



SPRÁVA JESKYNÍ ČESKÉ REPUBLIKY



Ve dnech 23. – 24. září 2022 uspořádala Česká geologická služba ve spolupráci s Českou speleologickou společností, Správou jeskyní ČR a AOPK – CHKO Moravský kras 1. ročník vědecké konference k problematice udržitelného rozvoje v krasových oblastech „Kras, jeskyně a lidé“. Akce proběhla pod záštitou Union Internationale de Spéléologie, a za podpory Ministerstva životního prostředí, v Českovídě u Blanska. Svoje výsledky prezentovali na 18 přednáškách ve čtyřech tematických blocích (Kras a voda, Kras a jeskyně, Kras a ochrana přírody, Kras a lidé) specialisté z různých vědeckých institucí. Svoje příspěvky prezentovali zástupci České geologické služby, CHKO Moravský kras, Správy jeskyní ČR, České speleologické společnosti, International Union of Speleology, Moravského zemského muzea, Domu přírody Moravského krasu, Vysokého učení technického v Brně, PřF MU, AVČR a členové místních samospráv. Z jejich příspěvků je sestaven tento sborník.

ISBN 978-80-87309-52-0



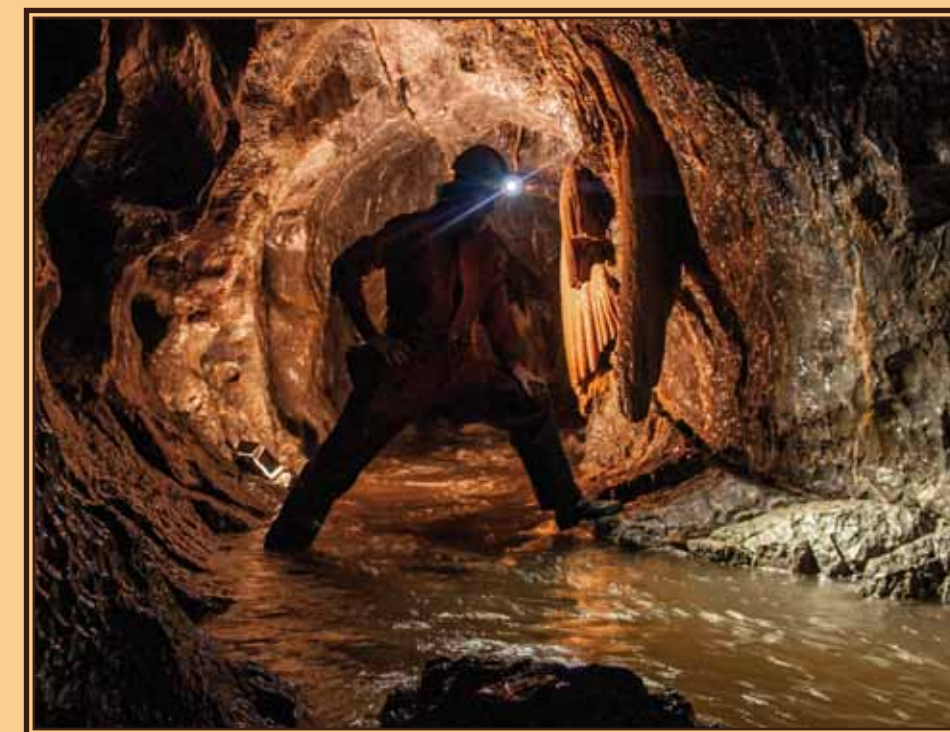
SBORNÍK REFERÁTŮ 1. ROČNÍKU KONFERENCE KRAS, JESKYNĚ A LIDÉ



ACTA SPELEOLOGICA 11/2022

VOL. 11/2022
ISBN 978-80-87309-52-0
ISSN 1804-3313

ACTA SPELEOLOGICA



SBORNÍK REFERÁTŮ 1. ROČNÍKU KONFERENCE KRAS, JESKYNĚ A LIDÉ

EDITOR:
VÍT BALDÍK

ACTA SPELEOLOGICA
VOL. 11/2022

Sborník referátů 1. ročníku konference Kras, jeskyně a lidé

KRAS A VODA

23. - 24.9.2022, Českovice, ČR

VODA
ČLOVĚK
OCHRANA
PŘÍRODA
JESKYNĚ



Ministerstvo životního prostředí



© 2022, Správa jeskyní České republiky.

ISBN 978-80-87309-52-0
ISSN 1804-3313

SBORNÍK REFERÁTŮ 1. ROČNÍKU KONFERENCE KRAS, JESKYNE A LIDÉ

EDITOR VÍT BALDÍK

SPRÁVA JESKYNÍ ČESKÉ REPUBLIKY
2022



OBSAH

MEZINÁRODNÍ ROK JESKYNÍ A KRASU V ROCE 2022	6
Zdeněk Motyčka	
PŮVOD VODY VE VYBRANÝCH KRASOVÝCH OBLASTECH	7
Eva Kryštofová, Roman Novotný, Jitka Novotná, Vít Baldík, Jiří Rez, Roman Hadacz, Jan Sedláček, Jana Janderková	
KONDENZACE VODY V JESKYNNÍM PROSTŘEDÍ: PŘÍPADOVÁ STUDIE Z AMATÉRSKÉ JESKYNĚ (MORAVSKÝ KRAS)	11
Marek Lang, Jiří Faimon, Pavel Pracný, Veronika Synková, Zdeněk Roubal, Zoltán Szabó, Radim Kadlec	
MONITORING VLASTNOSTÍ SKAPOVÝCH VOD V SOUVISLOSTI S MIKROKLIMATEM V AMATÉRSKÉ JESKYNI	15
Zdeněk Roubal, Zoltán Szabó, Radim Kadlec, Pavel Pracný, Marek Lang, Jiří Faimon, Veronika Synková	
HYDROLOGIE PUNKVY - MALÁ REKAPITULACE SOUČASNÉHO VÝZKUMU	17
Stanislav Lejska, František Kuda, Karel Kněžinec	
ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD V CHKO MORAVSKÝ KRAS	23
Marie Kotyzová	
CESTA VODY PODZEMÍM ČERNÉ HORY	26
Roman Hadacz, Vít Baldík, Jiří Otava, Pavel Čáp, Filip Chalupka, Jiří Žák	
METODY SOUČASNÉHO SPELEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU	32
Jan Lenart	
SPELEOPOTÁPĚNÍ V SEVERNÍ ČÁSTI MORAVSKÉHO KRASU	34
Jan Sirotek	
ROLE TEKTONIKY PŘI TVORBĚ JESKYNÍ A MIGRACI VODY	42
Jiří Rez, Vít Baldík	
ZVÝŠENÉ KONCENTRACE CO ₂ NA HARBEŠSKÉ PLOŠINĚ	45
Jiří Faimon, Vít Baldík, Jiří Rez, Roman Hadacz, Martin Dostalík, František Kuda	
VARIACE V HYDROCHEMICKÝCH VLASTNOSTECH PRŮSAKOVÝCH VOD V AMATÉRSKÉ JESKYNI	49
Pavel Pracný, Marek Lang, Jiří Faimon, Veronika Synková, Zdeněk Roubal, Zoltán Szabó, Radim Kadlec	
KRÁTKOPERIODICKÉ KLIMATICKÉ CYKLY V KOLOBĚHU VODY	52
Pavel Kalenda, Miloslav Šír	
SOUČASNÁ LAMPENFLORA – MECHY VE VYBRANÝCH JESKYNÍCH MORAVSKÉHO KRASU	55
Svatava Kubešová	
MONITORING PŮDNÍ BIOTY NA NOVĚ ZATRAVŇOVANÝCH PLOCHÁCH V CHKO MORAVSKÝ KRAS	56
Karel Tajovský, Miloslav Devetter, Veronika Jílková, Václav Pižl, Josef Starý, Jiří Tůma, Michala Tůmová	
KVALITA PODZEMNÍCH VOD V CHRÁNĚNÝCH ÚZEMÍCH ČR. JSME NA TOM ŠPATNĚ???	59
Filip Chalupka	
ŽELEZNÝ KRAS	63
Ondřej Merta	
VODA V KRASOVÝCH OBLASTECH – ANTROPOGENNÍ RIZIKA A NOVÉ VYMEZENÍ INFILTRAČNÍCH ZÁZEMÍ	67
Roman Novotný, Jitka Novotná, Eva Kryštofová, Vít Baldík, Jana Janderková, Pavel Müller, Jan Sedláček, Jiří Faimon, Jiří Rez	

Foto na protější straně:

Vývěrová stěna jeskyně Jame v kaňonu Mrtvice, Černá Hora

MEZINÁRODNÍ ROK JESKYNÍ A KRASU V ROCE 2022

Zdeněk Motyčka

International Union of Speleology, Titov Trg 1, Postojna, Slovenia, z.motycka@mediform.cz

Rok 2021 byl Mezinárodní speleologickou unií – UIS, vyhlášen jako Mezinárodní rok jeskyní a krasu (IYCK). Jeho hlavním cílem bylo v globálním měřítku upozornit na specifickou charakteristiku krasových území a jejich extrémní zranitelnost vůči antropogenním vlivům. Aktivita v rámci IYCK však byly významně ovlivněny celosvětovou pandemií COVID 19, proto Byro Mezinárodní speleologické unie rozhodlo o prodloužení této iniciativy také na rok 2022. Hlavní výrazové prvky kampaně IYCK zůstaly zachovány, a tak i v roce 2022 bylo (a stále ještě je) možné využívat logo IYCK a rovněž motto „Prozkoumej, poznej a chraň“, které vystihuje snahu o logické uspořádání našeho přístupu k hodnotám, které kras a jeskyně představují.

Řada akcí, které byly původně plánovány na rok 2021 a které se neuskutečnily např. v on-line podobě, mohly být přesunuty o rok později. K nim navíc přibýly stovky dalších, již řádně plánovaných na rok 2022, které tím pádem, mohly být propagací myšlenky Mezinárodního roku rovněž věnovány. V roce 2022 se navíc k iniciativě Mezinárodního roku jeskyní a krasu připojila řada dalších organizací, čímž ke konci srpna 2022, dosáhl celkový počet partnerů čísla 263. Jedná se o vědecké, kulturní i společenské instituce z 51 zemí, včetně 23 mezinárodních. Ke stejnému datu se celosvětově uskutečnilo 715 akcí, což představuje více než jednu akci denně. Nejdůležitějším setkáním a pomyslným vrcholem IYCK byl 18. Mezinárodní speleologický kongres, který se uskutečnil poslední týden v červenci v Savojských Alpách ve Francii a kterého se zúčastnilo téměř 1 300 osob.

