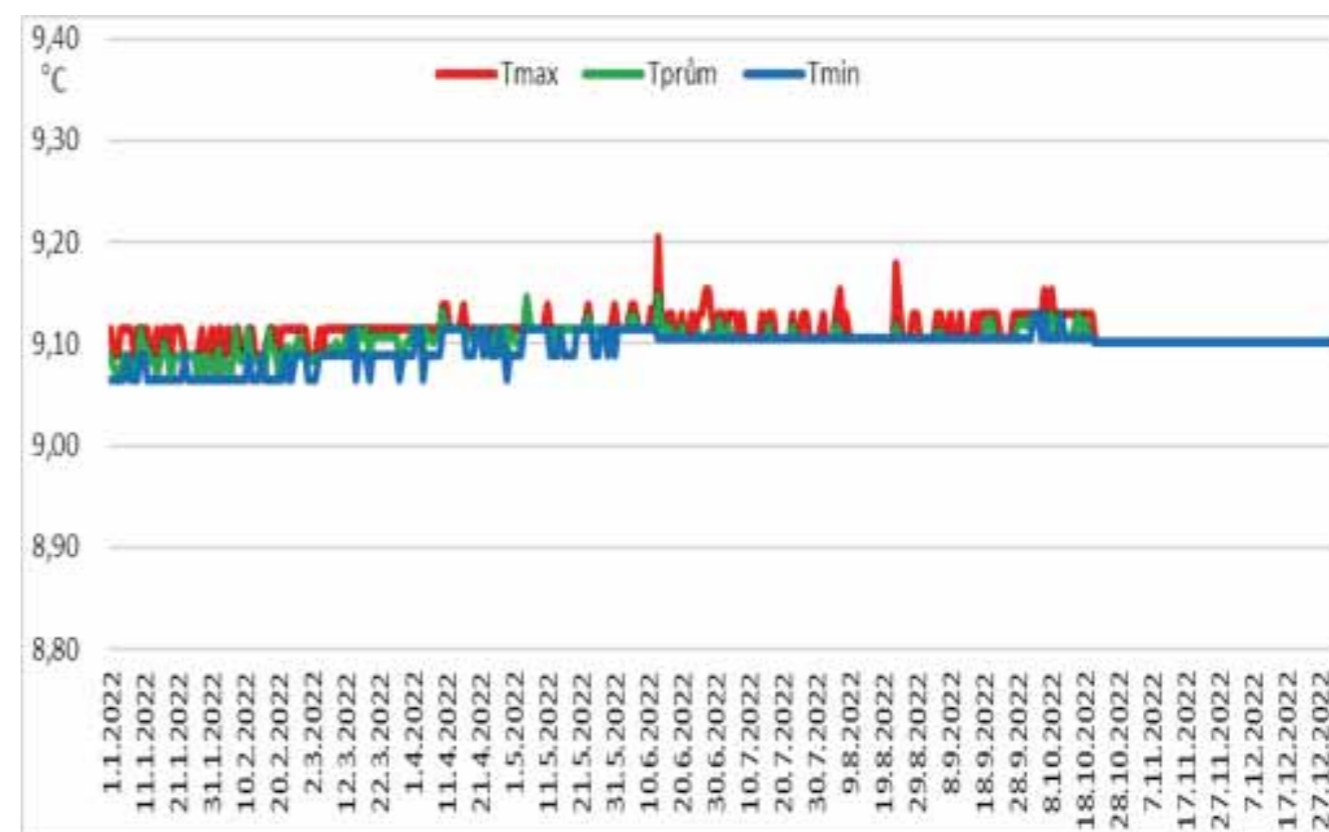
Rychlost a směr proudění - sonické anemometry.

Koncentrace CO<sub>2</sub>, sondy Testo s datalogerem.

Použité měřicí přístroje pro ambulantní měření: teplota vzduchu, koncentrace CO<sub>2</sub>, atmosférický tlak – sondy Testo připojené na záznamník.

Teplota vody – elektrický platinový teploměr připojený na záznamník.

Teplota skály – bezkontaktní teploměr (termokamera) se záznamníkem. S ohledem na fyzikálně odlišný princip měření nelze zajistit přesnost na jednu desetinu °C. Proto bylo provedeno vždy několik měření v rozptýlení minimálně 30 minut a zaznamenáno.



Obr. 1: Průběh maximální, průměrné a minimální teploty vzduchu v roce 2022, měřící bod Sněmovna, jeskyně Martina



Obr. 2: Průběh koncentrací CO<sub>2</sub> (ppm) za období červenec roku 2022 až leden roku 2023, měřící bod Obří dóm, jeskyně Martina



Obr. 3: Průběh koncentrací CO<sub>2</sub> (ppm) za období červenec roku 2022 až leden roku 2023, měřící bod Přibův dóm, jeskyně Arnoldka

### 3. Výsledky

Ze statistického zpracování naměřených dat vyplývá, že vnitřní části všech hodnocených jeskyní mají, pokud jde o vlhkost vzduchu, stav nasycení, takže měření vykazují 100 % relativní vlhkosti vzduchu. V rámci měření nebyl měřen tlak vodní páry. S ohledem na hodnoty a dynamiku teploty vzduchu lze odvodit, že je velmi podobný.

Na obr. 1 je znázorněn průběh teploty vzduchu v roce 2022 v měřícím bodu „Sněmovna“ v jeskyni Martina. Jak vidíme, tak dynamika teploty vzduchu je velmi malá. Průměrná teplota vzduchu byla 9,1 °C. Průměrná maximální teplota vzduchu potom 9,13 °C, nejvyšší hodnota maxima byla 9,21 °C, průměrné minimum 9,9 °C, nejnižší minimum 9,07 °C. Z uvedených hodnot vyplývá, že absolutní amplituda činí 0,14 °C. Zde je ještě nutné zdůraznit, že oproti stanovenému vyjadřování teploty vzduchu na 0,1 °C si díky měření elektrickými teploměry čidly můžeme dovolit vyjádření na setiny °C. Pokud bychom prováděli zaokrouhlení na 0,1 °C, v grafickém vyjádření bychom dostali přímky bez dynamiky.

Z ambulantních měření teploty skály vyplývá, že se od teploty vzduchu v jeskyni v podstatě neliší. Též proudění vzduchu na hodnoceném stanovišti bylo na hranici citlivosti přístrojů. Rychlost proudění se pohybovala od 0,0 po 0,02 m.s<sup>-1</sup>. Jak z výzkumného pohledu, tak také s ohledem na pobyt jeskyňářů je důležitým ukazatelem koncentrace CO<sub>2</sub>, kterou uvádíme v ppm.

Na obr. 2 je vyjádřen průběh koncentrací CO<sub>2</sub> (ppm) za období červenec roku 2022 až leden roku 2023, měřící bod Obří dóm, jeskyně Martina. Z grafu vyplývá, že koncentrace mají relativně vysokou amplitudu. Navíc je nutné uvést, že určitě je překračována hodnota 5000 ppm, ale použitý přístroj měl tuto hodnotu jako limitní.

S ohledem na rozsah článku není více rozebíráno mikroklima v jeskyni Arnoldka a Čerinka. Obecně je možné uvést, že teplotní poměry mezi jeskyněmi se v podstatě neliší, protože rozdíly hodnot teploty vzduchu se pohybují v rozpětí 0,3 °C. U všech tří jeskyní je vlhkost vzduchu 100 %.

Významný je však rozdíl v koncentracích CO<sub>2</sub>. Dokladem je průběh těchto koncentrací v jeskyni Arnoldka, jak vidíme na obr. 3

Rozdíly v rozsahu koncentrací jsou významné zvláště z pohledu hygienického, tedy pro pobyt v prostorách jeskyní. Jak vidíme u jeskyně Arnoldka, maxima slabě překračují hodnotu 3000 ppm. To znamená, že v těchto prostorách jsou koncentrace CO<sub>2</sub> v hygienické normě.

#### 4. Závěr

Jak dokládají výsledky měření mikroklimatu jeskyní Arnoldka, Čerinka a Martina, jsou teplotní rozdíly mezi jejich středními částmi (kde byly měřící body) obdobné, když jak bylo uvedeno, jde o desetiny °C. Pokud jde o vlhkost vzduchu, ta je u všech stejná představuje 100 %, tedy neustálé nasycení vzduchu, které nevykazuje žádnou amplitudu. Proto jsou skalní stěny vlhké a svým způsobem jde o vysvětlení, proč je jejich teplota při některých měřeních o několik desetin nižší. Hodnocením kompletního roku jsme doložili, že v teplotním a vlhkostním režimu těchto jeskyní se neprojevují vnější vlivy, tedy není zde typická dynamika teploty vzduchu pro volnou krajinu.

Zvláštní pozornost si však vyžadují koncentrace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>. Tyto se mezi jeskyněmi liší, nejvyšší podle našich měření byly v jeskyni Martina, kde je překračována hodnota 5000 ppm. Maximální hodnotu koncentrací jsme nebyli schopni naměřit. Jde o koncentrace, které jsou již pro lidské zdraví nepříznivé, ale konkrétní hodnoty maxim jsme nemohli stanovit s ohledem na limit přístroje, právě 5000 ppm.

Z našich měření vyplývá, že je nutné i v jeskyních, které nejsou zpřístupněné, provést podrobná mikroklimatologická měření, tak aby bylo možné vyhodnotit dopady probíhající změny klimatu, kde se prokazatelně od poloviny minulého století zvyšují teploty vzduchu. Současně platí, že je nutné provádět měření koncentrací CO<sub>2</sub>, které mohou být vyšší, než je hranice pro bezpečný pobyt v jejich prostorách. Občas uváděná snaha o „odvětrání“ jeskyní představuje kardinální zásah do vlhkostních poměrů díky prouděním přinášenému méně vlhkému vzduchu.

#### SEZNAM LITERATURY:

- HEBELKA J. ET AL., 2011: Metodika monitoringu mikroklimatických poměrů v jeskynních systémech: certifikovaná metodika. – Průhonice. Správa jeskyní České republiky. 16 str.
- HROMAS J. (ED.) A KOL., 2009: Jeskyně. In Mackovčín P. a Sedláček M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek XIV. - Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. Praha, 608 str.
- LITSCHMANN T., ROŽNOVSKÝ J., 2008: Vliv krasového reliéfu na modifikaci vybraných meteorologických prvků. 12 str. In: Rožnovský J. – Litschmann T. (ed): Sborník příspěvků z mezinárodní konference Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině, Mikulov 9.–11.9.2008, – Česká bioklimatologická společnost v nakl. Českého hydrometeorologického ústavu, 40 str., CD ROM.
- PIASECKI J., HEBELKA J., PFLITSCH A., ŁĘKARSKI T., 2002: Powolne ruchy powietrza w systemach jaskiń o statycznych cechach klimatu na przykładzie Jaskini Niedźwiedziej i Jaskiń Punkewnych (Slow Air Movements within Static Climate Features as shown in the Niedźwiedzia Cave and Punkva Caves), In Speologický Průzkum a Výzkum v Chráněných Krajiných Oblastech, sborník referátů konference, IX roč., str. 98–107.
- POKLADNÍKOVÁ H., LITSCHMANN T., STŘEDA T., ROŽNOVSKÝ J., FUKALOVÁ P., 2009: Klimatické poměry Moravského krasu. – Aragonit, vědecký a odborný časopis Správy slovenských jaskýň, 14, 2, str. 176–177.

## EFEKTIVNÍ METODY 3D DOKUMENTACE JESKYNÍ

Jiří Šindelář<sup>1</sup>, Vratislav Ouhrabka<sup>2</sup>, František Krejča<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Geo-cz, Noskov 21, 391 43 Mladá Vožice, e-mail: geo@geo-cz.com

<sup>2</sup> Správa jeskyní České republiky, Květnové nám. 3, 252 43 Průhonice, e-mail: ouhrabka@caves.cz

<sup>3</sup> Chýnovská jeskyně, Správa jeskyní České republiky, 391 55 Dolní Hořice č. p. 54, e-mail: krejca@caves.cz

### Abstrakt:

Od roku 2015 testovali autoři ve spolupráci se Správou jeskyní ČR, Archeologickým ústavem AV ČR v Brně, ČSS ZO-2-01 Chýnovská jeskyně, ČSS ZO 1-10 Speleoquanaut, Univerzitou Pardubice a Odborem životního prostředí Jihočeského kraje nové metodiky 3D dokumentace rozsáhlých podzemních prostor (suchých, zatopených i těch pro člověka nepřístupných). Do konce roku 2023 se podařilo definovat efektivní metody 3D dokumentace v podzemí pro člověka přístupném i v dutinách pro lidi nepřístupných. V r. 2019 byl vytvořen přesný digitální model zatopené části Chýnovské jeskyně na Táborsku, v r. 2021 byly vhodnou kombinací laserového skenování, pozemní fotogrammetrie a letecké videogrammetrie zdokumentovány jeskyně Areni-1 a Areni-2 v Arménii i s vytvořením digitálního modelu terénu celé lokality. V rámci spolupráce s Archeologickým ústavem Akademie nauk Arménie bylo laserové skenování experimentálně doplněno o fotogrammetrii ze sférických snímků. Tato metoda byla dále zkvalitňována (ve fázi sběru dat i ve fázi výpočtů) v průběhu roku 2022 při řešení mapovacích prací v historickém podzemí města Tábor a při podrobné dokumentaci architektury katedrály sv. Víta na Pražském hradě. Na všech zmíněných lokalitách proběhla 3D dokumentace vždy několika metodami, což umožnilo jasně definovat silné a slabé stránky nově navržené metody skenování i exaktně posoudit její přesnost. Výsledkem práce je nově vytvořená velmi efektivní (tj. rychlá, přesná a levná) metodika 3D dokumentace podzemních prostor a vytvoření modelů a plánové dokumentace dvou zpřístupněných jeskyní v ČR (Chýnovská jeskyně, Koněpruské jeskyně), dalších 60 pro veřejnost nepřístupných jeskyní v jižních Čechách a jeskyní Areni-1 a Areni-2 v Arménii.

**Klíčová slova:** 3D dokumentace, laserové skenování, fotogrammetrie, videogrammetrie, mapování jeskyní, sférická fotogrammetrie

### Úvod

Přesné geodetické zaměření a 3D skenování rozlehlých a členitých podzemních komplexů je tradičně spojováno s vysokými investičními a logistickými náklady. Náš aplikovaný výzkum se soustředil na vytvoření přesných plánů a modelů vybraných jeskyní v ČR a v Arménii i na jednoznačné definování pravidel pro přesný sběr dat v terénu i následné zpracování dat. Práce alespoň částečně navázala na odborné aktivity autorů při řešení výzkumného úkolu Archeologického ústavu AV ČR Brno, v.v.i. (2018-2022).<sup>1</sup> Cílem bylo, vedle přesné geodetické dokumentace konkrétních lokalit, najít a vyzkoušet funkčnost navržených technologických postupů (případně prototypů měřického zařízení), otestovat jejich přesnost a využitelnost v nejrůznějším prostředí (od velkých jeskynních dómů, přes propasti a komíny až po sotva průlezná plazivky).

3D dokumentací podzemí se zabývá a v minulosti zabývalo větší množství badatelů (Cornelius, Tena Ruiz, Krynke, 2012). Prakticky již od zavedení technologie laserového skenování byly laserové skenery testovány a úspěšně využívány v hornictví (Simeral, Hugenholtz, 2021). V tomto odvětví lidské činnosti také nalezlo laserové skenování velmi rychle své uplatnění. Ve speleologické praxi je však využitelnost laserových skenerů značně omezená. Je to dáno dvěma důvody. Prvním je vysoká finanční náročnost (ať již při objednání díla u specializovaných organizací, nebo při pořizování přístrojové techniky). Druhým důvodem je pak velká a nepravidelná členitost jeskynních prostor, velmi často nevhodné podmínky pro skenování (vysoká vlhkost, vysoká prašnost a velmi stísněné prostory). Proto byly hledány cesty, jak laserový skener nahradit jinou technologií. Logicky se nabízí využít nejnovějších postupů fotogrammetrických. Rychlý rozvoj možností využití metody SfM (Structure-from-Motion) v posledních pěti letech znamenal

<sup>1</sup> program Ministerstva kultury NAKI II Virtuální vědecký model velkomoravských Mikulčic jako systém interaktivní dokumentace, prezentace a archivace dlouholetého systematického archeologického výzkumu (č. DG18P02OVV029)



Obr. 1: Pracovní snímek ze sférické kamery při skenování plazivky

pokusy různých týmů i v dokumentaci jeskyní (Cazes, Vernant, Baleux, Giuliani, Brugal, 2024). Praktické testy ukázaly využitelnost tohoto fotogrammetrického postupu a metoda byla v posledních 10 letech úspěšně nasazena při dokumentaci podzemí přírodního charakteru i podzemí vzniklého hornickou činností. Výsledky skenování metodou SfM byly několikrát (různými týmy z celého světa) testovány exaktním porovnáním výsledku s modelem, který byl pořízen laserovým skenerem a vždy takový pokus skončil konstatováním, že jde o metodu dostatečně přesnou s výrazně nízkými finančními nároky. Podobný test provedli i autoři této studie. Vedle exaktního porovnání modelů vzniklých laserovým skenováním a metodou SfM se podařilo v tomto případě také posoudit i časovou náročnost, která je v případě dokumentace prostorově rozsáhlejšího podzemí metodou SfM poměrně vysoká. Problémy metody SfM v přesnosti výsledného modelu byly shledány u “monotónních objektů” (vzorově točité schodiště, štoly a chodby s výztuží stříkaným betonem, dlouhé plazivky). V takových případech nepřesnost modelu vždy výrazně vzrostla, mnohdy nad únosnou míru. U některých počítačových programů došlo k výrazné (až nesmyslné) deformaci, tak velké, že byla odhalena již pouhým pohledem na výsledný digitální model. Byla proto hledána jiná cesta a další metody 3D skenování. S negativním výsledkem (tedy s nekvalitním modelem na konci testu) byly testovány různé aplikace pro smartphone a iphone. Prakticky jsme testováním prokázali, že je možné těchto rychlých a jednoduchých metod skenování využít pro dokumentaci jednotlivých menších objektů a nepříliš rozsáhlých prostor, tedy pro jeskyně jde v tomto případě o prakticky nevyužitelnou technologii. Velmi zajímavé výsledky naopak přineslo testování tzv. sférické fotogrammetrie a metody SfM s využitím několika kamer ve steropáru při terénní fázi projektu.

## Metody

### Metoda SfM

Jde o jednu z nejnovějších metod digitální fotogrammetrie. Název metody SfM je odvozen z anglického Structure-from-Motion, tedy struktura z pohybu. Krásně toto sousloví vystihuje postup práce, tj. na základě pohybu snímací kamery kolem objektu zájmu a pořízení většího množství snímků dané scény z různých pozic v prostoru jsou vygenerována rozsáhlá mračna bodů, která kopírují povrch objektu zájmu. Přibližně od roku 2008 metoda získává většího využití v nejrůznějších oborech lidské činnosti. Od roku 2014 můžeme mluvit již o poměrně rozšířené metodě 3D dokumentace a je pro uživatele k dispozici poměrně velké množství počítačových programů, které na této bázi provádějí metrické analýzy digitálních obrazů. Tradiční metody vícesnímkové fotogrammetrie vyžadují znalost pozice kamery v prostoru v době pořízení snímku, případně znalost pozice řady kontrolních bodů, které jsou na scéně jasně signalizovány a slouží k výpočtu pozic kamery. Metoda SfM nic z výše uvedeného před digitální rekonstrukcí scény nevyžaduje. Pozice kamery v době pořízení snímku a geometrie prostoru zájmu jsou při výpočtu rekonstruovány současně prostřednictvím automatické identifikace shodných prvků na více snímcích. Tyto vlastnosti (hledání shodných prvků) jsou sledovány od snímku ke snímku, což umožňuje počáteční odhady pozice kamer i souřadnic bodů na objektu



Obr. 2: Kompletní plán historického podzemí pod jihočeským Táborem

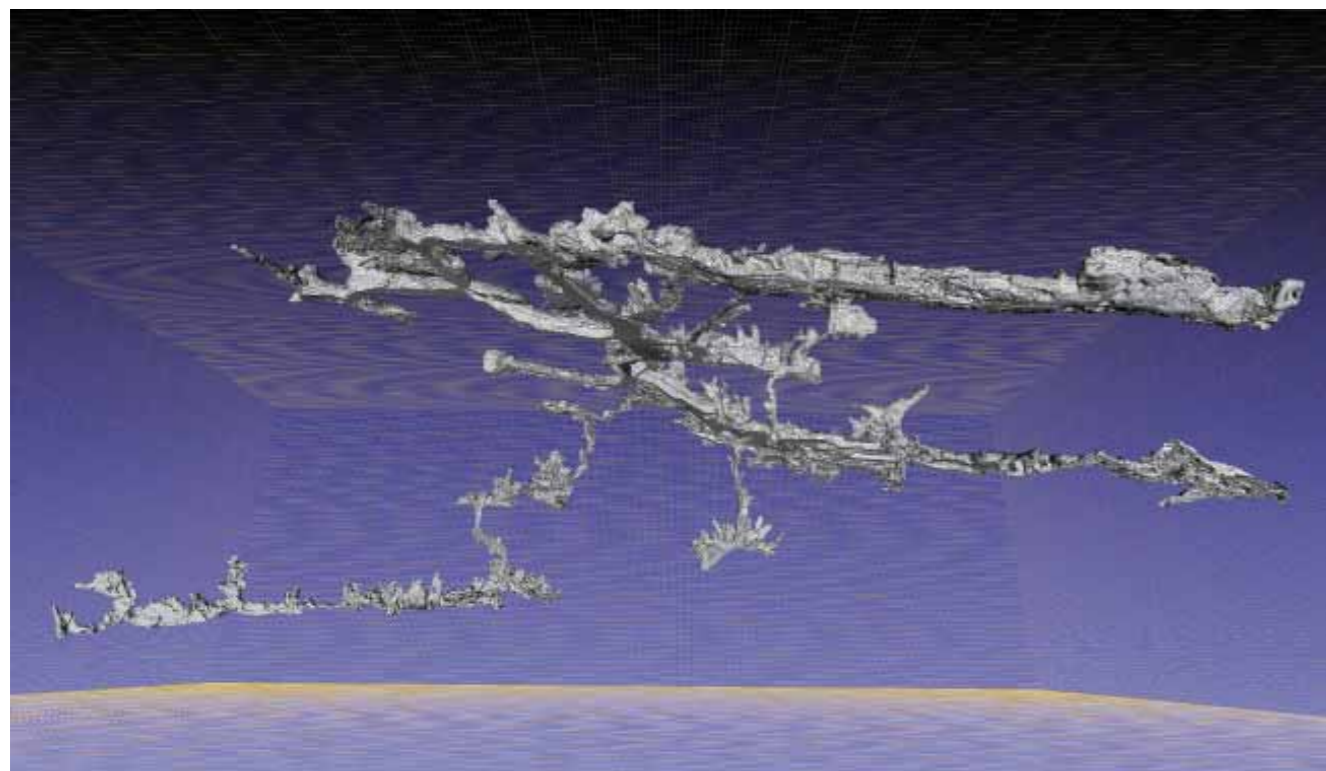
zájmu, které jsou dále interaktivně zpřesňovány pomocí nelineární minimalizace nejmenších čtverců (Snaveley, Seitz, Szeliski, 2008). Vzniká tak postupně digitální mračno bodů z prostoru zájmu a k němu vygenerované pozice kamer v místním souřadnicovém systému bez měřítka (se zachováním správných relativních vzdáleností) a orientace. Vygenerované mračno bodů tak musí být následně zarovnáno s reálným světem, tedy převedeno do souřadnicového systému. Ve většině případů je dosahováno transformace souřadnic SfM obrazového prostoru do absolutního souřadnicového systému pomocí 3D podobnostní transformací, založené na malém počtu známých bodů (Westoby et al. 2012).

Metoda SfM při dokumentaci rozsáhlého podzemí byla autory studie testována hned v několika případech. S použitím kamery s širokouhlým objektivem (kompaktní outdoorová kamera GoPro) byl při stavbě dálničního tělesa D3 u Českých Budějovic dokumentován nově objevený historický důl na kaolín.

### Metoda sférické fotogrammetrie a videogrammetrie

Během posledních let došlo k výraznému rozvoji využívání kamer, které jsou schopné zaznamenat realitu ve 360 stupních. Vznikají tak sférické snímky, které lze využít v mnoha aplikacích i oborech lidské činnosti, metrické analýzy nevyjímaje. Technologie našla rychle své uplatnění díky univerzálnosti použití a snadné i rychlé možnosti zaznamenat pohled z reálného světa všesměrovým pohledem v jediném záběru - jednom snímku (Fangi, Pierdicca, Sturari, Malinverni, 2018). V návaznosti na teoretický i aplikovaný výzkum společnosti Fangi, která zavedla vlastní metodiku nazvanou Spherical Photogrammetry, bylo cílem našeho výzkumu praktické testování postupů a metody při dokumentaci velmi členitých a rozsáhlých podzemních objektů. Sférická fotogrammetrie, kterou začal Fangi zavádět již před více než 15 lety (Fangi 2007, Fangi 2010, Fangi 2011) se postupně zdokonalovala a dnes se ukazuje jako velmi rychlá a výkonná metoda při dokumentaci architektury. Vedle vysoké přidané hodnoty vizuální (panoramatické snímky) má orientovaný sférický snímek i metrické hodnoty, které jsou velmi užitečné pro další výzkum, jež můžeme provádět pomocí triangulace nebo pomocí geometrických vazeb k následnému vytvoření 3D tvarů a objemů. Prakticky využíváme obdobného výpočetního postupu jako u metody SfM. Jde o moderní formu fotogrammetrického výpočtu, založeném na vícesnímkových sférických panoramatech. Pro vytvoření rovinného obrazu sférických panoramat se používá ekvidistantní válcová projekce (také Marinovo zobrazení). Sférické panorama lze považovat za analogický záznam úhlových pozorování teodolitu, který má střed ve středu panoramatu (Fangi 2007).

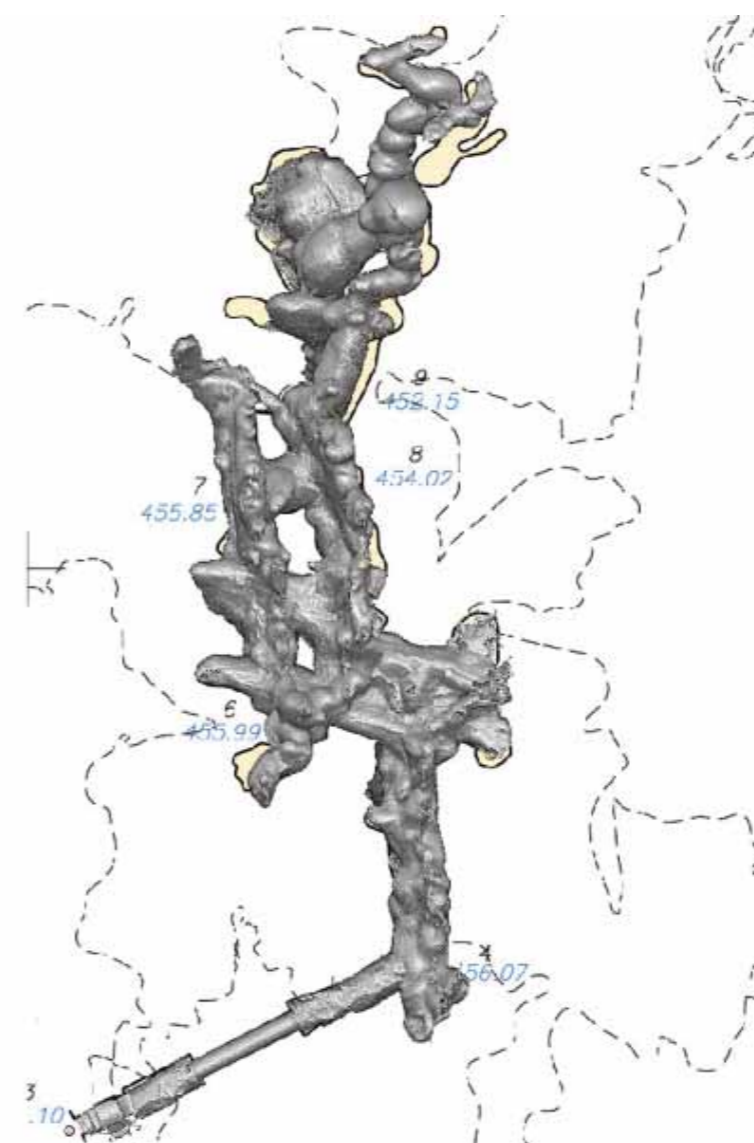
Podobně, jen v opačném sledu využil autorský tým studie tohoto postupu při studiu plastické výzdoby velkomoravských šperků v rámci řešení výzkumného úkolu “Virtuální vědecký model velkomoravských Mikulčic” (Poláček et al. 2021, Krupičková, Poláček, Šindelář 2022). Úkolem práce autorů studie bylo testování metodiky při mapování a dokumentaci prostorově složitých interiérů staveb a především rozsáhlého podzemního komplexu. První úspěšný test proběhl v rámci dokumentace historického podzemí



Obr. 3: Digitální model Koněpruských jeskyní

jihočeského města Tábor. Autoři studie již od roku 2003 podrobně geodeticky dokumentují historická sklepení ve dvou výškových úrovních pod historickým jádrem města. Mapování probíhá konvenčními metodami - polární metodou a trigonometrickým určováním výšek. Nově byl v roce 2023 metodou sférické fotogrammetrie zdokumentován členitější sklep pod domem čp. 245 ve Střelnické ulici v Táboře. Zpracováním fotogrammetrického projektu (sférická fotogrammetrie) vzniklo mračno bodů, které bylo následně georeferencováno do národního souřadnicového systému S-JTSK a výškového systému Bpv. V prostorách sklepení bylo před zahájením fotogrammetrické dokumentace barevně (terče) signalizováno 14 bodů, původně zaměřených při geodetickém mapování (polární metoda + trigonometrické určení výšek). Exaktní posouzení přesnosti metody sférické fotogrammetrie zde proběhlo ve dvou rovinách. Z fotogrammetrického mračna byl vytvořen ortofotoplán v souřadnicovém systému S-JTSK. V CAD programu od firmy Bentley byl porovnáván soulad fotoplánu s vektorovým půdorysem sklepních prostor, vzniklým konvenční geodetickou metodou mapování. Výsledkem je komplexní shoda polohy i orientace podzemních prostor. Jen lokálně jsou zaznamenány rozdíly mezi zákresem stěn a fotoplánem. Ty však neznamenají špatnou kvalitu jedné nebo druhé metody. Jde o otázku toho, jak vyšetřil nejzazší obvodové stěny sklepení geodet při klasickém mapování. Vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o nepravidelné středověké prostory, došlo logicky při klasickém geodetickém zaměření k určitému zjednodušení a generalizaci. Mračno bodů (vzniklé z fotogrammetrického výpočtu) naopak zaznamenává všechny nerovnosti stěn, podlah i kleneb a ortofoto z finálního modelu tak ukazuje všechny nerovnosti v půdorysu správně. Druhou formou kontrol je určení souřadnic signalizovaných bodů v modelu a jejich porovnání se seznamem souřadnic z geodetického mapování (polární metoda). Tímto způsobem je prokázána střední chyba fotogrammetricky odečteného modelu v poloze 36 mm a ve výšce 16 mm (tab. 1).