Naprosto stěžejním počinem realizovaným v rámci IYCK je vydání druhého, revidovaného a doplněného vydání „Guidelines for Cave and Karst Protection“, který vydala Mezinárodní speleologická unie – UIS, společně s Mezinárodní Unií pro Ochranu přírody – IUCN. Jak vyplývá z názvu, jedná se o soubor doporučení jak postupovat při ochraně jeskyní a krasu v kontextu udržitelného rozvoje a s ohledem na různé, místně - specifické podmínky. Tento obsáhlý materiál navazuje na první vydání z roku 1997, avšak s ohledem na současnou úroveň poznání, značně rozšiřuje okruh témat, která je zapotřebí brát při ochraně jeskyní a krasu v úvahu.

Ačkoliv do konce roku 2022 ještě nějaký čas zbývá, již nyní můžeme konstatovat, že Mezinárodní rok jeskyní a krasu byl iniciativou nejen smysluplnou, ale i úspěšnou. Nezbývá než se společnými silami přičinit, aby se naplnil i poslední z cílů IYCK, tedy zajištění kontinuity, a to jednak na poli osvěty, tak i v rozvíjení spolupráce mezi zainteresovanými subjekty po skončení Mezinárodního roku jeskyní a krasu.

Původ vody ve vybraných krasových oblastech

Eva Kryštofová¹, Roman Novotný¹, Jitka Novotná¹, Vít Baldík¹, Jiří Rez¹, Roman Hadacz¹, Jan Sedláček¹, Jana Janderková¹

¹ Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno, e-mail (korespondenční autor): eva.krystofova@geology.cz

Abstrakt: Pokračující studium vybraných krasových oblastí prokázalo, že objemy vody vázané na krasové kolektory nemohou vznikat pouze infiltrací srážek nebo dotací vodou z ponorných toků. Poměrně stabilní množství podzemní vody i za velmi nízkých, případně nulových průtoků na ponorných tocích potvrzuje existenci přítoků podzemní vody přes geologickou hranici z okolních nekrasových hornin, které tvoří infiltrační (dotační) zázemí.

Klíčová slova: krasové kolektory, infiltrační zázemí, dotace vody

1. Úvod

Krasové hydrogeologické struktury je možné rozdělit na dva hlavní typy z hlediska dotace a oběhu vody (Kullman, 1990):

i. Uzavřené krasové struktury jsou po obvodu i v podloží ohraničeny hydrogeologickým izolátorem, který neumožňuje přestup podzemní vody přes geologickou hranici. K doplňování vody do krasových kolektorů dochází výhradně infiltrací srážek a ponory vodních toků, k odvodnění vyvěračkami a prameny.

ii. Otevřené krasové struktury komunikují přes geologickou hranici s okolními hydrogeologickými celky, z nichž dochází k přítokům podzemní vody nebo jsou do nich naopak drénovány. Mohou být otevřené ze strany přítoku, ze strany odtoku a ze strany přítoku i odtoku zároveň (tzv. průtočné, také transiitní otevřené krasové hydrogeologické struktury).

Vstupy vody do krasového kolektoru prostřednictvím ponorných toků a infiltrovaných srážek je možné evidovat a kvantifikovat a uzavřené krasové struktury lze proto poměrně snadno bilancovat z hlediska množství vody. Naopak množství vody, které do krasových struktur vstupuje skrytě pod povrchem přes geologickou hranici, je jen obtížně postižitelné a podobně problematické je vymezení dosahu infiltračního zázemí.

2. Vstupy vody do vybraných krasových oblastí

Otázka původu vody je v současné době Českou geologickou službou řešena ve čtyřech krasových oblastech – Moravském, Chýnovském, Mladečsko-Javoříčském a Hranickém krasu. Ve všech případech se jedná o otevřené transiitní krasové hydrogeologické struktury, které komunikují s okolními hydrogeologickými celky jak na straně vstupu, tak na straně drenáže vody. To znamená, že podobně jako neznámé množství podzemní vody do krasových kolektorů přitéká přes geologickou hranici, neznámé množství také skrytě odtéká a dotuje sousední hydrogeologické struktury.

2.1 Moravský kras

Hydrogeologická struktura vázaná na vápence Moravského krasu je dotována vodou všemi třemi výše zmíněnými způsoby – povrchovou vodou ponorných toků, infiltrací srážek a přetoky podzemní vody přes geologickou hranici. Dosah infiltračního zázemí lze vymezit celými hydrologickými povodími ponorných toků, která zejména na S a V zasahují hluboko do oblasti rozšíření hornin drahanského kulmu (povodí Bílé vody, Luhy, Říčky). Přitoky podzemní vody zpoza hydrologických rozvodnic vymezujících tato povodí lze považovat za nevýznamné. Ačkoli lze předpokládat oscilace hydrogeologické rozvodnice v závislosti na úrovni hladin podzemní vody, byl pro účely vymezení infiltračního zázemí Moravského krasu přijat předpoklad shody hydrologické a hydrogeologické rozvodnice. Takto vymezená plocha pokryje množství vody ve vývěrových oblastech i skrytě dotující neogenní sedimenty v karpatské předhlubni.

2.2 Chýnovský kras

Poněkud odlišná je situace v oblasti Chýnovského krasu, kde v podstatě neexistují ponory povrchových toků a přímá infiltrace srážek vzhledem k malému plošnému rozšíření krystalických vápenců zajišťuje pouze asi 10 % celkové dotace (Bruthans, 2006). Naprostá většina vody je do hydrogeologické struktury

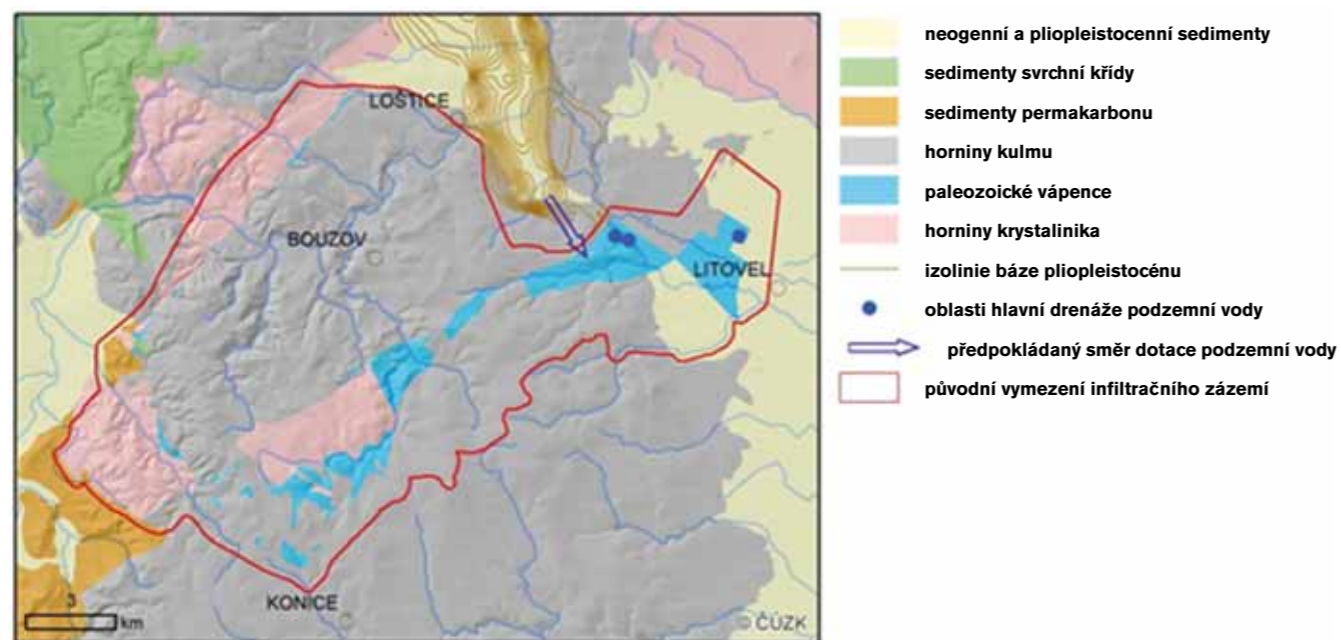
Chýnovského krasu doplňována skrytými přetoky podzemní vody přes geologickou hranici, vzhledem k úklonu polohy krystalických vápenců zejména ze S až SSV. Dosah infiltračního zázemí je ovlivněn předpokládaným nesouhlasem mezi hydrologickou (orografickou) a hydrogeologickou rozvodnicí (podzemní vody). Četné tektonické linie, kterými je oblast postižena mohou převádět podzemní vody i ze sousedních povodí. Dosah infiltrační oblasti tedy pravděpodobně překračuje nejbližší hydrologické rozvodnice IV. řádu a zasahuje několik kilometrů do oblasti metamorfít moldanubika.

2.3 Mladečsko-Javoříčský kras

Mladečsko-Javoříčský kras je tvořen nesouvislými výskyty paleozoických vápenců na povrchu. Geometrie tělesa vápenců v podzemí není zcela známa. Do oblasti vstupuje několik ponorných toků (Špraněk, Javoříčka, Rachava, Hradečka, Ponikevský a Kovářovský potok), které jsou vesměs málo vodné a v delších bezsrážkových obdobích některé z nich zcela vysychají. Přímá infiltrace srážkových vod do vápenců je limitována jejich nevelkým plošným rozšířením na povrchu.

K hlavní drenáži paleozoických vápenců Mladečsko-Javoříčského krasu dochází při jejich sv. zakončení v nivě řeky Moravy přirozenými vývěry v Řimických vyvěračkách (první desítky l/s), vodárenskými odběry v jímacím území Litovel-Čerlinka (až 250 l/s) a neznámé množství podzemní vody je drénováno skrytě do kvartérních fluviálních sedimentů v prostoru lužních lesů CHKO Litovelské Pomoraví. Kvalita podzemní vody ve vývěrové oblasti je velmi dobrá, obsahuje nízké koncentrace dusičnanů a pouze minimální množství pesticidních látek v podlimitních koncentracích (Kryštofová *et al.*, 2021).