Mnohem větší potíže nastaly při testování metody sférické fotogrammetrie a videogrammetrie v prostorově složitých a obrazově monotónních objektech (vzorově vysoké a úzké točité schodiště, dlouhé štoly s výztuží stříkaným betonem apod.). Pod slovem videogrammetrie rozumíme stejný proces jako ve fotogrammetrii. Zdrojovými daty nejsou v tomto případě jednotlivé snímky, ale celé videosekvence. Díky využití sférické videogrammetrie (namísto fotogrammetrie) se výrazně urychluje terénní část projektu, tedy čas potřebný pro sběr dat v terénu. Spojení sférických záznamů a ukládání videosekvencí (místo jednotlivých snímků) je příslibem k překonání mnoha omezení stávajících technik a výrazné zrychlení a zefektivnění sběru prostorových dat v terénu i ve velmi stísněných podmínkách. Otázkou zůstávala přesnost použité technologie. Opakované testy, prováděné autory této studie, ale i mnohými dalšími experty



Obr. 4: Porovnání ortografického průmětu modelu horního patra Koněpruských jeskyní a mapy téhož.

ve světě prokázaly použitelnost pro dokumentaci architektury (exteriéry i běžné interiéry budov). Při testech v relativně jednoduchém prostorovém členění středověkého sklepa byla metoda shledána plně funkční a dostatečně přesná. Téměř identické výsledky byly získány při zpracování dat v různých softwearech (komerční i open source). Při testování na architektuře katedrály sv. Víta na Pražském hradě se však začaly objevovat výrazné nedostatky. Výpočet probíhal obdobně jako při metodě SfM, tedy tak, že pozice kamery v době pořízení snímku a geometrie prostoru zájmu byly při výpočtu rekonstruovány současně prostřednictvím automatické identifikace shodných prvků na více snímcích. Zároveň s tím byly automaticky určovány i tzv. prvky vnitřní orientace kamery pro každý jednotlivý snímek samostatně. Vzhledem k jisté monotónnosti dokumentovaného prostoru a velmi stísněným podmínkám v terénu (vřetenové schodiště ve schodišťové věži má vnitřní průměr pouze 2 m) došlo opakovaně (i při výpočtu v různých počítačových programech) k chybnému určení pozic kamer i k výrazně chybné geometrii prostoru zájmu. Na vzniklém digitálním modelu se vřetenové schodiště nesmyslně směrem vzhůru zužuje a vytváří tvar homole (ač jde ve skutečnosti v celé výšce o pravidelný válec o neměnném vnitřním průměru 2 m). K nápravě překvapivě nepomohlo ani georeferencování na 8 známých bodů u paty a ve vrcholu schodišťové věže, které byly určeny laserovým skenováním (terestrický laserový skener Faro Focus S150). Výpočetní protokol ukazoval sice polohovou chybu 3 cm a výškovou chybu 1,5 cm, ale prostorová deformace celého modelu zůstala nezměněna a vypočtené vnitřní prvky orientace u jednotlivých snímků se navzájem výrazně lišily (ač se jednalo ve zdroji o 6 minut dlouhou videosekvenci z jedné kamery). Testy tak jednoznačně ukazují na nebezpečí, která plynou z používání nových moderních metod dokumentace bez dodatečných kontrolních mechanismů. Vzniklé hrubé chyby jsou jen těžko opravitelné a zpravidla i těžko odhalitelné. Jen správná metoda sběru dat a nastavení kontrolních mechanismů v terénu i výpočetní fázi projektu může vzniku takových chyb zamezit. V rámci studie, vzniklé při plnění projektu "Virtuální vědecký model velkomoravských Mikulčic" byla publikována doporučená metodika fotodokumentace, která má být následně využita pro metrické analýzy obrazu. Jsou zde shrnuta nejdůležitější organizační, fotografická i geometrická pravidla a navržen systém kontrol pro řešení fotogrammetrické 3D dokumentace. Ač je v dané studii řešena problematika 3D dokumentace v archeologii, jsou navržená pravidla i postupy platné při využití fotogrammetrie napříč nejrůznějšími obory. (Šindelář, Poláček, Krupičková, 2019).

### Závěrečné shrnutí

Studie představuje výsledky několikaletého aplikovaného výzkumu zaměřeného na efektivní 3D dokumentaci rozsáhlých a členitých podzemních prostor, a to jak přístupných, tak pro člověka nepřístupných. Autoři otestovali a porovnali různé technologie – zejména laserové skenování, fotogrammetrii metodou Structure-from-Motion (SfM) a sférickou fotogrammetrii i videogrammetrii. Klíčovým přínosem práce je definování výhod a limitů jednotlivých metod v reálných podmínkách, včetně náročných lokalit v Česku a Arménii.

Ukázalo se, že metoda SfM poskytuje dostatečnou přesnost za nižších nákladů, ale je problematická při dokumentaci monotónních struktur (např. chodeb nebo šachet). Sférická fotogrammetrie a videogrammetrie prokázaly svůj potenciál jako rychlé a vizuálně i metricky hodnotné nástroje, avšak jejich přesnost může být silně ovlivněna specifiky dokumentovaného prostoru. Výsledky testů zdůrazňují potřebu zavedení kontrolních mechanismů při sběru i zpracování dat, aby se předešlo chybám. Výsledkem výzkumu je doporučená metodika 3D dokumentace podzemních prostor, která je rychlá, přesná a cenově dostupná. Byla úspěšně aplikována na desítkách lokalit – od zpřístupněných jeskyní v ČR po zahraniční archeologická naleziště. Studie ukazuje, že správná kombinace metod a důsledná kontrola kvality dat umožňuje spolehlivě dokumentovat i velmi náročné podzemní prostory.

### SEZNAM LITERATURY:

- CORNELIUS M., TENA RUIZ I., KRYNKE M. (2012): 3D digital surveying and modelling of cave geometry. - Applied Geomatics, 4, 3, str. 165–177.
- SIMERAL J. A., HUGENHOLTZ CH., (2021): Integrated high-precision real scene 3D modeling of karst cave landscape. – Scientific Reports, 14 April 2025.
- CAZES G., VERNANT P., BALEUX F., GIULIANI C., BRUGAL J.-P. (2024): Full-size cave 3D modelling using close-range photogrammetry and comparison with laser scanning. - Applied Geomatics, 12 July 2025, 15 str.
- SNAVELY N., SEITZ S. M., SZELISKI R. (2008): Skeletal Graphs for Efficient Structure from Motion, str. 1–8. In: Proceedings of the 2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- FANGI G., PIERDICCA R., STURARI M., MALINVERNI E. S. (2018): Improving spherical photogrammetry using 360° omni-cameras: Use cases and new applications. - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Archives, Vol. XLII-2, str. 331–337.
- FANGI G. (2007): The multi-image spherical panoramas as a tool for architectural survey. – Proceedings of the XXI International CIPA Symposium, Athens, 1–6 October 2007, CIPA Archives Vol. XXI (ISPRS International Archives XXXVI-5/C53), str. 311–316.
- FANGI G. (2010): Multiscale multiresolution spherical photogrammetry with long focal lenses for architectural surveys. – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-5, str. 1–6.
- FANGI G. (2011): The multi-image spherical panoramas as a tool for architectural survey. CIPA Heritage Documentation – CIPA Symposium
- POLÁČEK L., ČIŽMÁŘOVÁ J., SOKOL P. ET AL., (2021): Mikulčice 900: Atlas velkomoravské aglomerace. – Brno. Archeologický ústav AV ČR, 215 str.
- KRUPÍČKOVÁ Š., POLÁČEK L., ŠINDELÁŘ J. (2022): Velkomoravské Mikulčice virtuálně / Great Moravian Mikulčice Virtually. – Brno. Archeologický ústav AV ČR, 143 str.
- ŠINDELÁŘ J., POLÁČEK L., KRUPÍČKOVÁ Š. (2019): Doporučená metodika fotodokumentace v archeologii pro následné metrické analýzy obrazu. – Přehled výzkumů, 60, 2, str. 201–224. Brno. Archeologický ústav AV ČR.

## DOKUMENTACE JESKYNÍ PŘI TĚŽBĚ, PŘÍPADOVÁ STUDIE Z VELKOLOMU ČERTOVY SCHODY (ČESKÝ KRAS)

Michal Hejna <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Česká speleologická společnost, Základní organizace 1-02 Tetín, Damilská 182, 266 01 Tetín, e-mail: michal.hejna@post.cz

<sup>2</sup> Velkolom Čertovy schody, akciová společnost, Tmaň č.p. 200, 267 21 Tmaň, e-mail: michal.hejna@lhoist.com

### Abstrakt:

Povinnost dokumentace jeskyní objevených při těžbě v lomech ukládá těžářům zákon č. 114/1992 Sb. Dokumentace je důležitá i z hlediska bezpečnosti těžby, protože propadnutí osob, stroje či zařízení do jeskynní dutiny je podle vyhlášky Českého báňského úřadu č. 26/1989 Sb. mimořádnou událostí. Ve čtyřech lomech patřících dnes pod Velkolom Čertovy schody bylo od 50. let 20. století při těžbě objeveno 66 jeskyní, což je asi 9 % všech jeskyní známých z Českého krasu. Díky dokumentační činnosti jeskyňářů k nim existuje podrobná dokumentace.

**Klíčová slova:** jeskyně, těžba, dokumentace, legislativa

### 1. Úvod

Z Českého krasu bylo zatím popsáno 744 jeskyní, z nichž asi 440 bylo objeveno při těžbě v lomech. Bohužel nemůžeme přesně určit, kolik jeskyní bylo dříve odtěženo bez jakékoliv dokumentace. Na jednu stranu bylo při těžbě objeveno šest z deseti nejdelších jeskyní Českého krasu, na druhou stranu více než čtvrtina jeskyní (přesně 141) známých dnes z lomů nedosahuje délky ani 5 m, a podobné dutiny byly až do 60. let 20. století většinou odtěženy bez jakékoliv pozornosti. Teprve zákon o ochraně přírody 114/1992 Sb. dává těžaři za povinnost před odtěžením jeskyně provést její dokumentaci.

Z předchozích řádků je na první pohled patrné, jak významnou roli hrají lomy při objevování jeskyní. Proč tomu tak je? Důvod musíme hledat u geneze jeskyní. V České krasu nenajdeme až na pár výjimek systému ponor-vývěr, jak je známe například z Moravského krasu. Jeskyně vznikají hlavně směsnou korozí v trvale či občasné zavodněném prostředí. Takto vzniklé jeskyně mohou být na povrch otevřené pouze úzkými krasovými kanálky a jejich existenci prozradí až eroze povrchu nebo těžba.

### 2. Ochrana jeskyní a legislativa

Jeskyně stály dlouho stranou zájmu ochrany. Již ve druhé polovině 90. let 19. století byly v oblasti Českého krasu odtěženy archeologicky a paleontologicky významné jeskyně Turské maštale u Tetína a Prokopská jeskyně v Prokopském údolí. Zprávy máme také o odtěžení jeskyně sv. Ivana v prostoru Tomáškovy lomu u Srbska, Branické jeskyně, jeskyně Stydlé vody u Svatého Jana pod Skalou a mnoha dalších. Ještě více jeskyní však bylo pravděpodobně odtěženo bez jakékoliv dokumentace.

V roce 1956 vyšel zákon č. 40/1956 Sb., o státní ochraně přírody. Jeskyně jako takové v něm sice nejsou přímo zmíněny, ale v § 6 odst. 1 se dočteme, že *chráněnými přírodními výtvarmi jsou zejména krasové zjevy, skalní útvary, významné stromy a jejich skupiny*.

Český kras měl výhodu, že objev jeskyní v lomu Na Chlumu ve 40. letech 20. století, a hlavně Koněpruských jeskyní v roce 1950 vedl k rychlému rozvoji speleologie. Když v roce 1956 zákon o státní ochraně přírody vyšel, byli zde lidé, kteří dokázali hlídat jeho naplnění.

Jeskyňáři ovšem měli ve své činnosti omezení. Dokumentace jeskyní v lomech mohla probíhat pouze po domluvě s vedením jednotlivých závodů, které k jeskyňářům zaujímalo závod od závodu více či méně otevřený postoj. Přesto se od 60. let 20. století podařilo jeskyňářům zabránit odtěžení několika významných jeskyní, jako například Tomáškovy propasti v Tomáškově lomu u Srbska či propasti Čeřinka a Arnoldka v lomu Čeřinka.

V roce 1992 vstoupil v platnost zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody, kde mají poprvé jeskyně svůj vlastní paragraf. Týká se jich ustanovení § 10, kde se v odst. 2) píše, že *je zakázáno ničit, poškozovat nebo upravovat jeskyně nebo jinak měnit jejich dochovaný stav. Výjimku z tohoto zákazu může udělit orgán ochrany přírody pouze v případech, kdy je to v zájmu ochrany jeskyně nebo kdy jiný veřejný zájem chráněný tímto nebo jiným zákonem výrazně převažuje nad zájmem na ochraně jeskyní*.

Na poslední větu odst. 2 navazuje § 10 odst. 5), který hovoří v tom smyslu, že *zjištění jeskyně při dobývání nerostných surovin nebo při provádění geologických prací je osoba oprávněná k dobývání nebo osoba provádějící geologické práce povinna bezodkladně oznámit orgánu ochrany přírody. Osoba oprávněná k dobývání je též povinna po nezbytně nutnou dobu, pokud nebude ohrožena bezpečnost a ochrana zdraví při práci, zastavit dobývací činnosti, které by mohly poškodit zjištěnou jeskyni, a na své náklady zajistit dokumentaci jeskyně. Dokumentaci předá orgánu ochrany přírody. Obsah a rozsah dokumentace stanoví Ministerstvo životního prostředí vyhláškou.*

Z výše uvedených odkazů vyplývá, že jeskyně v dobývacím prostoru požívají ochranu dle zákona pouze do doby provedení jejich dokumentace. Rozsah dokumentace určuje vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 667/2004 Sb., kterou se stanoví obsah a rozsah dokumentace jeskyní. Požadavky jsou v souladu s databází JESO (Jednotná evidence speleologických objektů) vedenou Agenturou ochrany přírody a krajiny.

### 3. Jeskyně ve Velkolomu Čertovy schody

Ve Velkolomu Čertovy schody, resp. ve čtyřech lomech, ze kterých se skládá, bylo od konce 50. let 20. století objeveno 66 jeskyní (viz tab. 1). Vezmeme-li v úvahu, že z celého Českého krasu bylo dosud popsáno 744 jeskyní, pochází z Velkolomu Čertovy schody 9 % všech popsáných jeskyní. Pokud bychom k nim připočetli i dalších 23 jeskyní z ostatních lomů na Zlatém koni a okolí, zjistíme, že z pouhých několika kilometrů čtverečních pochází 12 % českokrasových jeskyní.

Tab. 1: Počet jeskyní objevených v jednotlivých lomech

Lom	Činnost	Počet jeskyní	
		celkem	od roku 1992
VČS-západ	1955*– současnost	26	7
Homolák	1963** – 1984	1	1
Plešivec	1983 – 1993	9	2
VČS-východ	1987– současnost	31	29

\* těžba poprvé vykazována jako z lomu VČS

\*\* zahájení těžby Velkolomem Čertovy schody

Pokud ještě zůstaneme u čísel, pak 50 jeskyní bylo zcela či částečně odtěžených. Třináct jeskyní je zachovaných (z toho jedenáct už mimo prostor povolené těžby, dvě budou v blízké době ještě odtěženy). Zbývají tři jeskyně. U dvou byl vchod při těžbě zavalený a jeskyně jsou z větší části dochované, leč nepřístupné (jeskyně Ctiradova a Šárka v lomu Plešivec), u jedné byl vchod zakryt a zasypán (Jezerní propast v lomu VČS-východ). Deset nejdelších jeskyní s uvedením jejich statusu udává tabulka 2.

Tab. 2: Seznam deseti nejdelších jeskyní objevených ve Velkolomu Čertovy schody

Ev. č.	Název jeskyně	Lokalizace	Délka	Denivelace	Stav
18-023 18-038	Systém Malá a Velká Panama	Plešivec	450,0	22,0	zachována
11-040	Novoroční	VČS - západ	203,0	32,0	zachována
18-046	Korozní	lom VČS - východ	150,0	37,5	odtěžena
18-016	Ctiradova	Plešivec	120,0	23,3	zavalena
18-021	Jezerní propast	lom VČS - východ	120,0	52,0	vchod zasypáný
18-047	Kostnice	lom VČS - východ	100,0	17,0	zachována
18-036	Lucie	lom VČS - východ	98,5	28,5	odtěžena
18-013	Jatka 86	Plešivec	78,0	10,0	odtěžena
11-021	Propast ve VČS	VČS - západ	77,0	12,9	odtěžena
18-017	Šárka	Plešivec	76,0	14,5	zavalena

### 4. Dokumentace jeskyní ve Velkolomu Čertovy schody

I proto, že byly lomy v okolí Koněprus od objevu Koněpruských jeskyní pod důkladným dohledem jeskyňářů, byla ke všem jeskyním provedena podrobná dokumentace. Pokud se jí dá něco vytknout, pak to, že není kompletně dostupná na jednom místě. Největší část je dostupná v archivu Velkolomu Čertovy schody, ale některá dokumentace, hlavně z 60. let 20. století zde chybí. Dílčí dokumentace je uchována v souborech dokumentace základních organizací České speleologické společnosti 1-02 Tetín a 1-04 Zlatý kůň či jednotlivých dokumentátorů, v archivu České speleologické společnosti, databázi JESO či platformě speleowiki. Odborné byly výsledky publikovány v časopisech či sbornících Český kras, Speleo, Minerál apod.

Hmotné vzorky z jeskyní, hlavně minerální výplně či jeskynní výzdoba, jsou uchovávány ve vědeckých institucích (Geologický ústav AV ČR, muzea apod.)

Dokumentace jeskyní je nejen požadavkem ochrany přírody. Vyhláška Českého báňského úřadu č. 26/1989 Sb., o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při činnosti prováděné hornickým způsobem na povrchu, udává v § 19 odst. (2) písm. c) *propadnutí osob, strojů nebo zařízení do podzemního důlního díla nebo jiného podzemního prostoru* jako mimořádnou událost, kterou je potřeba hlásit obvodnímu báňskému úřadu. Z hlediska bezpečnosti provozu je tedy nutné znát průběh jeskyní pod těžebními etážemi. I proto vyhláška Českého báňského úřadu č. 435/1992 Sb., o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a některých činnostech prováděných hornickým způsobem, v § 20 odst. a) uvádí, že *vstupy do jeskyní musí být zakresleny do mapy povrchu.*

Jedním ze způsobů, jak docílit ochrany jeskyně a zároveň eliminovat riziko propadnutí, je stanovení tzv. ochranného pilíře. Ve Velkolomu Čertovy schody byly stanoveny dva ochranné pilíře, jeden pro Novoroční propast v lomu VČS-západ a jeden pro Jezerní propast v lomu VČS-východ.

### 5. Závěr

Dokumentace jeskyní objevených při těžbě je důležitá nejen pro poznání jeskyní samotných, ale i pro zajištění bezpečnosti pokračování těžby v lomu. V lomech Velkolomu Čertovy schody bylo od roku 1955 objeveno 66 jeskyní. Z těch sice bylo 50 zcela či částečně odtěžených, ale díky dokumentační činnosti jeskyňářů o nich máme dostatek informací.

## VÍCELETÉ ZKUŠENOSTI SLEDOVÁNÍ OBSAHU DUSÍKU V MECHOVÉM BIOINDIKÁTORU *ABIETINELLA ABIETINA* NA ÚZEMÍ CHKO ČESKÝ KRAS

Ivan Suchara<sup>1</sup>, Julie Sucharová<sup>1</sup>, Marie Holá<sup>1</sup>, Radka Houdová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Výzkumný ústav pro krajinu, v. v. i., Květnové náměstí 391, 252 43 Průhonice, e-mail: suchara@vukoz.cz

### Abstrakt:

Od roku 2014 je sledován obsah celkového dusíku v mechu zpeřenka jedlová (*Abietinella abietina*), bioindikátoru úrovně atmosférického spadu reaktivního dusíku, na 15 trvale monitorovaných plochách na území CHKO Český kras. Účelem projektu bylo zjistit případné změny obsahu celkového dusíku v mechu po zprovoznění renovované mazutové pece (2016) ve Vápence Čertovy schody a.s. Doporučené druhy mechů k indikaci atmosférických spadů jsou v teplém krasovém území vzácné, proto byl nově použit zde běžně dostupný výše uvedený mech zpeřenka jedlová. Příspěvek shrnuje zkušenosti s využíváním uvedeného mechového indikátoru a uvádí hlavní stanovištní faktory, které ovlivňují obsah dusíku naměřený v použitém druhu mechu. Zjištěná časová a plošná variabilita distribuce dusíku v mechu na území CHKO nenaznačuje, že by potenciální zdroj NO<sub>x</sub> ve velkolomu Čertovy schody významně ovlivňoval obsah dusíku v mechu v jeho okolí. Orientačně provedená analýza nadložního humusu ukázala nejvyšší obsahy akumulovaných spadů prvků podél jihozápadní a severozápadní hranice CHKO, kde doznívají atmosférické spady z blízkých větších průmyslových emisních zdrojů a z provozu dálnice D5.

**Klíčová slova:** dusík, atmosférický spad, bioindikátor, *Abietinella abietina*, Český kras

### 1. Úvod

Vázným ekologickým problémem je narůstající úroveň atmosférických spadů tzv. reaktivního dusíku, dále jen N. Spady N-NO<sub>x</sub>, N-NH<sub>x</sub>, a organicky vázaného N jsou významným zdrojem N pro výživu a produkci rostlin. Přírozenými zdroji oxidovaných forem N jsou výboje blesků, sopečná činnost nebo požáry biomasy. Hlavními antropogenními zdroji jsou spalovací procesy v topeništích a v zážehových motorech. Zdrojem redukovaných forem N jsou velkochovy hospodářských zvířat a organické hnojení polí. Růst spadu N, přednostně amonného, podporuje produkci nitrofilních a mezotrofních druhů rostlin, které vytlačují konkurenčně slabé oligotrofní druhy, což vede ke snížení biodiverzity biomů. Spady N zároveň působí acidifikaci biotopů. Proto je potřeba spady N monitorovat. Stále se zpřesňují odhady kritických zátěží spadů N, při jejichž překročení dochází ke zjiřitelným změnám jednotlivých typů ekosystémů (de Wries et al. 2007, Chuman et al. 2020).

Pro odhady úrovně spadů N byly testovány a doporučeny některé druhy bokoplodých mechů, u kterých je obsah N úměrný spadům N v určitém rozsahu. (Harmens et al. 2014). Biomonitorování míry atmosférického spadu dusíku je rychlejší a levnější než při dlouhodobém instrumentálním měření spadů na měřicí stanici. VÚKOZ/VÚK se dlouhodobě zabývá sledováním atmosférických spadů pomocí analýz mechu, proto byl v roce 2014 požádán, aby monitoroval distribuci úrovně spadů atmosférického N v CHKO Český kras.

### 2. Materiál a metody

Monitoring atmosférického spadu N pomocí analýz *Abietinella abietina* (obr. 1) probíhal harmonicky podle manuálu (Harmens 2010). Pracovníci Správy CHKO Český kras vybrali pro dlouhodobý monitoring 15 lokalit (obr. 2), převážně s bohatou biodiverzitou často udržovanou managementovou pastvou. Povrch rostlin zpeřenky není osidlován cyanobakteriemi, které fixují atmosférický N. Na kontrolní ploše (K) byl pro srovnání odebrán a analyzován mech lazovec čistý (*Scleropodium purum*), který se využívá v různých projektech biomonitoringu atmosférických spadů. Oddělené zelené segmenty mechů odebraných během pozdního podzimu byly po usušení a umletí analyzovány (LECO CN928) na celkový obsah N.



Obr. 1: Mech zpeřenka jedlová (*Abietinella abietina*). Typický habitus ze suchých ozářených míst

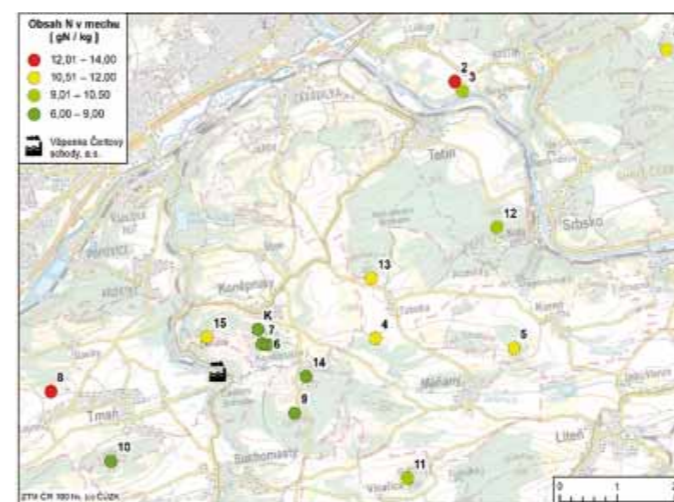
### 2. Výsledky

#### 2.1. Obsahy dusíku v mechu

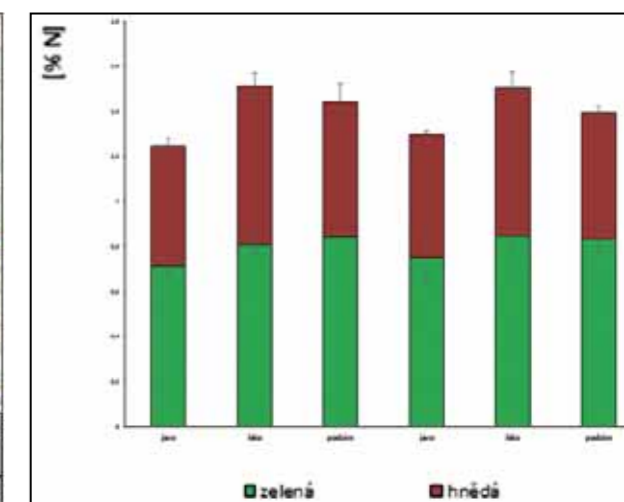
Obsah N je vyšší v listcích než lodyžkách a v zelené apikální části než v bazální, hnědé části mechu (obr. 1) v důsledku retranslokace dusíku do fyziologicky neaktivnějších pletiv. Mech na zastíněných nenarušovaných místech dosahuje výšky i přes 30 cm včetně hnědé části. Na pastvinách je naopak roční produkce zpeřenky velmi malá a obsah N se tak pomalým růstem nové biomasy relativně „neředí“. Podle roční růstové aktivity se obsah N v zelené a hnědé části mění i během roku (obr. 3), proto je třeba dodržovat stejný termín odběru mechu a stejné místo oddělování zelených částí k analýze od hnědých částí rostliněk.

#### 2.2. Vliv pastvy na obsah dusíku v mechu

Po spasení bylinného patra zpeřenka trpí na pastvině stresem z velkého ozáření, suchem (poikilohydrický organismus) a disturbancemi od pasených zvířat. Roste riziko přímé kontaminace mechu amonným dusíkem z exkrementů pasených zvířat a prachem erodovaných půdních částic. Náhodně odebrané mechy z pasených ploch mají průkazně vyšší obsah N než mechy vně pastviny. Je možné odebrat vzorky mechu výhradně na místech potenciálně nejméně ovlivněných pastvou, např. ve větších porostech keřů růží. Takové vzorky obvykle obsahují neprůkazně zvýšený obsah N než mechy v okolí pastvin (tab. 1), ale obsahy N v souborech analýz všech vzorků mívají pak bimodální rozložení N.



Obr. 2: Rozmístění biomonitorovaných míst v CHKO a obsah dusíku v mechu v roce 2024



Obr. 3: Obsah dusíku v zelené a hnědé části mechu během roku (n = 5)

### 2.3. Vlivy ostatních stanovištních faktorů

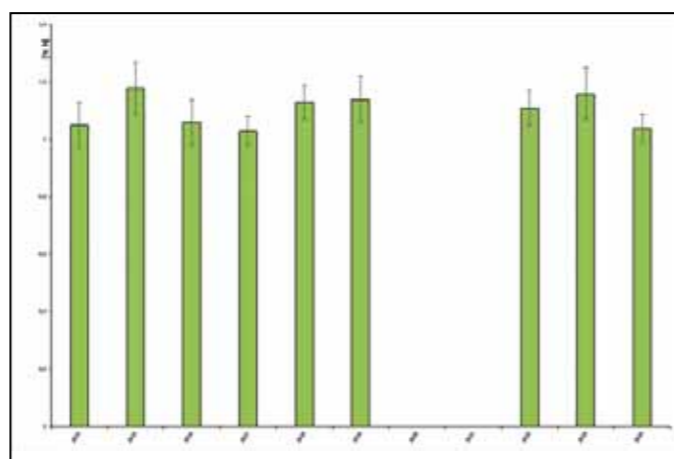
Vzorky se neodebírají na místech, potenciálního vlivu podkorunových srážek, opadu nebo erodovaného humusu. Nadmořská výška, orientace a sklon místa odběru vzorků neměly statisticky významný vliv na obsah dusíku v mechu, ale sledované plochy si jsou podobné a statistické soubory pro jednotlivé kategorie faktorů jsou velmi malé. Průměrné roční teploty vzduchu významně neovlivňovaly obsah N v mechu, ale významná a kupodivu negativní korelace byla zjištěna pro roční úhrny srážek ( $r_{\text{Spearman}} = -0,83$ ,  $p = 0,005$ ). Nebyl zjištěn (2019–2024,  $n = 4$ ) průkazný vztah mezi ročními průměrnými koncentracemi  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$  v ovzduší (stanice AIM Tobolka) a průměrným obsahem N v mechu z území CHKO ( $n = 15$ ).

### 2.4. Distribuce a trendy obsahu dusíku v mechu na území CHKO Český kras

Distribuce obsahu N v mechu v CHKO (obr. 2) a jeho časový průběh (obr. 4) neukazují na významný vliv emisí N v místě velkolomu Čertovy schody. Orientační analýzy nadložního humusu z více míst území ukázaly na největší dlouhodobé akumulace prvků z atmosférické depozice podél jihozápadní a severozápadní hranice CHKO, kde zřejmě doznívají atmosférické depozice z průmyslových emisních zdrojů a vliv provozování dálnice D5.

N pastviny	N vně pastvin	$\Delta N$
1,08±0,02	1,00±0,01	0,08
0,99±0,03	1,04±0,06	-0,05
1,05±0,04	1,03±0,04	0,02
1,18±0,06	1,07±0,05	0,11
1,26±0,03	1,08±0,04	0,18
1,21±0,03	1,16±0,07	0,05
<b>Wilcoxon: T = 2,50; Z = 1,67; p = 0,09</b>		

Tabulka 1: Rozdíly v obsahu dusíku v mechu (%) odebraném na 6 pastvinách a vně pastvin



Obr. 4: Mediány zjištěných obsahů N v mechu (%) v jednotlivých letech pro 15 míst CHKO

### 3. Závěr

Nebyl dlouhodobě indikován významný efekt zdroje  $\text{NO}_x$  v oblasti velkolomu Čertovy schody na obsah N v mechu (Suchara et al. 2014–2024). Obsah N v mechu ovlivňují také proměnlivé vlivy různých stanovištních poměrů odběrových míst. Analýzy mechu Abietinella abietina přináší právě nové poznatky o faktorech prostředí, které kontrolují obsah N v mechu a ukazují na potřebu aktuálně harmonizovat metodiku biomonitoringu v daných podmínkách.

### Poděkování

Smluvní monitorování obsahu dusíku v mechu je podporováno Vápenkou Čertovy schody a.s.