Původně navržené infiltrační zázemí zahrnovalo horniny kulmu a v menší míře krystalinika Zábřežské vrchoviny (obr. 1). Rozloha a charakter takto vymezeného infiltračního zázemí však nemůže pokrýt množství podzemní vody v drenážní oblasti. Stablní a vysoké množství podzemní vody, a její dobrá a víceméně konstantní kvalita naznačují dotaci vody z hydrogeologické struktury s významným zvodněním, hlubším oběhem a velkou retencí.



Obr. 1. Geologické a hydrogeologické schéma Mladečsko-Javoříčského krasu

Současná hypotéza pracuje s možností dotace podzemní vody z pánevní hydrogeologické struktury Mohelnické brázdy. Mohelnická brázda je kaňonovitá struktura směru S-J s maximální mocností výplně 300 m ve složení písků, štěrku a jílu, která je víceméně v celém rozsahu zvodněná. Izolinie podloží výplně jižní části Mohelnické brázdy znázorňuje obr. 1, ze kterého je rovněž zřejmé, že její osa probíhá mimo současnou nivu řeky Moravy. V oblasti j. uzávěru Mohelnické brázdy dochází k jejímu výraznému změlnění v prostoru tzv. třesínské prahu, kde jsou vyzdviženy kry paleozoických hornin. Část podzemní vody proudící Mohelnickou brázdou k jihu je paleozoickými horninami, zejména zkrasovělými vápenci, převáděna do výše popsané vývěrové oblasti. Tomu odpovídá i shodný základní chemický typ Ca-HCO_3 a obdobná výše celkové mineralizace podzemní vody v kolektorech Mohelnické brázdy a ve vývěrové oblasti Mladečsko-Javoříčského krasu. Rovněž provedená izotopová stanovení (Bruthans – Kryštofová *eds.*, 2016;

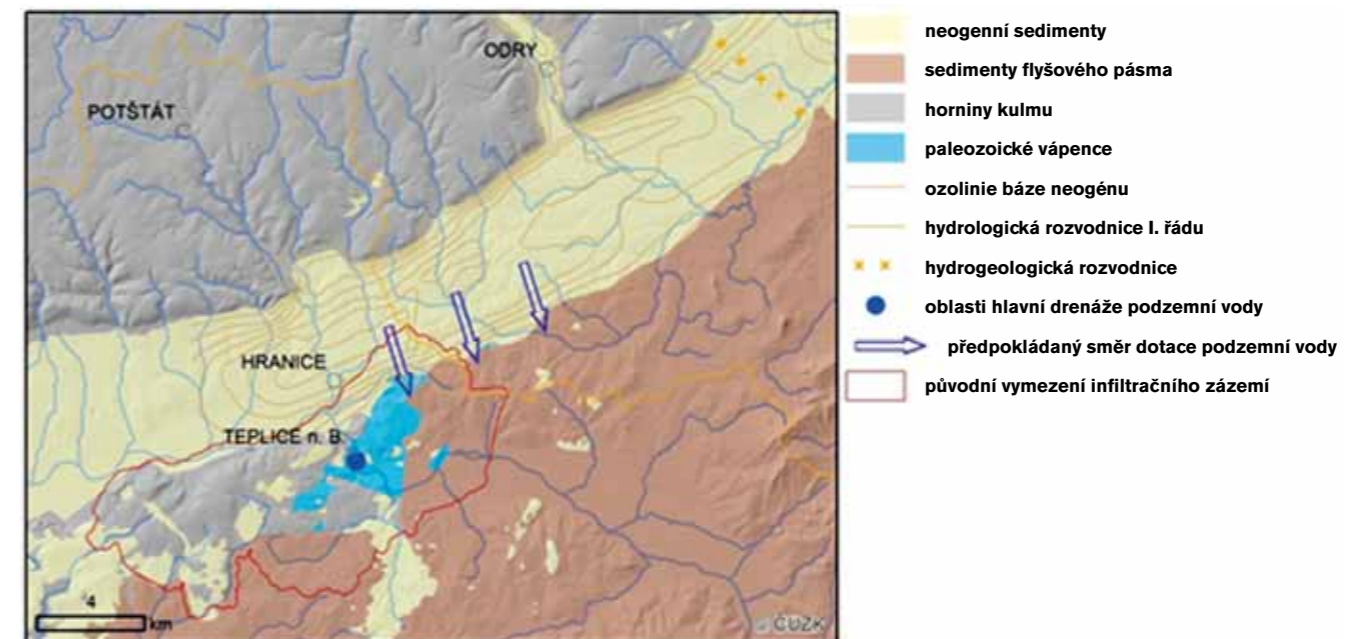
Kryštofová – Burda *eds.*, 2016) potvrdila blízké doby zdržení podzemní vody v řádech vyšších desítek let v obou zmíněných hydrogeologických strukturách.

Nově navržená hypotéza není v rozporu se závěry Panoše (1962) formulovanými na základě výsledků stopovacích zkoušek. Ponorné toky z oblasti Javoříčka zejména za vysokých vodních stavů přímo komunikují s vývěrovou oblastí Řimických vyvěraček a JÚ Litovel-Čerlinka, avšak samy o sobě nemohou generovat dostatečné množství vody s odpovídající kvalitou.

2.4 Hranický kras

Vymezení infiltračního zázemí Hranického krasu, který tvoří provázaný systém Hranická propast – vývěry minerálních vod v Teplicích nad Bečvou – Zbrašovské aragonitové jeskyně, je mimořádně problematické. V oblasti nejsou známy ponorné toky, plocha vápenců na povrchu je velmi malá a neumožňuje významnější infiltraci. Chemismus minerální vody ve vývěrové oblasti je konstantní. Teplota kolem 22,5 °C dokládá hloubku oběhu vody cca 700 m. Přínos CO_2 je vázán na hlubinné zlomy.

Starší teorie o infiltraci srážkových vod na ploše paleozoických vápenců, jejich sestupu do hloubek a opětovnému výstupu na velmi malou vzdálenost, lze zamítnout jako nerealistické. Nověji vymezené infiltrační zázemí v oblasti paleozoických hornin kry Maleníku (Novotná, 2017) zřejmě neposkytne dostatečné množství vody a uspokojivě nevyřeší otázku hlubokého oběhu. Studie Bruthans *et al.* (2021) rozšířila infiltrační zázemí na základě izotopových stanovení do oblasti kulmských hornin Oderských vrchu s transitní cestou pod sedimentární výplní karpatské předhlubně.



Obr. 2. Geologické a hydrogeologické schéma Hranického krasu

Nově rozpracovaná a testovaná hypotéza rozšířila možnost dotace podzemní vody do Hranického krasu až za vyústění Oderské kotliny do vlastní Oderské brány (obr. 2). Z obr. 2 je patrný výrazný nesouhlas mezi hydrologickou a hydrogeologickou rozvodnicí, která byla na základě izoliniového modelu podloží s. části karpatské předhlubně (Konečný – Burda *eds.*, 2016) situována dále k SV. V praxi to znamená, že ačkoli povrchové vody z oblasti Oderské kotliny již tečou k SV do povodí Odry, podzemní vody naopak tečou k JZ směrem k Hranicím. Zůstává tak zachována koncepce infiltrace srážek v prostoru Oderských vrchů, avšak na podstatně větší ploše. Klastické sedimenty ve výplni Oderské kotliny a Oderské brány sloužící jako transitní cesta podzemní vody zasahují do značných hloubek a umožní přestup vody do krasových kolektorů paleozoických vápenců.

3. Závěr

Ze studia možností dotace vody do krasových hydrogeologických struktur vyplývá, že infiltrační oblasti mohou být i velmi vzdálené a k dotaci do krasového kolektoru dochází zprostředkovaně přes další, nejčastěji pánevní,

hydrogeologické struktury. Skryté podzemní přítoky do krasového kolektoru ztěžují, až znemožňují bilanci množství vody a vzdálená a ne vždy zcela jasná infiltrační zázemí komplikují identifikaci případných zdrojů kontaminace a dalšího antropogenního ovlivnění.

Poděkování:

Projekt č. „SS02020023 Horninové prostředí a suroviny“ je spolufinancován se státní podporou TAČR v rámci Programu Prostředí pro život.

SEZNAM LITERATURY:

- BRUTHANS, J. (2006): Využití přirozených stopovačů (^{18}O ; ^3H ; freony; SF_6) a dalších metod pro zhodnocení doby zdržení vod a charakteru proudění v krasových oblastech ČR. – Disertační práce PŘF UK. Praha.
- BRUTHANS, J. – VYSOKÁ, H. – GRUNDLOCH, J. (2021): Přirozená vydatnost termálních vod v Teplicích nad Bečvou, jejich hydraulický vztah s řekou Bečvou a diskuse lokalizace infiltrační oblasti. – Zprávy o geologických výzkumech 54, 2021, str. 13–21. Česká geologická služba. Praha.
- BRUTHANS, J. – KRYŠTOFOVÁ, E. eds. (2016): Rebilance zásob podzemních vod. Hydrogeologický rajon 6640 – Mladečský kras. Závěrečná zpráva. – Česká geologická služba. Praha.
- KONEČNÝ, F. – BURDA, J. eds. (2016): Rebilance zásob podzemních vod. Hydrogeologický rajon 2212 Oděská brána. Závěrečná zpráva. – Česká geologická služba. Praha.
- KRYŠTOFOVÁ, E. – BURDA, J. eds. (2016): Rebilance zásob podzemních vod. Hydrogeologický rajon 1610 Kvartér Horní Moravy. Závěrečná zpráva. – Česká geologická služba. Praha.
- KRYŠTOFOVÁ, E. – NOVOTNÁ, J. – BALDÍK, V. – SEDLÁČEK, J. (2021): Kvalita krasových vod a působení člověka. – Sborník referátů k Mezinárodnímu roku jeskyní a krasu. ACTA SPELEOLOGICA, 10/21, 28–31. Správa jeskyní ČR. Průhonice.
- KULLMAN, E. (1990): Krasovo-puklinové vody. – Geologický ústav Dionýza Štúra. Bratislava.
- NOVOTNÁ, J. (2017): Teplice nad Bečvou – lázně. Návrh revize ochranného pásma. – 27 s. MS GEOTest, a. s. Brno.
- PANOŠ, V. (1962): Výsledky koloračních experimentů a pozorování krasových vod v Severomoravském kraji – Sborník Vlastivědného muzea v Olomouci. Oddíl A: Přírodní vědy 5, 13–59. Krajské nakladatelství v Ostravě.

Kondenzace vody v jeskynním prostředí: případová studie z Amatérské jeskyně (Moravský kras)

Marek Lang¹, Jiří Faimon^{1,2}, Pavel Pracný¹, Veronika Synková¹, Zdeněk Roubal³, Zoltán Szabó³, Radim Kadlec³

¹Ústav geologických věd, PŘF MU, Kotlářská 267/2, Brno 611 37;

mareklang@mail.muni.cz; faimon@sci.muni.cz; pavelpracny@mail.muni.cz; vsynkova@mail.muni.cz

²Česká geologická služba, pobočka Brno, Leitnerova 22, Brno 658 69

³Ústav teoretické a experimentální elektrotechniky, FEKT, Technická 3082/12, Brno 616 00;

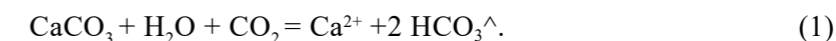
roubalz@feec.vutbr.cz; szabo@feec.vutbr.cz; kadlec@feec.vutbr.cz

Abstrakt: Koroze kalcitových speleotém zkondenzovanou vodou v krasových jeskyních je stále aktuální problém. Podmínky kondenzace vody (teploty vzduchu/stěn, rosení vápencových etalonů) byly dlouhodobě studovány v Amatérské jeskyni v místech „Pod štolou“ a „Dóm zemních pyramid“. Sezónní variabilita teplot vzduchu umožnila klasifikovat tato místa jako heterotermickou (Pod štolou, variační koeficient ~ 3,19 %) a homotermickou (Dóm zemních pyramid, variační koeficient ~ 0,43 %) zónu jeskyně. Rozdíly mezi teplotami vzduchu a stěny jeskyně -1,05 až 0,73 resp. -0,07 až 0,34 °C naznačily sezónnost kondenzace: kondenzace probíhá především v průběhu sestupného proudění vzduchu jeskyní během léta. V případě Dómu zemních pyramid tento fakt indikuje těsnou komunikaci prostoru jeskyně s externí atmosférou. Zvýšená kondenzace v létě byla prokázána i rosením etalonů na obou lokalitách.

Klíčová slova: etalon, kondenzace, proudění vzduchu, teplota stěny, teplota vzduchu

1. Úvod

Kondenzace vody na stěnách jeskyně představuje významný proces podílející se na tvorbě charakteristických speleogenetických tvarů. Kondenzující vodní pára z jeskynní atmosféry tvoří na stěnách vodní kapky/film, které jsou v rovnováze s aktuálním parciálním tlakem CO_2 v jeskynní atmosféře, ale nenasycené vůči karbonátům formujícím jeskynní stěny. Tato voda má potenciál rozpouštět minerály jeskynních stěn/speleotém podle rovnice



Proces rozpouštění je v této souvislosti označován jako kondenzační koroze (Ford a Williams, 2007). Voda kondenzuje na stěně jeskyně, pokud je její teplota, T_{js} , nižší než teplota rosného bodu, T_{rb} (teplota nasycení vzduchu při aktuální koncentraci vodních par). Hodnota T_{rb} je funkcí relativní vlhkosti jeskynní atmosféry, RH_{jv} (vyšší RH_{jv} vede k nárůstu hodnoty T_{rb}). Obecně je kondenzace/odpar vody podmíněn teplotním rozdílem

$$\Delta T_k = T_{rb} - T_{js} \quad (2)$$

Pozitivní hodnota ΔT_k podmiňuje kondenzaci vody, negativní hodnota vede k odparu stávající vody. Protože RH_{jv} je v jeskyni po celou sezónu blízka 100 %, lze vztah (2) nahradit vztahem

$$\Delta T_k = T_{jv} - T_{js} \quad (3)$$

kde T_{jv} je teplota jeskynního vzduchu. Aktuální teplotní distribuce uvnitř jeskyně (T_{jv}) je řízena prouděním vzduchu. Hnací síly proudění vzduchu reprezentují rozdíly v hustotách vzduchu. Hustota je funkcí více proměnných, z nichž dominantní vliv má teplota. Hnací síly proudění vzduchu lze proto zjednodušeně vyjádřit teplotním rozdílem (Faimon *et al.*, 2012)

$$\Delta T_{pv} = T_{ext} - T_{jv} \quad (4)$$

Podle geometrie jeskyně (počet vchodů v různých nadmořských výškách) rozlišujeme statické a dynamické jeskyně (Bögli, 1978). Dynamické jeskyně ventilují celou sezónu komínovým efektem a směr proudění závisí na ΔT_{pv} . V zimě je směr vzestupný a odpovídá UAF (upward airflow) módu, v létě je směr sestupný

a odpovídá DAF (downward airflow) módu (Faimon et al., 2012). Teplotní distribuce v jeskyni je dále ovlivňována antropogenními faktory (hromadné vstupy) nebo přírodními faktory (povodňové vlny). Hlavní cíl této práce spočíval ve zmapování podmínek kondenzace vody na základě dlouhodobého monitoringu v Amatérské jeskyni.

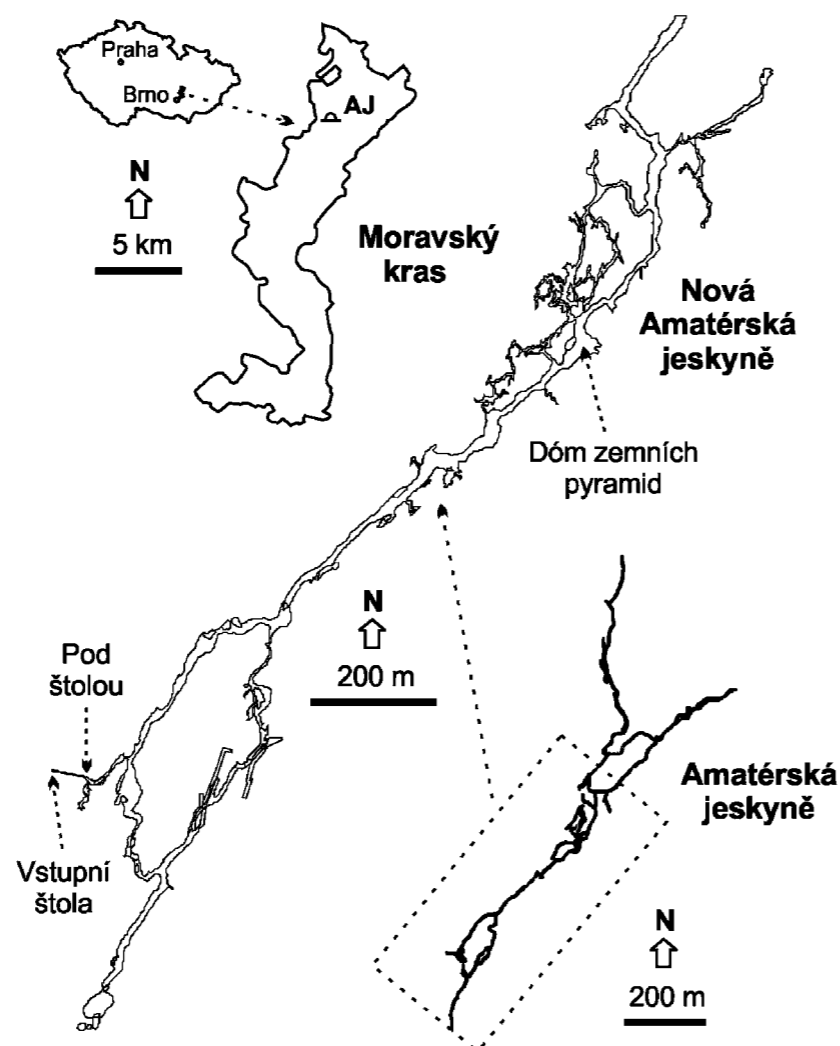
2. Metodika

2.1 Místo studia

Amatérská jeskyně v severní části Moravského krasu představuje nejrozsáhlejší jeskynní systém České republiky. Tento systém o celkové délce přes 40 km byl vytvořen ponornými toky Bílá voda a Sloupský potok. Půdorys jeskyně má podobu písmene Y, jehož ramena tvoří Starou Amatérskou jeskyni. Západní rameno je budováno Sloupským potokem a východní rameno tvoří Bílá voda. Obě ramena se spojují v Nové Amatérské jeskyni v oblasti Bludiště Milana Šlechty za vzniku řeky Punkvy. Vstup do Nové Amatérské jeskyně představuje uměle ražená štola v oblasti Koňského spádu Pustého žlebu uzavřená kovovými dveřmi a mříží. V místě jejího vyústění do Západní macošské větve se nachází Javorová chodba vedoucí přes Absolonův dóm a Bahnitá jezírka k aktivnímu řečišti Punkvy. Její konec představuje suťový zával přecházející do dómu Roztoka, kterým začíná Macošský koridor vedoucí do Rozlehlé chodby (největší chodba jeskyně). Z dómu Roztoka pak klesá k aktivnímu řečišti Punkvy Východní macošská větev (Hebelka et al., 2011). Morfologie a vchody v různých nadmořských výškách podporují dynamickou cirkulaci vzduchu v jeskyni. Pro monitoring proměnných byla vybrána místa „Pod štolou“ a „Dóm zemních pyramid“ (obr. 1).

2.2 Monitoring

Prezentovaná data byla naměřena v období od září 2020 do července 2022. Monitoring T_{jv} a T_{js} probíhal kontinuálně ve výšce 1 m nad podlahou jeskyně. T_{js} byly loggované na dvou pozicích: na stěně (čidlo přitisknuté ke stěně polystyrenovou izolací) a uvnitř stěny (čidlo vložené do vrtaného otvoru vyplněného tmelem). V této práci byly použity T_{js} měřené na stěně, chybějící data byla doplněna daty měřeními ve vrtaném otvoru. Teploty externí atmosféry, T_{ext} , byly získány z meteorostanice Správy jeskyní Moravského krasu situované 150 m od propasti Macocha. Jednotlivé proměnné byly monitorovány s časovým krokem 5–15 minut. K monitoringu teplot v jeskynním prostředí byly použity záznamové teploměry Termio-2 s externím čidlem PT1000 (přesnost 0,07 °C, rozsah –100 až 180 °C). Paralelně s teplotami bylo sledováno rosení vápencových etalonů umístěných v blízkosti teploměrů. Rosení bylo hodnoceno pomocí škály publikované Fajkošovou (2011) zahrnující 4 stupně: 0 (suchý etalon), 1 (lehce orosený etalon), 2 (etalon s kapkami) a 3 (mokrý etalon).