### SEZNAM LITERATURY:

- DE VRIES W., KROS H., REINDS G. J. ET AL., 2007: Developments in deriving critical limits and modelling critical loads of nitrogen for terrestrial ecosystems in Europe. – Rapport 1382, Alterra. Wageningen. 206 str.  
 CHUMAN T., OULEHLE F., HRUŠKA J., 2020: Poškození ekosystémů nadměrnou depozicí dusíku a vyjádření míry kritické zátěže. – Živa 2020, 4, str. CIII–CV.  
 HARMENS H., 2010: Heavy metals in European mosses. Monitoring manual. – Centre of Ecology and Hydrology. Bangor. 27 str.  
 HARMENS H., SCHNYDER E., THÖNI L. ET AL., 2014: Relationship between site-specific nitrogen concentrations in mosses and measured wet bulk atmospheric nitrogen deposition across Europe. – Environmental Pollution 194, str. 50–59.  
 SUCHARA I. ET AL., 2013–2024: Rozložení obsahu celkového dusíku v mechu zpeřenka jedlová (Abietinella abietina) jako indikátoru úrovně atmosférického spadu reaktivního dusíku na území CHKO Český kras. Zprávy za roky 2014–2024. – Ms., VÚKOZ. Průhonice. 13 str.

## VZDĚLÁVÁNÍ DĚTÍ A ŽÁKŮ PROSTŘEDNICTVÍM VÝUKOVÝCH PROGRAMŮ V MORAVSKÉM KRASU

Tereza Chalupková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dům přírody Moravského krasu, o.p.s., Skalní mlýn 96, 678 01 Blansko, e-mail: t.chalupkova@dpmk.cz

### Abstrakt:

Dům přírody Moravského krasu představuje moderní návštěvnické centrum, které se zabývá environmentální výchovou, ve které propojuje interaktivní expozici s terénní výukou. Nabízí široké spektrum výukových programů zaměřených na klíčové aspekty krasového prostředí. Programy jsou určeny různým věkovým skupinám a staví na principech aktivního učení, badatelského přístupu a přímého kontaktu s přírodou. V rámci environmentálního vzdělávání rozvíjejí znalosti, dovednosti i postoje potřebné k odpovědnému chování vůči přírodě.

**Klíčová slova:** Moravský kras, dům přírody, environmentální vzdělávání, výukové programy, terénní výuka

### 1. Úvod

Dům přírody Moravského krasu je moderní návštěvnické středisko nacházející se v blízkosti Skalního mlýna. Návštěvníkům nabízí interaktivní vnitřní expozici, která poutavou formou představuje klíčová témata spojená s krasovým prostředím. Expozice je členěna do několika tematických celků, které návštěvníky provázejí vznikem a vývojem Moravského krasu, životem v jeskyních i na povrchu a historií lidského osídlení. Součástí areálu je také venkovní expozice, která doplňuje témata představená uvnitř budovy. Expozice je navržena tak, aby zaujala široké věkové spektrum, od dětí po dospělé a umožnila jak samostatné objevování, tak cílené vzdělávací aktivity v rámci výukových programů.

### 2. Enviromentální vzdělávání

Moravský kras není jen chráněným územím, ale také mimořádně cenným prostorem pro environmentální vzdělávání. Toto vzdělávání má za cíl rozvíjet u žáků porozumění vztahům mezi člověkem a přírodním prostředím, posilovat jejich odpovědné chování vůči přírodě a vybavovat je znalostmi, dovednostmi i postoji potřebnými pro udržitelný život. Nejčastěji bývá enviromentální vzdělávání spojováno s praktickým poznáváním přírody, terénní výukou a mezipředmětovým učením. J. Činčera považuje environmentální výchovu za proces, který usiluje o rozvoj informovanosti, hodnot, dovedností a chování potřebného pro řešení environmentálních problémů a pro aktivní zapojení do ochrany životního prostředí (Činčera, 2007). Environmentální vzdělávání je tak cestou k uvědomělému vztahu k přírodě a udržitelnému životnímu stylu, a právě výukové programy hrají v tomto procesu klíčovou roli.



Obr. 1: Výukový program v expozici.



Obr. 2: Výukový program v terénu.

### 3. Výukové programy

Výukové programy představují efektivní nástroj, který propojuje teoretické poznatky s praktickou zkušeností. Klíčovým pedagogickým principem je aktivní učení, kdy žáci nejsou jen pasivními příjemci informací, ale stávají se badateli a tvůrci vlastních poznatků. Tento přístup rozvíjí kritické myšlení, schopnost analyzovat informace a hledat řešení reálných environmentálních problémů. Výukové programy realizované prostřednictvím Domu přírody Moravského krasu představují efektivní formu terénní výuky. Výchova a vzdělávání v přímém kontaktu s krajinou podporuje hlubší porozumění přírodním jevům. Tento přístup zvyšuje zapamatovatelnost a emocionální vazbu k tématu, což je zásadní pro změnu postojů a dlouhodobé udržení získaných znalostí a dovedností. Celkově tedy výukové programy nejen předávají fakta, ale rozvíjejí klíčové kompetence a hodnoty, které jsou nezbytné pro aktivní a zodpovědný přístup k ochraně životního prostředí. Výukové programy v Domě přírody Moravského krasu jsou určeny pro široké věkové spektrum, od předškolních dětí až po studenty, stejně jako pro dospělé účastníky a seniory. Jejich obsah i forma jsou přizpůsobeny věku, schopnostem a očekáváním jednotlivých cílových skupin. V případě nejmladších účastníků jsou programy založeny na hravosti, smyslovém vnímání a prvním kontaktu s přírodou, zatímco u starších žáků a studentů jsou zařazeny badatelské metody, práce s reálnými daty a terénní pozorování. Pro dospělé a seniory bývají programy často doplněny o širší kontext ochrany přírody a vytvářejí prostor pro diskusi i sdílení zkušeností. V rámci programů je brán také zřetel na specifické potřeby dětí i dospělých.



Obr. 3 a 4: Výukový program v terénu a Výukový program Za tajemstvím jeskyně.

### 4. Vybrané výukové programy realizované Domem přírody Moravského krasu

Dům přírody Moravského krasu nabízí širokou škálu výukových programů, které jsou koncipovány tak, aby pokryly klíčová témata spojená s unikátním přírodním prostředím tohoto chráněného území. Velké množství různých programů umožňuje návštěvníkům komplexní poznávání přírodních hodnot území, přičemž každý program je přizpůsobený konkrétním věkovým skupinám a jejich vzdělávacím potřebám. Programy jsou rozděleny do několika tematických oblastí, které reflektují hlavní přírodovědné fenomény Moravského krasu. Krasové jevy tvoří základní stavební prvky krajiny. Výukové programy v této oblasti se zaměřují na vznik a vývoj krasových útvarů. Účastníci poznávají přímo v terénu geomorfologické procesy, které formovaly krajinu po tisíciletí a získávají povědomí o tom, jak je krajina dynamická a jak ji ovlivňují přírodní i lidské faktory. Výjimečný zážitek nabízí výukový program Za tajemstvím jeskyně, který účastníkům otevírá dveře do běžně nepřístupné jeskyně Koňská jáma. Žáci se zde seznámí s významným archeologickým nalezištěm a vyzkouší si také slánění do propasti a průlez plazivkou. Tato zážitková složka programu posiluje osobní prožitek a zájem o poznávání přírody. Důležitou součástí programu je také pochopení křehkosti podzemního prostředí a pravidel bezpečného, ohleduplného chování při pohybu v jeskyních.

Dalším programem, který tematicky navazuje na poznávání geologického bohatství Moravského krasu, je Skrytá krása kamenů. Tento program přibližuje účastníkům geologickou rozmanitost této krasové oblasti. V průběhu programu si účastníci v terénu vyhledají vápenec, který následně pod vedením lektora vybrousí



Obr. 5 a 6: Výukový program Den s netopýrem

a vyleští do podoby sbírkového kamene. Výsledný kámen si účastníci odnášejí domů. Program rozvíjí vztah k neživé přírodě prostřednictvím tvořivé činnosti spojené s přímým poznáváním místního geologického dědictví. Tento výukový program je nabízen také formou víkendových akcí pro veřejnost.

Významnou roli v utváření krasové krajiny hraje voda, která ovlivňuje jak povrchové, tak podzemní procesy. Výukový program Putování za kapkou vody je určen zejména mladším žákům a zábavnou formou přibližuje základní principy oběhu vody v přírodě, její význam pro rostliny, živočichy i člověka. Žáci si prostřednictvím her a pokusů uvědomují, že voda není samozřejmostí a že její dostupnost i kvalita závisí na lidském chování. Důležitou součástí programu je také reflexe aktuálních environmentálních problémů, zejména projevů sucha a hledání možností, jak může každý přispět k ochraně vodních zdrojů ve svém okolí.

Fauna představuje další tematický celek, který je ve výukových programech zpracován s důrazem na druhovou rozmanitost v rámci krasového prostředí. Účastníci se seznamují s různými živočichy typickými pro zdejší přírodu, přičemž zvláštní pozornost je věnována chráněným druhům. Z hlediska krasové oblasti je důležitým výukovým programem Den s netopýrem. Program poutavou formou přibližuje život netopýrů během celého roku a jejich přirozené prostředí. Pomocí her si žáci prakticky vyzkouší například princip echolokace. Program zdůrazňuje potřebu jejich ochrany jako významné součásti ekosystému.

Dále Dům přírody nabízí také výukové programy zaměřené na les, tematiku pravěkého osídlení, ale i programy věnované fauně a flóře Moravského krasu. Součástí nabídky jsou také komentované prohlídky po Moravském krasu, které umožňují návštěvníkům poznat unikátní přírodní a kulturní hodnoty oblasti přímo v terénu.

### 4. Závěr

Výukové programy realizované Domem přírody Moravského krasu tvoří důležitou součást environmentální výchovy v regionu. Díky spojení moderní expozice, kvalitního lektorského vedení a přímého kontaktu s přírodou se daří vytvářet podnětné vzdělávací prostředí, které podporuje aktivní učení i hlubší vnímání přírodních souvislostí. Programy nabízejí účastníkům nejen nové poznatky, ale i praktické dovednosti a osobní zážitky, které mohou přispět k rozvoji jejich odpovědného vztahu k životnímu prostředí. Díky širokému tematickému záběru a přizpůsobení různým věkovým skupinám se nabízí možnost opakovaných návštěv, které přispívají k postupnému budování citlivějšího vztahu k přírodě a uvědomění si její hodnoty.

### SEZNAM LITERATURY:

ČINČERA JAN, 2007: Environmentální výchova: od cílů k prostředkům. – Paido. Brno. 116 str.

## SPECIÁLNÍ NETOPÝŘÍ PROHLÍDKY JESKYNÍ – FORMA VZDĚLÁVÁNÍ A VÝCHOVY NÁVŠTĚVNÍKŮ

Martin Koudelka

Správa jeskyní České republiky, Květnové nám. 3, 252 43 Průhonice, e-mail: koudelka@caves.cz

### Abstrakt:

Tato práce se zabývá přínosem environmentálního vzdělávání návštěvníků s důrazem na tyto možnosti v přirozeném prostředí zpřístupněných jeskyní. Speciálně zaměřené prohlídky podzemních prostor umožňují přirozenou formou seznámit návštěvníky s velmi zajímavou skupinou živočichů, kterými letouni bezesporu jsou, a s jejich životně důležitými biotopy in situ. Práce popisuje současný stav a zkušenosti z Javoříčských jeskyní a možnosti rozšíření prohlídek do dalších zpřístupněných jeskyní, ve stejné či modifikované podobě. Hlavním přínosem těchto akcí má být předávání znalostí, zkušeností a informací, které povedou ke zlepšení povědomí široké veřejnosti o významu jeskyní pro ohrožené populace letounů, základních důvodech a principech jejich ochrany.

**Klíčová slova:** návštěvníci, neformální vzdělávání, jeskyně, letouni

### 1. Úvod

Celoživotní vzdělávání je důležitou a nedílnou součástí života naší civilizované společnosti. Kromě existujících možností prohlubování vědomostí a studia na školách (např. univerzita třetího věku) je v poslední době kladen velký důraz na tzv. neformální vzdělávání ve volném čase osob. Nejvíce v oblasti výchovy dětí (táborové akce) a kultury (muzejní přednášky, akce ve skanzenech apod.), ale i v oblasti životního prostředí a ochrany přírody (program Domů přírody, komentované prohlídky zvláště chráněných území). (Knotová, 2006), (Hájek et al., 2011). Správa jeskyní ČR jako státní příspěvková organizace, jejímž zřizovatelem je Ministerstvo životního prostředí, se již před lety začala zabývat otázkou speciálně zaměřených – tematických prohlídek podzemí i krasové krajiny na povrchu. Prvním důsledně cíleným segmentem návštěvníků se staly školní výlety, pro které byly vytvořeny pro každou jeskyni pracovní listy s nejdůležitějšími informacemi o konkrétní lokalitě, které jsou volně k dispozici na stránkách Správy jeskyní ČR. Druhou cíleně vybranou skupinou se stali návštěvníci, blíže se zajímající o netopýry.

### 2. Speciální prohlídky v Javoříčských jeskyních

Javoříčské jeskyně nebyly pro pořádání této akce vybrány náhodou. Patří k nejatraktivnějším v rámci zpřístupněných jeskyní z hlediska výzdoby a velikosti prostor. Jsou největším známým zimovištěm vrápence malého na území České republiky s dlouhou historií monitoringu a velkým množstvím zjištěných druhů letounů. (Koudelka a Reiter, 2001). Prohlídky se konají od roku 2016 vždy dvakrát ročně, koncem měsíce března a na začátku listopadu. Termíny byly voleny nejen s ohledem na nižší provoz v jeskyních, abychom se mohli návštěvníkům více věnovat, ale i s ohledem na roční cyklus letounů. V těchto termínech je v podzemí dostatečně velké množství vrápenců i některých ostatních druhů, na druhou stranu nejsou ve stavu hluboké hibernace, a tudíž nehrozí riziko jejich zbytečného rušení a probouzení. Je známo, že v tomto období je jejich přirozená aktivita na zimovištích ještě poměrně vysoká. (Zukal et al., 2017). Již od počátku byly akce nazvány jako „Probouzení netopýrů“ a „Uspávání netopýrů“. Před vstupem do podzemí jsou návštěvníci seznámeni s výjimečností NPR Špraněk, výskytem vzácných a chráněných druhů rostlin a živočichů, s historií objevování podzemních prostor a s historií ochrany přírody. K tomuto účelu slouží vybudované pevně instalované informační panely věnované konkrétnímu okruhu témat před správní budovou. Před vlastní prohlídkou jsou návštěvníci poučeni, jakým způsobem bude konkrétně probíhat a jakým způsobem se chovat v blízkosti letounů. Zejména se od nich držet v dostatečné vzdálenosti, aby nedocházelo k tepelnému rušení a minimalizovat hluk a mluvení během prohlídky. Chovat se ohleduplně – asi tak, jako bychom přišli k někomu na návštěvu do jeho ložnice. Prohlídka trvá přibližně hodinu a probíhá na kratší variantě prohlídkové trasy. Méně se povídá o jeskyních, o to více o letounech a jejich přímých souvislostech s Javoříčskými jeskyněmi. Druhou částí je obrazová prezentace věnovaná letounům. Opakuje a detailněji probírá informace získané na prohlídkové trase a doplňuje je o další zajímavosti, a to nejen středoevropských letounů. Probíhá v podzemí, v poslední prostoru prohlídkové trasy, jeskyni Svěcená díra. V průběhu prohlídky se zaměřujeme na aktivní interakci s návštěvníky, aby se necítili jako na přednášce, ale aby se mohli se svými znalostmi před ostatními pochlubit. Dětem za aktivní přístup a správně zodpovězené otázky nabízíme malý suvenýr.