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

3. Výsledky a jejich diskuse

3.1 Teplotní distribuce v Amatérské jeskyni

Během monitoringu kolísaly hodnoty T_{ext} v širokém rozmezí od –14,10 °C (únor 2021) do 34,90 °C (červenec 2022). Naměřené hodnoty T_{jv} a T_{js} Pod štolou variovaly od 5,99 do 8,35 °C a od 6,48 do 7,34 °C. Trojnásobně vyšší rozsah hodnot T_{jv} oproti T_{js} ukázal rychlejší ohřev vzduchu ve srovnání se stěnou. Relativně široké rozsahy (2,36 a 0,86 °C) hodnot indikují vliv externích podmínek typický pro heterotermickou zónu jeskyně (Luetscher a Jeannin, 2004). Tento vliv potvrdila i korelační analýza středně silnými pozitivními hodnotami korelačního koeficientu 0,75 (T_{ext} vs. T_{jv}) a 0,65 (T_{ext} vs. T_{js}) statisticky významnými na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Avšak vliv externích podmínek směrem od vchodu klesá. Časové řady T_{jv} a T_{js} v Dómu zemních pyramid ukázaly odlišné trendy. Po úvodním nárůstu na maxima 8,02 °C (T_{jv}) a 7,74 °C (T_{js}) díky povodňové vlně došlo k poklesu na minima 7,47 °C (T_{jv}) a 7,52 °C (T_{js}). Úzké rozsahy naměřených hodnot 0,55 °C (T_{jv}) a 0,22 °C (T_{js}) prokázaly pozici místa v homotermické zóně jeskyně (Luetscher a Jeannin, 2004), což ukázala i korelační analýza slabými hodnotami korelačních koeficientů. Zatímco mezi T_{ext} a T_{jv} byl nalezen statisticky nevýznamný pozitivní korelační koeficient 0,30, korelace T_{ext} a T_{js} ukázala statisticky významný negativní korelační koeficient –0,42. Vedle nárůstu hodnot vlivem povodňové vlny v říjnu 2020 ukázala data T_{jv} i další lokální extrémy v srpnu 2021 a březnu 2022 indikující komunikaci s externí atmosférou např. pomocí komínu. Jeho vyústěním může být závrt Dolina překvapení v nadloží lokality (horní vchod jeskyně). Tato ventilační větev by hrála roli v DAF módu, kdy nasávaný externí vzduch ohřívá jeskynní atmosféru. Tento efekt je patrný na jaře 2022, kdy pokles T_{ext} na hodnoty srovnatelné s T_{jv} vedl k přepnutí módu ventilace a nárůstu T_{jv} .

3.2 Kondenzace vody v Amatérské jeskyni

Na základě naměřených hodnot T_{jv} a T_{js} byly pro obě monitorovaná místa počítány hodnoty teplotního rozdílu ΔT_k . Rozsah naměřených hodnot ΔT_k v místě Pod štolou od –1,12 °C do 0,73 °C ukázal sezónní střídání období kondenzace (kladné ΔT_k) a výparu (záporné ΔT_k). Zatímco proces kondenzace byl identifikován v jarních a letních měsících, proces výparu dominoval během zimního období. V Dómu zemních pyramid variovaly hodnoty ΔT_k v užším rozmezí od –0,09 do 0,37 °C, avšak i zde byla identifikována období kondenzace/výparu. Proces kondenzace byl registrován v letních a podzimních měsících 2021 a v dubnu 2022, jeho náznaky pak v období od října do prosince 2020 s výrazným nárůstem ΔT_k v říjnu v důsledku povodňové vlny. Proces výparu byl zaznamenán v zimním období 2021/2022 a jeho náznaky v lednu/únoru 2021. Uplatnění procesů kondenzace/výparu predikované na základě hodnot ΔT_k bylo srovnáno s mírou rosení vápencových etalonů umístěných v blízkosti teploměrů na monitorovaných místech. Proces kondenzace byl v období od jara do podzimu potvrzen rosením etalonů jak v místě Pod štolou (stupeň 1–2), tak v Dómu zemních pyramid (stupeň 3). Vyšší míra rosení etalonu v Dómu zemních pyramid může být důsledkem přínosu teplejšího vzduchu komínem z externí atmosféry. Proces výparu byl suchou plochou etalonu (stupeň 0) potvrzen pouze v druhém zimním období v místě Pod štolou. V ostatních zimních obdobích vykazovaly etalony určitou míru rosení (stupně 1–3). Důvodem „zimního“ rosení etalonů mohou být rozdílné tepelné kapacity etalonu a stěny a následná citlivost na krátkodobé (etalon) a sezónní (stěna) výkyvy teplot. V případě Dómu zemních pyramid může hrát roli i ventilace přinášející v UAF módu teplejší vzduch ze sousedních jeskynních pasáží směrem od vstupní štoly.

3.3 Důsledky kondenzace vody

Kapka vody má určitou kapacitu rozpouštění – povrch minerálu pod kapkou se rozpouští až do nasycení roztoku v kapce. Pro výraznější korozi je nezbytná „výměna kapky“ (nasycená voda v kapce odkápe a kondenzací vznikne nová kapka participující na dalším rozpouštění). Kromě přírodních vlivů (změna ventilace, povodňová vlna) může být zvýšená kondenzace spojena i s antropogenními vlivy (hromadné vstupy nebo antropogenně indukované zvýšené hladiny podzemních toků). Pokud není kondenzace výrazná, kapka na povrchu zůstane tak dlouho, dokud se nezmění podmínky a kapka se neodpaří. Přitom dojde ke krystalizaci nového kalcitu na povrchu. V tomto případě kondenzační koroze „pouze“ participuje na rekrystalizaci povrchu. Tento jev může být rizikem např. pro jeskynní malby (Sánchez-Moral et al., 1999).

4. Závěry

Výzkum byl zaměřen na studium podmínek kondenzace vody v heterotermické a homotermické zóně Amatérské jeskyně (Moravský kras) v období od září 2020 do července 2022. Kondenzace vody v jeskyni

byla studována (i) nepřímo pomocí monitoringu teplotního rozdílu mezi jeskynní atmosférou a stěnami a (ii) přímo na základě míry rosení vápencových etalonů umístěných na vybraných místech jeskyně. Naměřená teplotní data na obou monitorovaných místech ukázala sezónnost (závislost na teplotě externí atmosféry). Zatímco pozitivní hodnoty teplotního rozdílu spojené s procesem kondenzace vody byly zaznamenány v letních obdobích, v zimních obdobích byly registrovány záporné hodnoty odpovídající procesu výparu. Zvýšenou kondenzaci v letních obdobích potvrdilo i rosení vápencových etalonů. Sezónnost teplot v homotermické zóně navíc ukázala komunikaci s externí atmosférou i hluboko v jeskyni (homotermické zóně). Lepší pochopení procesu kondenzace vyžaduje další navazující studie. Výsledky mohou být využity k efektivnější ochraně jeskynního prostředí.

Poděkování:

Práce vznikla v rámci projektu TJ04000064 „Zhodnocení vlivu povrchových podmínek na jeskynní prostředí“ Technologické agentury ČR (Program ZÉTA).

SEZNAM LITERATURY:

- BÖGLI A., 1978: Karsthydrographie und physische Speläologie. – Springer. Berlin.
 DREYBRODT W., GABROVŠEK F., PERNE M., 2005: Condensation corrosion: A theoretical Approach. – Acta Carsologica 34/2, str. 317–348.
 FAIMON J., TROPPOVÁ 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.
 FAJKOŠOVÁ L., 2011: Kondenzační koroze v Amatérské jeskyni (Moravský kras). – MS, diplomová práce. Přírodovědecká fakulta MU. Brno.
 FORD T.D., WILLIAMS P.W., 2007: Karst Hydrogeology and Geomorphology. – Wiley & Sons. Chichester.
 HEBELKA J., KORZYSTKA M., PIASECKI W.J., SAWIŃSKI T., ROŽNOVSKÝ J., STŘEDOVÁ H., FUKALOVÁ P., STŘEDA T., LEJŠKA S., LITSCHAMN, T., 2011: Stanovení závislosti jeskynního mikroklimatu na vnějších klimatických podmínkách ve zpřístupněných jeskyních České republiky. – Správa jeskyní České republiky, Acta Speleologica 3. Průhonice.
 LUETSCHER M., JEANNIN P.-Y., 2004: Temperature distribution in karst systems: the role of air and water fluxes. – Terra Nova 16, str. 344–350.
 SÁNCHEZ-MORAL S., SOLER V., CAÑAVÉRAS J.C., SANZ-RUBIO E., VAN GRIEKEN R., GYSELS K., 1999: Inorganic deterioration affecting the Altamira Cave, N Spain: quantitative approach to wall-corrosion (solutional etching) processes induced by visitors. – Science of The Total Environment 243-244, str. 67–84.

Monitoring vlastností skapových vod v souvislosti s mikroklimatem v Amatérské jeskyni

Zdeněk Roubal¹, Zoltán Szabó¹, Radim Kadlec¹, Pavel Pracný², Marek Lang², Jiří Faimon², Veronika Synková²

¹ Ústav teoretické a experimentální elektrotechniky, Vysoké Učení technické v Brně, Technická 3082/12, 616 00 Brno, e-mail: roubalz@vutbr.cz

² Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno, e-mail: pracny@sci.muni.cz

Abstrakt:

Plánovaný dlouhodobý monitoring v Amatérské jeskyni na začátku projektu vedl k nárokům na dobře zvolenou metodiku měření. Postupně během projektu se promýšlela metodicky správná technická řešení navržených přístrojů tak, aby získaná data nejlépe odpovídala poměrům v Amatérské jeskyni. Dále budou uvedeny klíčové vlastnosti přístroje kapkometr, který monitoroval kontinuálně vlastnosti skapové vody (pH, elektrickou vodivost, teplota vody a vydatnost skapu) a zároveň se během vstupů prováděla hydrochemická analýza vody. Tyto vlastnosti se pak korelovaly s mikroklimatickými podmínkami v prostředí měřeného skapu (teplota vzduchu, objemový obsah CO₂).

Klíčová slova: pH, elektrická vodivost skapu, vydatnost skapu a CO₂.

1. Úvod

Zjišťování vzájemných korelací mezi souvisejícími veličinami v prostředí jeskyni se v případě využití metody trasování potýká s mnoha problémy (Quitt 1982). Je ovlivněno pobytem vědeckého pracovníka a jeho vlivem na jeskynní mikroklima, dále je často třeba provést kompromis u doby měření vzhledem k ustalování měřicího senzoru. Při hledání vzájemných souvislostí mezi koncentrací CO₂ jeskynní atmosféry a pH skapové vody je u měření CO₂ rozhodující rychlé měření při příchodu na měřicí místo, u měření pH se projevuje pomalé ustalování difúzních potenciálů pH sondy. Proto lze získat daleko lepší data využitím kontinuálního monitoringu. Námi navržený systém zahrnoval nejenom monitoring mikroklimatu (dřívější práce (Hebelka a Rožnovský, 2011)), ale umožňuje i dát jej do souvislosti s vlastnostmi skapové vody.

2. Jednotka pro měření skapů jeskynního kapkometru

Návrh jednotky pro měření skapů jeskynního kapkometru byl promýšlen tak, aby voda padající ze skapu byla co nejrychleji měřena a nedocházelo k jejímu odplynění a změně vodivosti a pH. Z toho i plyne navržená koncepce. Nejprve se uvažovala varianta, že by se použil jako snímač počtu kapek digitální akcelerometr, který reagoval na každý pád kapky. Jenže to by vedlo k jejímu rozstříku a následně měření vodivosti a pH by bylo ovlivněno. Proto se navrhl jiný systém, kdy se měří objem proteklé vody, a ne počet kapek. Zde je již možné nejprve měřit vodivost, následně pH a pak teprve měřit objemový průtok vody pomocí kolébky ze srážkoměru. Celkový pohled na kapkometr je na obr. 1. vlevo, jeho vstupní trychtýř z nerozpustného materiálu vytištěný na 3D tiskárně vpravo.



Obr. 1. Celkový pohled na testování Kapkometru v laboratoři vlevo, vstupní trychtýř vpravo

Základem správného měření pH byla domluva s firmou Théta, která nám vyrobila na zakázku speciální kombinovanou pH elektrodu s platinovou diafragmou (fritou), která má nižší uvolňování referenčního roztoku do měřeného roztoku. Běžné pH sondy mají totiž diafragmu keramickou z korundu a referenční roztok se více uvolňuje do měřeného roztoku a zvyšuje jeho elektrickou vodivost. Navrhnutým uspořádáním, kdy nejprve měříme elektrickou vodivost a nádržka pro měření elektrické vodivosti a pH jsou mezi sebou odděleny přepady, se tento vliv eliminuje, ale i tak by uvolňování referenčního roztoku ovlivňovalo chemické rozklady vody v nádrže. Proto bylo nutné tuto speciální pH elektrodu použít. Návrh špičkové elektroniky pH metru využívá dřívějších zkušeností autorů (Roubal et al., 2021).

U pH kontrolní měření pomocí trasování umožňuje korigovat posuv nuly použitých pH sond jednobodovou kalibrací (Naumann et al., 2002). Nadměrným vyndáváním pH sondy z měřeného roztoku dochází totiž k nežádoucím diskontinuitám dat, difúzní potenciál závisí jak na pohybu média kolem elektrody (toková závislost, míchání), tak poloze – natočení – diafragmy vůči pohybu média. Tzn., že pokud vrátíme zkalibrovanou pH elektrodu zpět do média a diafragma bude pootočená vůči původní poloze, bude se signál elektrody nepatrně lišit i po ustálení v řádově v setinách pH.

Objemová koncentrace CO₂ je měřena senzorem od firmy Sensirion. Měřicí princip je optický, oproti jiným metodám (MOX, katalické, odporové) je výrazně přesnější a výsledky jsou reprodukovatelné. Jeho výhodou je i relativně nízká cena, takže případné zničení je možné operativně řešit výměnou. Nevýhodou je nutná výměna silikagelu v měřicí komůrce asi jednou za půl roku.

3. Získané výsledky

Po deštivém roce 2020 přišlo opět sušší období a vydatnost skapů na sledovaných místech výrazně klesala, někde dokonce došlo k jejich přechodnému vyschnutí. V Dómu Zemních pyramid se prokázala pozitivní korelace mezi elektrickou vodivostí (v rozsahu 330 až 490 μS/cm) a koncentrací CO₂ (v rozsahu 500 až 8000 ppm) v jeskynní atmosféře. Získaná data mají velmi vysoké rozlišení s krokem 15 minut.

4. Závěr

Změřené roční průběhy CO₂ a pH skapové vody v bodě M (Dóm zemních pyramid) ukázaly na propojení dómu v hlubší části jeskyně s povrchem. Jsou patrné denní variace obou veličin v jarním období. Průběhy v bodě N (Rozlehlá chodba) uprostřed léta pak naznačují za určitých klimatických podmínek oscilace proudění vzduchu v této části jeskyně s vlivem na pH skapové vody a jejího indexu nasycení. Oba výsledky by při běžném trasování nebyly odhalitelné. U pH bylo nutné ale korigovat změnu difúzních potenciálů kontrolou pomocí trasování a upravit posun nuly kalibrační rovnice. K tomuto účelu se u měřicích bodů rozmístily přesné pufrы, které pak již během kalibrace byly vytemperovány na teplotu jeskyně. Ke konci projektu se přešlo na kontrolní měření pH trasováním přímo ve vstupní nádrže, což se ukázalo jako metodicky vhodnější.

U měření pH se návrhem speciální elektroniky bylo možné dostat na rozlišení trendů v řádu 0,01 pH. Toho bychom při trasování nedosáhli, zvláště kvůli ustalování rovnováhy mezi sondou a měřeným roztokem.

Poděkování

Tento výzkum byl podpořen projektem TAČR TJ040000064 „Zhodnocení vlivu povrchových podmínek na jeskynní prostředí“.

SEZNAM LITERATURY:

- HEBELKA, J. A ROŽNOVSKÝ, J., 2011. Stanovení závislosti jeskynního mikroklimatu na vnějších klimatických podmínkách ve zpřístupněných jeskyních České republiky: [závěrečná zpráva projektu SP/2d5/07], Průhonice: Správa jeskyní České republiky: Acta speleologica.
- ROUBAL, Z. et al., 2021. Evaluating the Parameters of a Systematic Long-Term Measurement of the Concentration and Mobility of Air Ions in the Environment inside Cisaraska Cave. Atmosphere, 12(12), pp.1-31.
- QUITT, E., 1982. Mikroklimatické poměry jeskynní Moravského krasu. Československý Kras, 32.
- NAUMANN, R. et al., 2002. Traceability of pH measurements by glass electrode cells: performance characteristic of pH electrodes by multi-point calibration. Anal Bioanal Chem, 374(5), pp.778-786.

Malý hydrologický průvodce Amatérskou jeskyní – stav poznání v roce 2022

Stanislav Lejska¹, František Kuda², Karel Kněžínek¹

¹ Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 43, 616 67 Brno,

e-mail: stanislav.lejska@chmi.cz, karel.knezinek@chmi.cz

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

Abstrakt:

Voda dává mapě třetí rozměr, a snad proto nám spojení hydrologie a 3D laserového mapování vyhovuje. Sloupský potok, Bílá voda, Punkva, Konstantní přítok a další přítoky, spolu vytvářejí soutoky a soutokové delty, estavely a povodňové vývěry, sifony, přelivné hrany a další morfologické prvky, a každý tento prvek má svou hydrologickou funkci. Hladiny díky tomu kolísají, často na první pohled nepochopitelně, ale toto kolísání v sobě dokonale odráží morfologii celého jeskynního systému. Od roku 2008, kdy jsme s hydrologickými měřeními začali, se naše podzemní měřičská síť rozrostla na 25 lokalit. Navíc jsme měli štěstí a zastihli jsme jak extrémní sucho léta 2018, tak v říjnu 2020 povodeň s opakováním statisticky jednou za deset let. A to už nám umožňuje udělat si jakousi představu o cestách krasových vod a jejich hydrologickém režimu.

Klíčová slova: Sloupský potok, Bílá voda, Punkva, povodeň, sucho

1. Úvod

Nevím, jak starý je mezi hydrology zvyk slavít 31. října konec hydrologického roku, tzv. hydrologický Silvestr. Víím ale, že ten příští – 31. říjen 2023 – bude extra slavný a extra důležitý, a to zvláště pro ty hydrology, kteří se zabývají Moravským krasem. Na limnigrafické stanici (dále LG) Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ) na Skalním mlýně bude totiž toho dne dovršena stoletá řada měření průtoků, konkrétně stoletá řada denních průměrných průtoků říčky Punkvy. A to už je důvod k pořádné oslavě.

Je to důvod k pořádné oslavě, ale také k malému ohlédnutí za tím, co poslední generace hydrologů ČHMÚ vykonala pro odhalení několika z mnoha tajemství podzemního toku Punkvy a jejích zdrojnic – Bílé vody a Sloupského potoka. V tomto příspěvku se pokusíme o velice krátké shrnutí toho, co bylo našim malým týmem vykonáno od roku 2008 a zejména pak od roku 2013, kdy začala naše spolupráce s Ústavem geoniky AV ČR. Omlouváme se za to, že v tomto příspěvku není jediná mapa, graf ani tabulka – v textu jsou zvýrazněny pouze důležité přelivné hrany a minima, ostatně ta většinou také reprezentují nějakou přelivnou hranu – ale více se prostě nevešlo. Tento hendikep jsme se pokusili vynahradiť v prezentaci z konference ve formě story mapy <https://arccg.is/15DGfb>.