Obr. 1: Početná kolonie vrápenců malých na přechodném stanovišti v Panenské jeskyni na prohlídkové trase Javoříčských jeskyní (Foto: autor)



Obr. 2: Obrazová prezentace ve Svěcené díře (Foto: Jaroslav Šanda, SJČR)

### 3. Hlavní témata prohlídky

Úvodní zastavení je věnováno rozdělení jeskynních živočichů na troglobionty, troglofily a trogloxyeny (stygo-...) s typickými zástupci těchto skupin v naší, příp. evropské fauně. Jejich adaptaci na náročný život pod zemí a jejich nezastupitelnou roli v ekosystému. Na dalším postupovém místě jsou probrány základní znaky řádu letounů, čím jsou výjimeční a významní mezi ostatními savci. Zejména je zdůrazněna jejich schopnost aktivního letu, orientace v prostoru pomocí echolokace, noční způsob života i jedinečný roční cyklus se střídáním letních, přechodných a zimních úkrytů. Biologický zázrak jménem hibernace, který umožňuje letounům přežít období s nepříznivými podmínkami a nedostatkem potravy. Jsou okomentovány typické rozdíly mezi netopýry a vrápenci. Další zastavení je věnováno vlastní lokalitě Javoříčských jeskyní, jejímu významu z hlediska hibernace, dlouhodobé historii výzkumů a monitoringu letounů, a to nejen v období hibernace, ale i v období přeletů. A také detailnímu popisu toho, proč vlastně monitoring probíhá, a jak je relativně složité každoročně zabezpečit jeho realizaci.

Závěrečná prezentace je koncipována jako shrnutí a zopakování nosných témat prohlídky. Jednotlivé body jsou detailněji rozvedeny a doplněny obrázky a grafy. Informace o našich letounech jsou doplněny o zajímavosti ze světa – morfologické zvláštnosti,

netopýří nej, potravní a úkrytové specializace, nejvíce ohrožené skupiny. Detailněji jsou probrány možnosti monitoringu a výzkumu. A také například, jak se chovat, co dělat (a nedělat) při nálezů netopýra v konkrétním místě a čase. V krátkosti je zmíněna Česká společnost pro ochranu netopýrů, odborný garant veškerých činností v České republice, které souvisejí s letouny.

#### 4. Závěr

Podle reakcí účastníků těchto akcí můžeme říci, že jsme vykročili správným směrem. Většina odchází spokojená a nemálo z nich se i opakovaně vrací. Získané informace a znalosti předávají svým známým, příbuzným a dokáží správným způsobem zareagovat při náhodném setkání s netopýry. Stávají se z nich opravdoví ochránci těchto zajímavých a ohrožených živočichů. Správa jeskyní v současné době uvažuje o rozšíření na netopýry zaměřených prohlídek i na ostatní zpřístupněné jeskyně. Ve spolupráci s jednotlivými správci hledáme nejvhodnější modifikace pro konkrétní provozy. Rozvíjíme kontakty a spolupráci s regionálními specialisty – chiropterology, orgány ochrany přírody a vědeckými pracovišti.

#### Poděkování

Za pomoc s rozjezdem projektu, odbornou podporu a neutuchající osobní účast na těchto akcích zejména RNDr. Jiřímu Šafářovi z AOPK ČR, RP Olomouc. Za pomoc se studijními a propagačními materiály České společnosti pro ochranu netopýrů.

#### SEZNAM LITERATURY:

- HÁJEK B. ET AL., 2011: Pedagogické ovlivňování volného času: trendy pedagogiky volného času. - Vyd. 2., Praha: Portál. 239 str.  
 KNOTOVÁ D., 2006: Neformální zájmové vzdělávání dospělých ve volném čase. – *Studia paedagogica*, 54, 11, str. 67-78.  
 KOUDELKA M., REITER A., 2001: Netopýří zimující v Javoříčských jeskyních. - *Vespertilio*, 5, str. 155-162.  
 ZUKAL J., BERKOVÁ H., BANĎOUCHOVÁ H. ET AL., 2017: Bats and Caves: Activity and Ecology of Bats Wintering, s. 51-75.– In: Karabulut S., Cinku M. C. (eds.): *Cave investigation*. – London: IntechOpen, 138 str.

## OVLIVNĚNÍ MIKROKLIMATU NEZPŘÍSTUPNĚNÝCH JESKYNÍ PŘI DNECH OTEVŘENÝCH DVEŘÍ

*Pavel Pracný<sup>1</sup>, Marek Lang<sup>1</sup>, Jiří Faimon<sup>1,2</sup>, Zdeněk Roubal<sup>3</sup>, Zoltán Szabó<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 267/2, Brno 611 37, pracny@sci.muni.cz

<sup>2</sup> Česká geologická služba, Leitnerova 204/22, 602 00 Brno

<sup>3</sup> Ústav teoretické a experimentální elektrotechniky, FEKT VUT v Brně, Technická 3082/12, 616 00 Brno

#### Abstrakt:

Príspevek se zabývá vlivem návštěvnického provozu během dnů otevřených dveří na mikroklima běžně nezpřístupněných jeskyní. Navazuje na předchozí studii z Býčí skály a rozšiřuje ji o nová měření z Amatérské jeskyně v Moravském krasu. V obou jeskyních byly sledovány změny teploty vzduchu podél prohlídkových tras během víkendových akcí. Výsledky ukazují, že průchod návštěvnických skupin způsobuje krátkodobé nárůsty teploty, které jsou částečně kumulativní, ale mikroklima se v obou případech vrací do původního stavu během jednoho dne. Intenzita nárůstu závisí na profilu chodby a době zdržení skupin. Přestože Amatérská jeskyně vykazuje méně otevřený ventilační režim, její reakce na návštěvnost je obdobná jako u Býčí skály. Výraznější a dlouhodobější změny mikroklimatu byly zaznamenány pouze v souvislosti s přírodními událostmi, jako jsou přívalové deště. Závěrem lze říci, že současný režim dnů otevřených dveří nepředstavuje pro mikroklima těchto jeskyní zásadní riziko.

**Klíčová slova:** mikroklima jeskyní, návštěvnost jeskyní

#### 1. Úvod

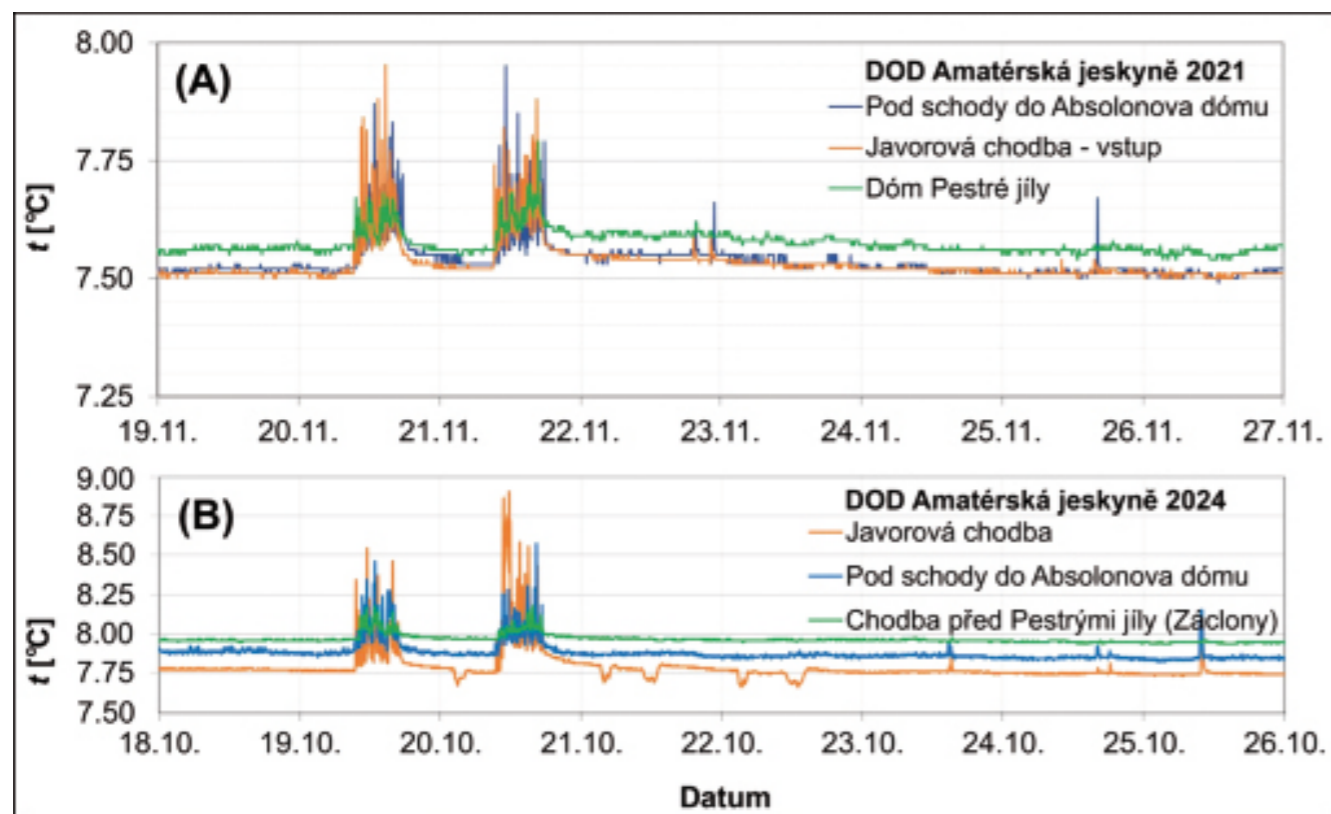
Jeskynní mikroklima je zásadní pro jevy spojené s kondenzací vody na stěnách nebo hromaděním CO<sub>2</sub> a Rn v jeskyni. K výrazným změnám v mikroklimatickém režimu může dojít stavebními zásahy při zpřístupňování jeskynních prostor. Ovlivnění zpřístupněných jeskyní bylo popsáno např. Langem et al. (2017). Otázkou je, do jaké míry ovlivňuje návštěvnost běžně nezpřístupněné jeskyně. Pro studium byly zvoleny dvě jeskyně v Moravském krasu – (1) Býčí skála s několika propojenými vchody a poměrně otevřeným vstupem a (2) Nová Amatérská jeskyně, která naopak nemá větší přirozený vstup.

Předchozí monitoring v Býčí skále (Pracný et al., 2021) ukázal, že ačkoli jeskynní prostředí může být během dnů otevřených dveří poměrně výrazně ovlivněno, tento efekt se po ukončení akce během jednoho dne zrelaxuje a vrátí na původní hodnoty. Otázkou zůstává, zda v jeskyních, které jsou mnohem méně otevřené pro ventilaci (jako Amatérská jeskyně), bude ovlivnění člověkem stejně dočasné nebo může mít větší efekt. Cílem příspěvku je tedy zhodnotit výsledky měření podél prohlídkové trasy během dní otevřených dveří v Amatérské jeskyni a posoudit, zda je ovlivnění mikroklimatu zásadně jiné než v Býčí skále a zda může být z dlouhodobého hlediska rizikové pro jeskynní prostředí.

#### 2. Metodika

Měření probíhala vždy pomocí přístrojů umístěných v jeskyni s předstihem před dny otevřených dveří (dále zkracováno na DOD) a odstraněných po jejich skončení. Dny otevřených dveří probíhaly vždy v sobotu a neděli tři víkendy po sobě. Měření v Býčí skále probíhala během DOD v červnu 2021–2023. Měření v Amatérské jeskyni probíhala během DOD v listopadu 2021 a říjnu 2024.

Sledovaným parametrem byla zejména teplota (teploměry Termio-1), na kterou se zaměřuje tento příspěvek. Na některých stanovištích byly monitorovány také RH, CO<sub>2</sub> nebo barometrický tlak (Pracný et al., 2022). Měření probíhala s krokem 5 až 15 minut ve výšce ~120 cm nad podlahou jeskyně na stanovištích podél prohlídkové trasy. Cíleně byla zvolena místa zúžení i rozevření chodeb. V Býčí skále byly v roce 2021 umístěny přístroje na sedmi stanovištích od Jižní odbočky až po Velkou síň. V roce 2022 a 2023 byla měření prováděna na šesti stanovištích v úseku od dveří za vstupní síň po tzv. Mořské oko. V Amatérské jeskyni byly měřicí přístroje rozmístěny od vchodu štolou u Javora podél tzv. Ministerské trasy až po Pestré jily. V roce 2021 na 11 teploměrech umístěných speciálně pro DOD a 5 loggerech umístěných v rámci dlouhodobého monitoringu (Pracný et al., 2022). V roce 2024 pak byla v době DOD umístěna záznamová zařízení na 8 stanovištích.



Obrázek 1: Vývoj teplot na vybraných stanovištích podél Ministerské trasy v Amatérské jeskyni během dní otevřených dveří v roce 2021 (A) a 2024 (B). Grafy zahrnují prostřední návštěvnický víkend a týden po něm.

Návštěvnický režim během dní otevřených dveří byl nastaven pro pohyb návštěvnických skupin s předem danými parametry. V Býčí skále byla velikost jedné skupiny mezi 10 a 40 osobami (průměr 35), skupiny vstupovaly do jeskyně v 15minutových intervalech (celkem 30 skupin) a jeskyni tak každý návštěvní den prošlo kolem 950 osob. V Amatérské jeskyni byla velikost skupiny 10 osob + průvodce, skupiny vstupovaly v půl hodinových intervalech (celkem 15 skupin) a každý návštěvní den prošlo okolo 160 osob.

### 3. Výsledky a diskuse

#### 3.1 Býčí skála

Během všech měření v Býčí skále je předpokládán přetrvávající DAF mód ventilace. Všechna měřící stanoviště s výjimkou Velké síně vykazují mimo režim DOD pravidelné denní cyklické změny teploty (v rozmezí 0,03 až 0,4 °C) a ukazují tak jasné ovlivnění venkovním vývojem. Se vzdáleností od vchodu je pozorován obecný trend narůstající teploty vzduchu a klesajícího rozpětí hodnot denního cyklu. Důvodem může být intenzivní vychlazení vstupní části jeskyně během zimního období a přítomnost aktivního vodního toku hlouběji v jeskyni. Stanoviště v Obrím komíně naznačuje výraznými výkyvy hodnot v denních cyklech napojení na povrch.

Hlavním pozorovaným ovlivněním v průběhu dní otevřených dveří jsou nárůsty teploty. Na všech stanovištích je zaznamenán nárůst o 1,5–13 % a nárůst rozdílu mezi denním minimem a maximem je až 6násobný. Celkově je vývoj teplot během DOD ve všech třech sledovaných letech velmi podobný. Vysoký nárůst teplot na monitorovacím místě je následován relaxací jeskynního prostředí do druhého dne. Nejvýraznější nárůsty teplot jsou pozorovány v chodbách se zúženým profilem. Vliv přítoku relativně teplejší vody v Jedovnickém potoce po bouřkách cca od 22. června 2021 se ukázal být mnohem větším narušením běžného režimu než DOD (Pracný et al., 2021).

V Amatérské jeskyni je předpokládán v průběhu DOD v roce 2021 UAF mód ventilace a v roce 2024 přechodný mód. Běžný mikroklimatický režim se jeví jako mnohem uzavřenější a méně řízený venkovní teplotou – denní variace v teplotě jako v Býčí skále byly pozorovány pouze ve vstupní stole. V roce 2021 zde byla zaznamenána nejnižší teplota vzduchu v jeskyni 7,1 °C. Teplota podél Ministerské trasy pozvolna rostla a rozdíl mezi nejstudenějším (Javorová chodba = 7,5 °C) a nejteplejším stanovištěm (dóm Pestré jily = 7,6 °C) je minimální (obr. 1a).

Přestože je v roce 2024 mikroklima mírně vychýleno přívalovými srážkami v červnu, je až do poloviny září zaznamenán podobně setrvalý stav jako v roce 2021. Zlom nastává 14.–15. září, kdy je část jeskyně vyplavena při

povodních. Je vidět prudký nárůst teploty až na 11,5 °C u Javorové chodby a o 1–2 °C podél Ministerské trasy. Následně teplota klesá, ale hodnoty jsou na všech stanovištích před DOD stále odlišné od dlouhodobého průměru a sezónně obvyklých hodnot. Krajní teploty v běžném režimu vykazují opět stanoviště u dómu Pestré jily (~7,95 °C) a v Javorové chodbě (~7,85 °C, viz obr. 1b).