2. Povrchové stanice

Pro zpřesnění hydrologické bilance, respektive kupeckých počtů, co do krasu vtéká, co se v krasu ztrácí, a co pod krasem vyvěrá, jsme síť povrchových toků v povodí Punkvy obohatili o tři limnigrafické stanice. Tyto stanice nějakým způsobem měřily už v první polovině 70. let 20. století, z hlediska dnešních standardů bylo však jejich přístrojové vybavení nedostatečné a navíc, data se nedochovala. První takto zrekonstruovanou stanicí se stala Vlčí skála na toku Luhy, která je v obnoveném provozu od ledna 2018. Na druhé hlavní zdrojnici Sloupského potoka – na toku Žďárné – bylo v létě 2021 využito k plnohodnotnému měření místo, kde byl před padesáti lety umístěn vodočet. Stanice se nachází asi půl kilometru nad koupalištěm ve Sloupu. A pro zpřesnění bilance vod směřujících k ponoru Nové Rasovny bylo obnoveno – taktéž v létě 2021 – měření Marianínského potoka kousek nad jeho soutokem s Bílou vodou.

Erozní bázi systému Punkvy však tvoří Sloupský potok. Panoš údolí městyse Sloup označuje za okrajové údolní polje (Panoš, 1963) a asi má pravdu. Větší dobrodružství, co se cest vody týče, se ve Sloupu jednoznačně odehrává pod zemí, a vzhledem k tomu, že máme jen omezené možnosti, jak tyto cesty najít, zaměřit a bilancovat, musíme si vystačit s povrchovými limnigrafickými stanicemi jakožto jakýmsi „pevnými body“. Již od roku 1968 je v provozu limnigraf ČHMÚ přímo pod soutokem Luhy a Žďárné, u hlavní cesty ve Sloupu, a od roku 2014 máme s laskavou podporou Správy jeskyní ČR možnost využívat jejich nenápadnou stanici, kterou Správa nechala v rámci protipovodňové ochrany Sloupsko-šoňvských jeskyní nainstalovat těsně u vstupu do Nicové jeskyně.

3. Sloupský potok

Nejvýše položenou hladinu v podzemí Sloupsko-šošůvských jeskyní, kterou měříme, je Wanklovo jezírko – normální stav na kótě **398 m n. m.** Tlakovou sondu ALA jsme sem umístili v září 2015, kdy jsem si kvůli snadné instalaci pochvaloval právě panující sucho. Skutečné sucho se naštěstí projevilo až o tři roky později, v létě 2018, skutečná povodeň, statisticky řečeno s opakováním jednou za deset let, v říjnu 2020, a my jsme si tak mohli udělat představu o vodním režimu na tomto místě. V dosažených minimech lze konstatovat pokles až 5 metrů pod normál, při povodňovém maximu nástup vzduché vody až 20 m nad normál.

Na dně Černé propasti ve Sloupsko-šošůvských jeskyních – odtokový sifon cca **392,5 m n. m.** – narazíme i při mírně podnormálních vodních stavech na kus volného toku, který vyzývá k měření průtoku a hydrologickému bilancování. Z těchto měření nám vychází, že Černou propastí teče zhruba to, co u limnigrafu ve Sloupu – ale pozor! – změřeno to máme pouze při mírném podnormálu.

V hlavní chodbě Šachty Broušek na tzv. Vintockém rozcestí měříme hladinu a vyhodnocujeme průtok Sloupského potoka od března 2020. Sloupský potok zde začíná téct, když dosáhne přepadové hrany na kótě **392,2 m n. m.** Z bilančních měření mezi Sloupem, Černou propastí a Vintockým rozcestím, se tak dá říci, že odtokové cesty pod Černou propastí pojmu něco málo přes 50 l/s. Přitéká-li z povrchu do podzemí více vody, pak se soustava Černá propast – Palmová propast plní a „přebytečná“ voda z ní přetéká 7. sifonem (S7) do hlavní chodby v Šachtě Broušek. Při lehce nadnormálních průtocích – dlouhodobý normál ve Sloupu je 0,29 m³/s – se odtokové cesty postupně zahlcují, a s průtoky přibližně nad 0,5 m³/s se spodní odtoková cesta – o kapacitě oněch výše uvedených 50 l/s – zahltí úplně, což znamená, že voda touto cestou přestane téct. O to více jí pak teče přes Vintocké rozcestí dál k odtokovému 4. sifonu (S4). V říjnu 2020 Sloupský potok na Vintockém rozcestí vystoupal více než šest metrů nad normál.

S2 – koncový sifon Šachty Broušek – normál je na kótě **384,5 m n. m.** – leží na soutoku aktivu Sloupského potoka a Šošůveckého koridoru a bohužel, vhodný měrný profil pro vyhodnocování průtoku tu není, takže do bilančních počtů S2 nijak nevstupuje. I tak se ale jedná o důležitou křižovatku a my na ni máme krásné vzpomínky. Kohosi napadlo, že stál by za to přenos dat z této lokality – na server <http://a.la-a.la>. Nápad se ujal a my jsme se v září 2019 rozhodli k instalaci sondy s bezmála kilometr dlouhým kabelem. Udržet při životě přenos dat při takto dlouhém kabelu však není vůbec zadarmo, jak by nám nejlépe vysvětlil ing. Dalibor Daněk, výrobce sond ALA. S2 byl v létě 2018 vyschlý (Mokrý, 2019) a letos – v létě 2022 – poprvé od instalace jsme zde měli možnost pozorovat podobné „pokusy o vyschnutí“. To se bezprostředně týkalo i S8, nacházejícím se v Šošůveckém koridoru těsně nad soutokem, protože hladina S8 je totožná s hladinou S2. Ono se mezi S8 a S2 – pod Bahnopádem Khumbu – jedná spíše o několik volných hladin za sebou, takže měření S2 vykazují v denním režimu mírný rozptyl od měření v S8, a to podle aktuální hydrologické situace, jednou ve prospěch S8, jindy S2. S rostoucím vodním stavem – 12 m nad normál v říjnu 2020 – rozdíl jejich hladin narůstá, ale nijak výrazně – cca na půl metru. S8 měříme od října 2019, od dubna 2020 hlídáme i S10 na konci Šošůveckého koridoru. Zde je úroveň normální hladiny **390,4 m n. m.**, která v říjnu 2020 vystoupala 13 m nad tuto kótu.

Ve Sloupském koridoru Amatérské jeskyně si zatím troufáme jen odhadovat... Dají se zde identifikovat dvě větve toku Sloupského potoka a těžko říci, zda k tomuto větvení dochází pod S2 nebo se zde potkáváme s vodou spodní odtokové cesty jdoucí zpod Černé propasti (viz výše). Chybí nám tu jakékoliv dlouhodobější měření hladiny, ale expediční měření mírně podnormálních průtoků dne 15. prosince 2021 ukázalo alespoň něco... Konkrétně v chodbě Za Vodopádem máme možnost sledovat soutok hlavního toku Sloupského potoka s jeho „vedlejší větvi“. Z S1 v tu chvíli vytéká to samé, co teče přes Vintocké rozcestí, a stejný průtok naměříme na hlavním toku v chodbě Za Vodopádem – 75 l/s. Turbinou – **366 m n. m.** – právě teče 135 l/s, tedy na přítok v chodbě Za Vodopádem připadá slušných 60 l/s. Ve Sloupu u limnigrafu v tu chvíli teklo okolo 100 l/s, takže je zřejmé, že Turbína drénuje již větší povodí, a dá se v ní tudíž čekat možná „celý Sloup“. Kótu Turbíny se nám podařilo přesně určit až na začátku letošního roku, po několika zimních měřičských akcích s 3D skenery Leica a s využitím polygonu Honzy Sirotky (Sirotek, 2021).

4. Bílá voda

Minima letošního léta, ale i let předchozích, Bílé vodě na kráse moc nepřidala, a kdo občas sejde k její hladině u limnigrafu v Holštejně, dá mi jistě za pravdu, že při nízkých vodních stavech je Bílá voda opravdu hodně špinavá. Je známá věc, že Bílá voda má v Holštejně konduktivitu – neboli měrnou elektrickou vodivost – obvykle lehce nad 400 μS/cm, tedy výrazně odlišnou od konduktivity Luhy a Žďárné – 200 až 300 μS/cm. Ostatně tuto rozdílnost využíváme při „stopování“ vod v *soutokové deltě Punkvy*. Ale proč tomu tak je? To mi

vrtalo hlavou už delší dobu, tak jsem se vydal na expediční měření od pramenů až k propadání. Podotýkám, že konduktivita není měřítkem kvality vody, vyšší konduktivita neznamená automaticky vyšší znečištění, ale jedná se o první ukazatel toho, že něco by nemuselo být úplně v pořádku. Tedy... Pod prameny má Bílá voda konduktivitu lehce nad 100 μS/cm, nad Nivou 200 μS/cm, pod Nivou 620 μS/cm. Otínoveský potok má vodivost nad soutokem s Bílou vodou dokonce 1100 μS/cm, takže takto „obohacena“ Bílá voda pod Otínovsí na měřáku ukáže 850 μS/cm. „Vyzerou“ to ale dva velké rybníky nad Roztáním – pod Panským rybníkem jsem naměřil už jen 430 μS/cm. Tož, to je, myslím, námět k zamyšlení...

Cesta Bílé vody od Nové Rasovny, přes Spirálu a Pikovku, jeskyni 13C, až po Starou Amatérskou jeskyni je jakžtakž známa, ale vzhledem k tomu, že my jsme se zde zatím o nic moc nepokusili, ponecháme dnes tuto část jejího toku bez komentáře. Angažujeme se až ve Staré Amatérské jeskyni, kde jsme si troufli využít k účelům měření průtoku Bílé vody starý limnigraf Geografického ústavu ČSAV, který pamatuje tragickou povodeň ze srpna 1970. Měření jsme obnovili za využití tlakové sondy ALA s přenosem dat na internet. Stalo se tak až v srpnu 2019, takže minimum roku předchozího jsme nezměřili. Nicméně, máme zjištěno, že Bílá voda ve Staré Amatérské jeskyni nijak výrazně nekolísá – normál **393,95 m n. m.** Kulminace její hladiny při říjnové desetileté vodě roku 2020 byla jen metr nad normálem, a zdá se, že s minimálním vzduchem – kulminačních 12,5 m³/s proteklo jak „nic“. Měření průtoku ve Staré Amatérské jeskyni představuje důležitý bod v hydrologické bilanci Punkvy, a provozování této stanice má ještě jeden praktický užitek... Každý, kdo má přístup k internetu, si v čase deštivých dní může pro jistotu ověřit stav Bílé vody tekoucí do Amatérky, zvláště chystá-li se na delší procházku, někam za Rozlehlou chodbu a dál. Máme vyzorováno, že při stavu **394,27 m n. m.** ve Staré Amatérské jeskyni (Lejska et al., 2021) začíná Bílá voda téct Rozlehlou chodbou.