V průběhu dní otevřených dveří v roce 2021 byly pozorovány nárůsty teplot podél Ministerské trasy o 0,1–0,5 °C v podobě jednorázových píků odpovídajících jednotlivým návštěvnickým skupinám. Efekt návštěvního dne je kumulativní a píky postupně vybíhají z vyšší základní hodnoty. Nejvyšší nárůsty teploty byl zachycen v Javorové chodbě a pod schody do Absolonova dómu (obr. 1a). V průběhu DOD v roce 2024 byly pozorovány podobné trendy v ovlivnění, jen absolutní nárůsty teploty jsou relativně vyšší, až 1 °C. Nejvyšší oteplení vykazují stejná stanoviště jako v roce 2021 (obr. 1b). Zdá se, že řídicím faktorem pro intenzitu nárůstu je profil chodby v daném místě (s vyššími nárůsty v užších úsecích) a čas zadržení návštěvníků v daném místě. Ovlivnění stanoviště u Pestrých jílů je intenzitou obdobné jako v roce 2021. Zároveň nikde nejsou vidět dlouhodobější dopady, jeskyně se vrací do běžného režimu s teplotami vzduchu odpovídajícími těm před DOD během jednoho denního cyklu, stejně jako v Býčí skále.

#### 4. Závěr

Klíčový poznatek z monitoringu během DOD v Býčí skále a Amatérské jeskyni je, že režim ovlivnění je v zásadě podobný – s průchody návštěvnických skupin pozorujeme částečně kumulativní nárůsty teplot. V obou jeskyních dochází při současném návštěvnickém režimu DOD k relaxaci jeskynního prostředí už během jednoho denního cyklu. Návštěvnický režim se tedy jeví být vhodně nastavený. Výraznější změny byly způsobeny přírodními vlivy, nikoli návštěvností. Do budoucna bude dobré prozkoumat také ovlivnění dalších faktorů, zejména CO<sub>2</sub> a RH, které by mohly hrát roli při vzniku kondenzační koroze.

#### Poděkování

Autoři by chtěli poděkovat pracovníkům Správy CHKO Moravský kras a speleologům ze ZO ČSS 6-01 Býčí skála za spolupráci. Některá měření krasových podmínek byla součástí projektu TAČR TJ04000064 „Zhodnocení vlivu povrchových podmínek na jeskynní prostředí“ v rámci programu Zéta.

#### SEZNAM LITERATURY:

- PRACNÝ P., LANG M., FAIMON J. ET AL., 2021: Monitoring ovlivnění prostředí jeskyně Býčí skála během dní otevřených dveří 2021, str. 54 In: Zajíček P. ed.: Odborná konference k problematice udržitelného rozvoje v krasových oblastech: „Kras, jeskyně a lidé“. Průhonice. Správa jeskyní ČR.
- PRACNÝ P., ROUBAL Z., SYNKOVÁ V. ET AL., 2022: Zhodnocení vlivu povrchových podmínek na jeskynní prostředí: Souhrnná výzkumná zpráva. – Ms. Masarykova univerzita, 149 s.
- LANG M., FAIMON J., PRACNÝ P. ET AL., 2017: A show cave management: Anthropogenic CO<sub>2</sub> in atmosphere of Výpustek Cave (Moravian Karst, Czech Republic). – Journal for Nature Conservation, 35, 2, str. 40-52.

## VYUŽITÍ GEOFYZIKÁLNÍ METODY ERT VE VÝZKUMU A PŘI ŘEŠENÍ ENVIRONMENTÁLNÍCH ZÁTĚŽÍ V KRASU

Martin Dostálík<sup>1</sup>, Vít Baldík<sup>2</sup>, Roman Novotný<sup>2</sup>, Jiří Nečas<sup>2</sup>, Jiří Rez<sup>2</sup>, Roman Hadacz<sup>2</sup>, Jiří Faimon<sup>2</sup>, František Kuda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Česká geologická služba, Klárov 131/, 118 21 Praha 1, e-mail: martin.dostalik@geology.cz

<sup>2</sup> Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno

<sup>3</sup> Ústav geoniky AV ČR, Drobného 28, 602 00 Brno

### Abstrakt:

Geofyzikální metoda elektrické rezistivní tomografie (ERT) byla experimentálně nasazena pro stanovení mocnosti a objemu sedimentární výplně uvnitř několika jeskyní Moravského krasu. Cílem výzkumu bylo otestovat různé geometrické kombinace nastavení metody ERT (krok měření a uspořádání elektrod) a vybrat tak nejvhodnější metodiku měření (Dostálík et al. 2022). Pro výzkum byly vybrány jeskyně, vyplněné různými druhy sedimentu a fungující v odlišných hydrogeologických (hydrologických) podmínkách. Výsledky jsou korelovány s výsledky dřívějších přímých a geofyzikálních průzkumů v těchto jeskyních.

Metoda ERT také pomohla zpřesnit představu o prostorové distribuci a objemu struskové haldy která představuje environmentální zátěž pro NPP Rudické propadání (Faimon et al. 2022, Baldík et al. 2018 a 2020). Struska pokrývající svah před ponorem Jedovnického potoka je primárním zdrojem zanášení jeskynního systému Rudické propadání - Býčí skála a je významným antropogenním činitelem, který ovlivňuje celý jeskynní systém.

Zatím poslední aplikace metody ERT pomohla stanovit mocnost sedimentárního pokryvu a tím rekonstruovat paleoreliéf škrapového povrchu vápence nad Harbešskou jeskyní (Harbešská plošina, Moravský kras). Práce je součástí studie extrémních koncentrací CO<sub>2</sub> v dané oblasti s formulací koncepčního modelu „plynového kolektoru“ jako proplyněné vrstvy sedimentu oxidem uhličitým na rozhraní sprašové půdy a vápencové podloží (Faimon et al. 2025\*).

Metoda ERT je založená na měření zdánlivých elektrických odporů prostředí v různých hloubkách podél profilu, což vytváří odporový obraz zkoumaného prostředí. Různé materiály v různém stavu se projevují odlišnými odporovými vlastnostmi. U zmiňovaných případů využíváme výrazného kontrastu nízko-odporové sedimentární výplně nebo pokryvu a vysoko-odporového vápence v podloží.

**Klíčová slova:** geofyzikální metoda ERT, elektrická odporová tomografie, mocnost výplně, Moravský kras, strusková halda, environmentální zátěž

### SEZNAM LITERATURY:

BALDÍK V., DOSTALÍK M., SEDLÁČEK J. ET AL., 2020: Prostorové vymezení polohy a objemu struskové akumulace v národní přírodní památce Rudické propadání s pomocí geofyzikálních metod. – Zprávy o geologických výzkumech = Geoscience Research Reports 53, 1, str. 3-10.

BALDÍK V., KRUMLOVÁ H., BURIÁNEK D. ET AL., 2018: Mobilizace chemických složek struskové deponie v Národní přírodní rezervaci Rudické propadání. – Geol. Výzk. Mor. Slez. v Roce 2017, 25, 1–2, str. 108–112.

DOSTALÍK M., BALDÍK V., REZ J. ET AL., 2022: Využití geofyzikální metody ERT pro stanovení mocnosti sedimentární výplně jeskyní. – HGIG kongres v Ústí nad Labem, 6.–9. září 2022.

FAIMON J., BALDÍK V., BURIÁNEK D. ET AL., 2022: Historical ferrous slag induces modern environmental problems in the Moravian Karst (Czech Republic). – Science of the Total Environment, 847, 157433, 19 str.

FAIMON J., BALDÍK V., REZ J. ET AL., (2025): Elevated concentrations of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) on the Harbechy Plateau (Moravian Karst) indicate the existence of a gas-rich soil layer (GRSL). – Applied Sciences, 15, 8907, 23 str.

## MAPOVÉ ZNAKY POUŽITÉ V PUBLIKACÍCH SPELEA A SPELEOFÓRA

Josef Weigel<sup>1</sup>, Alena Berková<sup>2</sup>, Karolína Benešová

<sup>1</sup> Ústav geodézie FAST VUT, Veveří 331/95, 602 00 Brno, e-mail: josef.weigel@vut.cz

<sup>2</sup> Ústav geodézie FAST VUT, Veveří 331/95, 602 00 Brno, e-mail: alena.berkova@vut.cz

### Abstrakt:

V roce 2020 byla na oboru Geodézie a kartografie VUT v Brně studentkou Karolínou Benešovou vypracována bakalářská práce s krasovou tematikou. V práci jsou z pohledu použitých mapových znaků analyzovány mapy jeskyní, které byly publikovány ve sbornících Speleo a Speleofórum.

**Klíčová slova:** jeskyně, mapy, mapové znaky, Speleo, Speleofórum

V rámci bakalářské práce Karolína Benešová byla řešena problematika mapových znaků použitých v mapách zobrazujících jeskyně, jeskynní systémy a jim podobné přirozeně vytvořené jevy. V práci byla analyzována dvě česká periodika, která se zabývají jeskynní problematikou, a to sborníky Speleo a Speleofórum. Z vydaných sborníků Speleo bylo analyzováno 74 čísel publikovaných v letech 1990–2019 a ze sborníků Speleofórum 23 čísel vydaných v letech 1989–2019. Některá vydání sborníků nebyla v té době k dispozici.

Souhrnně bylo v těchto sbornících publikováno více než 1 000 map. Hlavní náplní bakalářské práce bylo vyhotovit statistiku používaných mapových symbolů. Ve sbornících Speleo bylo v mapách použito více než 250 znaků a ve sbornících Speleofórum 340 znaků. To znamená, že pro stejnou informaci je v různých mapách použita poněkud odlišná symbolika. Mapové znaky byly rozříděny do kategorií a překresleny do digitální podoby. Přibližně polovina map zobrazovala naše jeskyně, druhá polovina jeskyně zahraniční. V práci je též analyzováno zobrazení mapového klíče přímo v legendě mapy, který se vyskytuje u méně než 15 % map, ale ukazuje se jeho rostoucí trend. V posledních ročnících se totiž výrazněji projevují nové technologie používané při zaměrování jeskyní a jejich grafickém zpracování. Mapy s legendou se začínají objevovat více v posledních pěti letech, díky dostupnějším digitálním technologiím, jako je např. program Therion, který automaticky poskytuje unifikovanou legendu. Závěrem je nezbytné se zmínit o skutečnosti, že studentka do zpracování bakalářské práce neměla s měřením jeskyní ani s tvorbou jejich map žádné zkušenosti. Poster je doplněn o obdobnou analýzu posledního ročníku sborníku Speleofórum 2025.

### SEZNAM LITERATURY:

BENEŠOVÁ K., 2020: Mapy jeskyní a jejich mapové znaky v publikacích Speleo a Speleofórum. – Ms., bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. 36 stran.

## MANAGEMENTOVÁ OPATŘENÍ VE ZPŘÍSTUPNĚNÝCH JESKYNÍCH

*Vratislav Ouhrabka*

Správa jeskyní České republiky, pracoviště Bozkov, č.p. 265, 512 13 Bozkov,  
e-mail: ouhrabka@caves.cz

### **Abstrakt:**

Správa jeskyní České republiky realizuje komplexní managementová opatření zaměřená na ochranu a udržitelný provoz zpřístupněných jeskyní. Tato opatření reflektují potřebu minimalizovat negativní dopady historických zásahů i současného turistického provozu. Klíčovou součástí je rekonstrukce návštěvních tras, výměna zastaralých technologií a odstranění nefunkčních zařízení. Důraz je kladen na použití bezúdržbových a inertních materiálů, šetrné nasvícení a monitoring mikroklimatu. Pravidelně se provádí likvidace lampenflory a mikrobiální kontaminace, zejména v místech s výskytem unikátní výzdoby. Významná pozornost je věnována ochraně podzemních vod, bezpečnosti návštěvníků a revitalizaci povrchových areálů. Opatření zahrnují i odstraňování pozůstatků starých průzkumných a zpřístupňovacích prací, včetně deponií a zakládek. Správa jeskyní ČR spolupracuje s Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR na přípravě plánů péče o zvláště chráněná území, v nichž se jeskyně nacházejí. Opatření jsou často financována z programů Ministerstva životního prostředí. Všechny zásahy jsou dokumentovány, dokumentace je uchovávána v digitální podobě.

Cílem těchto aktivit je nejen zachování přírodních hodnot jeskyní, ale i zajištění jejich bezpečné a šetrné prezentace veřejnosti. Výsledkem je zlepšení stavu jeskynního prostředí, zvýšení komfortu návštěvníků a dlouhodobá udržitelnost provozu.

**Klíčová slova:** zpřístupněné jeskyně, management, ochrana jeskyní

## UMĚLÁ INTELIGENCE A JESKYNĚ

*Jiří Nečas<sup>1</sup>, GPT-4<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Česká geologická služba, Leitnerova 204/22, 602 00 Brno, e-mail: jiri.necas@geology.cz

<sup>2</sup> GPT-4, jazykový model OpenAI

### **Abstrakt:**

Dynamický rozvoj umělé inteligence (AI) vede k jejímu stále širšímu zapojení do každodenní pracovní praxe – od vyhledávání informací, úprav textů, generování grafiky až po využití při vývoji softwaru a simulací. Lze předpokládat, že AI postupně pronikne do většiny vědeckých oborů. Míra jejího využití bude záviset především na dostupnosti dat a možnostech jejich zpracování. Tento poster vznikl jako experiment na pomezí tradičního výzkumu krasu a současných možností generativní umělé inteligence. AI model GPT-4 byl osloven s návrhem vytvořit vlastní vědecký příspěvek na konferenci Kras, jeskyně a lidé 2025, a aktivně navrhoval využití metod umělé inteligence v oblasti speleologického výzkumu. Diskutované možnosti zahrnují zpracování geodat, obrazových vstupů z fotogrametrie a LIDARu, prediktivní modelování vývoje krasového reliéfu i jazykovou analýzu odborné literatury. Příspěvek otevírá také metodologické a etické otázky spojené s autorstvím, validitou a limity zapojení umělé inteligence do vědy. Poster je tak nejen ukázkou technologického potenciálu, ale i výzvou k diskusi nad změnami, které AI do vědy přináší.

**Klíčová slova:** umělá inteligence, kras, jeskyně, modelování, fotogrametrie

## STYLOLITES AS CONTROLS ON FLUID FLOW AND KARST DEVELOPMENT

*Silvana Magni*

Faculty of Science, Charles University, Albertov 6, Praha 2, 128 00, email: magnis@natur.cuni.cz.

### Abstrakt:

Stylolites, pressure-solution features common in carbonate rocks, significantly influence fluid flow and permeability through reservoirs. However, the role of clay accumulations along stylolites remains poorly understood. This study explores the relationship between stylolite morphology, associated clay mineralogy, and their effect on permeability and fluid circulation.

We present preliminary results based on SEM and a combination of microXRD/microXRF analyses, focusing on the mineralogical composition of stylolite seams. The data reveal systematic variations in clay mineral assemblages and their spatial distribution along stylolites, suggesting a potential sealing effect and an anisotropic influence on fluid pathways which may influence proto-karst development.

Observed mineralogical heterogeneities indicate that the presence and concentration of clays along stylolites may locally reduce permeability and compartmentalize fluid flow. These features appear to enhance the structural complexity of the host rock, potentially affecting both the initiation and propagation of dissolution processes. The interaction between stylolites and fine-grained mineral phases highlights the need to consider micro-scale diagenetic textures when evaluating karst susceptibility and fluid behavior in carbonate systems. Further analyses will aim to refine the quantification of clay content and assess its spatial correlation with fluid pathways, porosity evolution and early karst development.

**Key words:** stylolites, fluid flow, permeability, karst development

## MUZEUM BOSKOVICKA A KRAS

*Kateřina Laštůvková<sup>1</sup>, Jiří Nečas<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Muzeum regionu Boskovicka, Hradní 642/1, 68001 Boskovice, e-mail: lastuvkova@muzeum-boskovicka.cz

<sup>2</sup> Česká geologická služba, Leitnerova 204/22, 602 00 Brno, e-mail: jiri.necas@geology.cz

### Abstrakt:

Muzeum regionu Boskovicka působí přibližně na území obce s rozšířenou působností Boskovice, kde je z krasových oblastí situován i Vratíkovský kras, který je též chráněnou přírodní rezervací. Ve srovnání s ostatními krasovými oblastmi v České republice zaujímá velice malou plochu, velikou přibližně 900 x 250 m, kde mocnost devonských vápenců je do 200 m, avšak i zde je pozorovatelná velká část krasových jevů. Z přírodovědného hlediska význam krasového území představuje biotop rostlin a živočichů vázaných na vápencové horniny a krasové jevy, které jsou využívány jako zimoviště, či nory. Kromě toho bylo přilehlé území historicky využíváno pro těžbu surovin, kde kromě četných povrchových pinek snadno zaměnitelných za závrtvy, jsou pod jižní částí krasové oblasti také stará důlní díla ve formě štol na těžbu železných rud. Ačkoliv je tento ostrůvek vápenců jediným krasovým územím v regionu Boskovického muzea, tak jeho potenciál není zcela vyčerpán, jak po stránce širší propagace, tak i díky absenci vědecko-výzkumných prací tohoto rajonu.

**Klíčová slova:** muzeum, Boskovicko, Vratíkov, historie, výzkum

### SEZNAM LITERATURY:

BALÁK I., 2009: Vratíkovský kras, s. 390-392. In: Hromas J. (ed.) et al.: Jeskyně. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. Chráněná území ČR, sv. 14., 608 str.

## PALYNOLOGICKÁ STUDIA SEDIMENTŮ JESKYNĚ ZA HÁJOVNOU

Bc. Anna Burianová<sup>1</sup>, doc. RNDr. Nela Doláková, CSc.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, 520916@mail.muni.cz

<sup>2</sup> Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, 891@mail.muni.cz

### Abstrakt:

Cílem palynologického studia bylo rozšířit soubor již dříve získaných palynologických dat z výzkumů mezi lety 2001-2016 (Doláková, 2005, 2014, Musil, 2005).

V roce 2024 byly v „Narozeninové chodbě“ jeskyně Za Hájovnou odebrány nové vzorky (Burianová, 2024). Nově objevená palynospektra se vesměs shodovala s palynospektry z dřívějších výzkumů. Pylová spektra zahrnovala taxony vázané na teplé a vlhké klima jako např. *Tilia* a méně často *Quercus*, *Carpinus*. Nálezy pylových zrn rodu *Ilex* a *Juglans/Celtis*, které se na našem území naposledy vyskytovaly v holsteinském interglaciálu, potvrdily minimální stáří sedimentů (cca 350 000 let). Úbytek teplomilnějších prvků směrem do nadloží pak svědčil o postupném ochlazení klimatu. V nejvyšších částech sedimentárního profilu, kde byly dříve odebírané vzorky palynologicky sterilní, se nově podařilo objevit poměrně hojné množství palynomorf monotónnější asociace odpovídající chladnějšímu klimatickému prostředí (*Corylus*, *Pinus sylvestris*, *Pinus cembra*, *Betula*, *Salix*).

Kromě paleobotaniky a paleoklimatologie má výzkum přínos také pro karsologii. Propast vyplněná zkoumanými sedimenty se ve spodní části dělila do dvou větví. Palynospektra horní části sedimentárního profilu v první ze dvou větví propasti se téměř shodovala s palynospektry ze spodní části druhé větve propasti. Pokud se tedy podle palynologických dat v obou případech jedná o sediment stejného stáří, lze tyto informace využít pro výzkum posloupnosti ukládání sedimentů v dané části jeskyně, a případně i k interpretaci geneze samotné krasové dutiny. Z relativní bohatosti pylových spekter lze rovněž uvažovat o existenci v současnosti zaneseného (dosud neobjeveného) komína, kudy se v minulosti mohly transportovat sedimenty a palynomorfy.

**Klíčová slova:** palynologie, paleobotanika, jeskynní sedimenty, vývoj klimatu

### SEZNAM LITERATURY:

BURIANOVÁ A., 2024: Palynologická studia ve vybraných sedimentech moravských krasových oblastí. – MS, bakalářská práce, Masarykova Univerzita. Brno.

DOLÁKOVÁ N., 2005: Palynologická studia v jeskyni „Za Hájovnou“, Javoříčský kras. – Přírodovědné studie Muzea Prostějovska, 8, str. 83-88.

DOLÁKOVÁ N., 2014: Palynological analysis of sediments from the Za Hájovnou cave, Javoříčko Karst. – Acta Musei Nationalis Pragae, Series B – Historia Naturalis, 70, str. 1-2.

MUSIL R., 2005: Jeskyně „Za Hájovnou“, výjimečná lokalita v Javoříčském krasu. – Přírodovědné studie Muzea Prostějovska, 8, str. 9-42.

## AKTUÁLNÍ CHEMICKÝ STAV VODY KRASOVÉHO KOLEKTORU MORAVSKÉHO KRASU

Roman Novotný<sup>1</sup>, Eva Kryštofová<sup>1</sup>, Vít Baldík<sup>1</sup>, Veronika Kršková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Česká geologická služba, Jircháře 4a, 602 00 Brno, e-mail: roman.novotny@geology.cz

### Abstrakt:

V rámci Centra kompetence TAČR SS02030023 „Horninové prostředí a suroviny – Voda v krasových oblastech“ probíhají od roku 2020 odběry podzemních i povrchových za účelem posouzení jejich celkového chemického složení a zejména zhodnocení aktuální kontaminace. Vzorkovány byly všechny složky oběhu vody v krasovém kolektoru, tzn. podzemní toky a přítoky, skapové vody a krasové prameny a vyvěračky. V rozsáhlých jeskynních systémech byly zhodnoceny postupné změny chemického složení vody při průstupu krasovým kolektorem. Ze základních makrosložek byly jako potenciální kontaminanty vyhodnoceny zejména obsahy dusičnanů, síranů a chloridů. Z dalších složek byly na vybraných lokalitách sledovány koncentrace stopových prvků a pesticidních látek. Vývoj koncentrací vybraných kontaminantů podzemních vod v čase byl posouzen vyhodnocením dlouhodobého monitoringu pramenů a vrtů v rámci státní pozorovací sítě ČHMÚ. Dosavadní výsledky naznačují dominantní negativní ovlivnění kvality vody intenzivní zemědělskou výrobou, převážně plošnou aplikací hnojiv a prostředků na ochranu rostlin (pesticidů). Chemický stav vody je zhoršen zejména zvýšenými obsahy dusičnanů a pesticidních látek, často vysoko přes limity platné legislativy.

**Klíčová slova:** voda v jeskyních, skapová voda, vyvěračky, kontaminace, pesticidy

## HARBEŠŠKÁ PLOŠINA JAKO KOLEKTOR CO<sub>2</sub>: DŮKAZ PRÍTOMNOSTI PLYNEM OBOHACENÉ PŮDNÍ VRSTVY

Vít Baldík<sup>1</sup>, Jiří Faimon<sup>1,2</sup>, Jiří Rez<sup>1</sup>, Roman Hadacz<sup>1</sup>, Roman Novotný<sup>1</sup>, Daniela Ocásková<sup>2</sup>, Martin Dostalík<sup>3</sup>

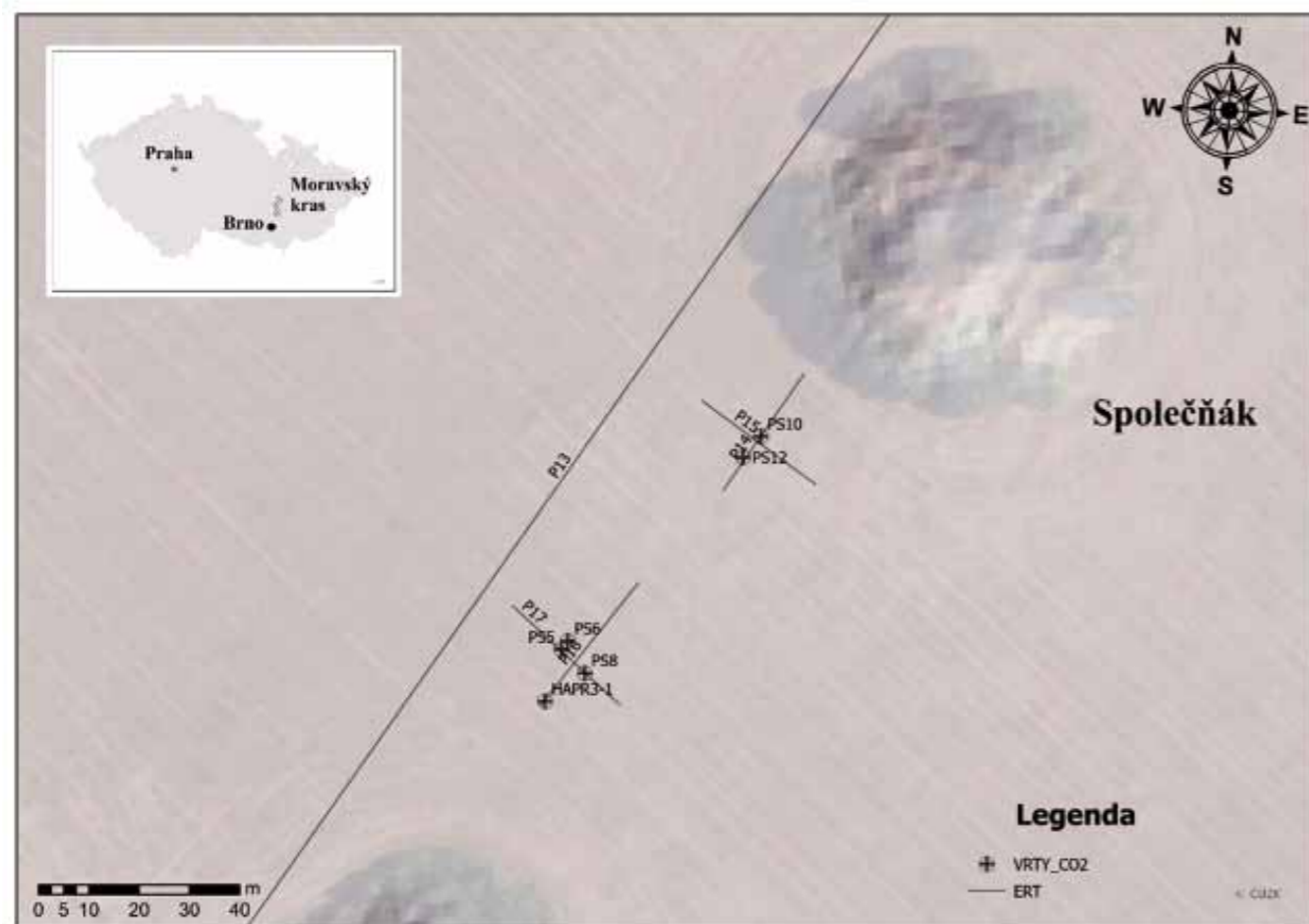
<sup>1</sup>Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno, e-mail: vit.baldik@geology.cz, jiri.rez@geology.cz, roman.hadacz@geology.cz, roman.novotny@geology.cz

<sup>2</sup>Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno e-mail: faimon@sci.muni.cz

<sup>3</sup>Česká geologická služba, Klárov 131/, 118 21 Praha 1, e-mail: martin.dostalik@geology.cz

### Abstrakt:

V krasových oblastech proniká dešťová voda do půdy a vyplavuje rozloženou organickou hmotu (SOM) směrem k rozhraní půdy a horniny. Intenzivní zemědělské činnosti, jako je orba a hnojení, tento proces posilují. Organická hmota se hromadí v oblasti rozhraní, která působí jako přirozená hydrologická bariéra. Následná mikrobiální degradace SOM vede k produkci CO<sub>2</sub>, jeho kumulaci a vzniku plynem obohacené půdní vrstvy (GRSL). V roce 2022 bylo provedeno na Harbešské plošině pět profilů ERT – víceelektrodová elektrická odporová tomografie (Meng Hin, 1999) byla použita ke zjištění mocnosti sedimentární pokrývky a k určení charakteru povrchu vápencového podkladu (obr. 1). Ve stejném období byly provrtány půdní vrstvy pomocí perkusní vrtné soupravy s gouge sondami (délka 1 m, průměr 40 a 75 mm) a připojením RD-32 (Royal Eijkelpamp). Hloubka vrtů sahala přibližně 3 m (až na vápencový podklad). V roce 2023 byly provedeny další vrty kromě původních sond na Harbešské plošině byly v rámci rozšíření terénních prací provedeny doplňkové vrty na dalších krasových plošinách Moravského krasu, konkrétně na Rudické plošině, Ostrovské plošině a Babické plošině. Pro porovnání



Obr. 1: Situace s profily ERT a vrty v Moravském krasu na Harbešské plošině

s nekrasovým prostředím byly dále realizovány vrty v okolí obcí Krasová (v geologickém prostředí kulmských břidlic) a Vavřinec (v jednotce brněnského krystalinika). Tyto lokality slouží jako referenční body pro posouzení vlivu geologického podloží na koncentrace CO<sub>2</sub> v půdním vzduchu. V období roku 2022 až do roku 2025 byly sondy analyzovány pomocí ručního plynového analyzátoru CO<sub>2</sub> nedisperzního infračerveného senzoru. Cílem této studie bylo potvrdit existenci GRSL v krasových agroekosystémech a vyhodnotit vliv této vrstvy na dynamiku CO<sub>2</sub> v půdě a skapových vodách jeskyní. Ve studované oblasti (Harbešská plošina, Moravský kras) byly pomocí vrtů, elektrické odporové tomografie (ERT), plynové chromatografie, izotopových analýz a mineralogických studií analyzovány půdní profily a jejich chemicko fyzikální vlastnosti.

**Klíčová slova:** krasové půdy; koloběh uhlíku; plynem obohacená půdní vrstva; dynamika CO<sub>2</sub>; transport SOM; izotopy δ<sup>13</sup>C; vliv zemědělské orby

### SEZNAM LITERATURY:

- BALDOCCHI DENNIS J., MA SONGNIAN, 2013: Je výměna CO<sub>2</sub> mezi povrchem půdy a atmosférou ovlivněna typem vegetace, klimatickými podmínkami nebo využíváním půdy? – *Global Change Biology*, 19, str. 1705–1720.
- FAIMON JIŘÍ, LANG MILAN, GODISSART JEAN, 2016: Parciální tlak CO<sub>2</sub> v jeskynních vodách a jeho vztah k tvorbě speleotém. – *Chemical Geology*, 443, str. 24–37.
- FAIMON JIŘÍ ET AL., 2012: Chemismus skapových vod a jeho význam pro interpretaci paleoklimatických signálů. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 92, str. 257–274.
- BALDÍK VÍT ET AL., 2014: Režim skapových vod v Harbešské jeskyni (Moravský kras). – *Environmental Earth Sciences*, 72, str. 2167–2181.
- FAIMON JIŘÍ ET AL., 2016: Měření půdního CO<sub>2</sub> v Moravském krasu a jeho hydrogeologické důsledky. – *Geoderma*, 283, str. 1–12.
- ZEMAN ANTONÍN, 1987: Moravský kras – geologický přehled. – Ms. Česká geologická služba, Praha. 68 s.
- LOKE MENG HIN, 1999: Elektrická odporová tomografie (ERT) v geologickém mapování a výzkumu. – *Geophysical Prospecting*, 47, str. 131–152.

Sponzoři konference:



# SBORNÍK KONFERENCE KRAS, JESKYNĚ A LIDÉ

**Svatý Jan pod Skalou, 7. - 8. 11. 2025**

Editor: RNDr. Luboš Stárka

Koncepce obálky: Petr Zajíček

Foto na obálce: Květa Černohlávková

Grafická úprava a DTP příprava: Milan Hladký-Stein

Vydala: Správa jeskyní České republiky,

Květnové náměstí 3, 252 43 Průhonice

v edici ACTA SPELEOLOGICA,

svazek 12/2025

1. vydání – Průhonice, prosinec 2025

Tisk: Machart s.r.o. – grafické studio a nakladatelství,

Lidická 669, 266 01 Beroun

ISBN: 978-80-87309-61-2

ISSN: 1804-3313