Za Povodňovým sifonem vtéká Bílá voda do Chodby samoty Nové Amatérské jeskyně. Zde její hladinu měříme od září 2016 pod Katedrálou Jiřího Šlechty – **383,1 m n. m.** Ani tady nevykazuje Bílá voda při normálních vodních stavech výraznější rozkyv hladiny, Chodba samoty je ostatně dost prostorná. Ke vzduchu dochází při průtoku Bílé vody cca 8 m³/s, kdy už je kapacita kanálů Krematoria na maximu. Bílá voda při kulminaci v říjnu 2020 v Katedrále J. Šlechty nakonec vystoupala o 6 m nad normál. Předtím až po strop zaplavila Souběžnou chodbu a Dlouhé jezero, a zastavila ji až přírodní hráz ve vstupu do Dómu Marko Zahradníčka (dále DMZ). Z bezpečné výše galerie pod stropem DMZ musí být v tu chvíli skutečně úžasná podívaná na povodňový sifon, z nějž mezi balvany přepadá Bílá voda, k tomu jistě mnoho hluku. Dál po toku bychom už nedohlédli, ani sondy tu po cestě nemáme, ale dle povodňových stop se dá odhadnout, že z DMZ do Dómu U Homole Bílá voda pokračovala po dně chodby jako docela mírný tok. V Dómu U Homole Bílá voda narazí na Sloupský potok vytékající ze Sloupského koridoru, a spolu se pak romanticky vzdouvají až po strop Rozlehlé chodby. I když...

5. Punkva

Právě jsme se ocitli na soutoku Bílé vody a Sloupského potoka, na povodňovém soutoku, kde je těmto dvěma dopřáno se potkat asi tak jednou za deset let. Každopádně, zde už můžeme mluvit o *soutokové deltě Punkvy*, i když (!) nejvýše – nejseverněji – situované rameno *delty* představuje Spojovací chodba s Nultým sifonem jakožto povodňovým vývěrem, v tomto případě už tedy Punkvy. Za ramena *soutokové delty* lze považovat také povodňová ústí Bílé vody z Krematoria do Rozlehlé chodby. Nejvýše položená celoročně stabilní hladina *soutokové delty*, o které můžeme prohlásit, že minimálně po část roku se jedná o Punkvu, je soustava *Jezerní propast – přítokový sifon Bludiště Milana Šlechty* (dále Bludiště), která je už při mírně podnormálních vodních stavech dotována Bílou vodou vstupující sem neznámým trativodem pravděpodobně z Krematoria. Podobných trativodů Bílé vody vedoucích do Jádra Bludiště bude pravděpodobně více, cesta minimálně jednoho z nich pak směřuje přes dno Říčeného dómu do odtokových partií Středního Bludiště. A něco jistě zůstane i na Jižní Bludiště, ale o tom jsme toho zatím moc nezjistili (více viz Audy et al., 2018).

Při normálních vodních stavech Bílá voda opouští Krematorium přes jednu z nejkrásnějších částí Amatérky – Chrochtadlo – kde měříme od ledna 2010. Za situace, jako byla ta v říjnu 2020, se Bílá voda v Chrochtadle vzdouvá až o 22 m. Vzdučí v Chrochtadle vede ke vzdučí v odtokových partiích Krematoria, a Bílá voda při povodni dosáhne přepadové hrany a možnosti se volně vylít do otevřeného prostoru z tzv. Brejli v Rozlehlé chodbě – **372,3 m n. m.** Z Krematoria Bílá voda vytéká, když se hladina zvedne o dalších 60 cm – tedy na **372,9 m n. m.** – a v říjnu 2020 jí to trvalo více než den. Je však nutno podotknout, že ten den bylo množství Bílé vody tekoucí do podzemí vyrovnané – 2,2 m³/s ve Staré Amatérské jeskyni – teprve

pak průtok začal prudce růst. O dalších 15 hodin později Bílá voda vytéká ze zatopeného Chrochtadla „objevitelskou“ chodbou do Macošského koridoru – výška vstupu je cca na **377,5 m n. m.** – ale zajímalo by mě, jak to bylo před prokopnutím této cesty (Polák, Roth, 2003). A za další 4 hodiny Bílá voda dosahuje hrany Dómu U Dvou velkých – **381,6 m n. m.**

Tak jak jsme s hydrologií Amatérské jeskyně obeznámeni dnes, můžeme prohlásit, že nejdále, kam od vstupní štoly musíme dojít, abychom se podívali na Punkvu, je soustava *Jezerní propast – přítokový sifon Bludiště*. Náhoda tomu chtěla, že na podzim 2015, když v Rozstání vypustili Panský rybník (Lejska et al., 2016) byla Bílá voda potvrzena v Jezerní propasti, a to při relativně nízkém vodním stavu – cca 140 l/s na LG Holštejn. Ale Jezerní propast, a to je nutné zdůraznit, reaguje především na pohyby Sloupského potoka, který sem směřuje od Turbíny. Již mírně nadnormální stavy – vlny v kulminaci okolo 0,5 m³/s na LG Sloup – způsobují, že se Turbína zahltí a hladina se vzduje. Ostatně, toho půl kubíku za sekundu se zdá být obecně limitní hodnotou průtoku, který jsou trativody Sloupského potoka schopny pojmout. Pak už nezvládají a voda jde nahoru. Rozdíl hladin mezi Turbinou a Jezerní propastí se na sestupné větvi takové vlny ustaluje přibližně na šesti metrech.

Příklad pro představu – 24. únor 2022: Turbína je zahlcená (stav 375,2 m n. m.), Levý variant je neprůlezný. Jezerní propast je na kótě **369,1 m n. m.**, to znamená, že když slezete po strmém svahu k vertikální části propasti, která je povrch „naplněna“, stojíte přímo u hladiny Punkvy. Ta ve směru od *přítokového sifonu Bludiště* přetéká přes přepadovou hranu, ale je jí sotva deset vteřinových litrů. Doteče jen do Velkého Ronda a definitivně se ztrácí v ponoru u b. 802. A stav Bílé vody v Krematoriu? 367,6 m n. m., tedy o metr a půl niž než Punkva v Jezerní propasti! Přestože je řečiště Bílé vody výše položené, přestože od Holštejna přitéká více vody než ze Sloupu, přes to všechno je teď hladina vody tekoucí od Sloupu výše. Jak to?! Abychom to správně pochopili, je nutné vysvětlit ještě jeden pojem.

Soustava *Jezerní propast – přítokový sifon Bludiště* je místo, kde se Sloupský potok, Bílá voda, či už Punkva, dostávají do kontaktu s jakousi sedimentární „zátkou“, kterou jsme pracovně začali nazývat *sedimentární bariéra*. Ta vyplňuje převážnou část dna Bludiště nad Říceným dómem, a navazují na ni sedimenty vyplňující Rozlehlou chodbu a Krematorium. Geneze *bariéry* jistě souvisí s genezí Bludiště, a ta bezesporu bude mít spojitost se závrtem Městikád' nacházejícím se na povrchu nad Bludištěm. Ve spolupráci s Českou geologickou službou již proběhlo několik akcí, kterými se snažíme *sedimentární bariéru* zmapovat, tedy určit její mocnost.

Jezerní propast se před námi v suchých letech svůdně odhaluje a ve svých spodních partiích otevírá prostor, kterou jsem pracovně nazval Altamira. Lze do ní vstoupit ze strany *přítokového sifonu Bludiště*, a příležitost k tomu nemáme zas tak vzácně, jak by se mohlo zdát. Od instalace sondy v červenci 2015 zde takový několikadenní až několikatydenní pokles hladiny zaznamenáváme už posedmé, také proto, že roky 2015–2019 byly průtokově podnormální. Tak jako jinde, i zde bylo minima dosaženo v létě 2018, na kótě **355,4 m n. m.** Rozptyl hladiny, zapříčiněný čím jiným než *sedimentární bariérou*, od tohoto minima po stav, kdy Punkva začíná téct do Bludiště – již výše uvedená kóta **369,1 m n. m.** – je téměř 14 m. Ale Punkva zde dokáže vystoupat až na 382,5 m n. m., tedy 27 m nad minimální stav, a to pak vyvěrá chodbou, jež spojuje Jezerní propast s Rozlehlou chodbou – říjen 2020.

Ale abychom dokončili příklad z 24. února 2022. Punkva v Jezerní propasti je na sestupné větvi vlny výše než Bílá voda právě kvůli vzduť *sedimentární bariérou*. Trativody Bílé vody přes Krematorium a Chrochtadlo jsou kapacitnější, tím pádem Bílá voda už „odtekla“, ale jak se *bariéra* vyprazdňuje, situace se stabilizuje na klasickém modelu – Bílá voda v Krematoriu je výš než Punkva v Jezerní propasti.

Projdeme teď spolu s Punkvou – při mírně zvýšeném vodním stavu – skrz *sedimentární bariéru* a ocitneme se v Jádru Bludiště. Počkáme chvíli, než klesne voda a zjistíme, že Bílá voda sem teče i při těch nejnižších vodních stavech. Nabízí se, že z blízkého Chrochtadla, protože výška odtokového sifonu Chrochtadla je **359 m n. m.**, a hladinu v Jádře – kde měříme od ledna 2014 – jsme nejnižší zastihli na kótě **355,5 m n. m.** Tedy spád tu je, ale cesta zatím nebyla prokázána žádným barvicím pokusem. Při porovnání s minimální hladinou v Jezerní propasti však můžeme s jistotou prohlásit, že v Jádru je při takovém minimu jen Bílá voda. Se stoupající hladinou se poměr Punkvy tekoucí od Sloupu a Bílé vody v Jádru mění podle konkrétní situace. Při větších průtocích, řádově v kubících, nastává situace, kdy Punkva vstupuje do Jádru v takovém množství, že Bílou vodu sem „nepustí“ a ta volí jiné trasy, pravděpodobně k jihu. Vyplývá to z našeho měření konduktivity při nástupu vlny v říjnu 2020, ale vše je třeba ještě ověřit. Každopádně, při povodni jako byla ta v říjnu 2020, se Jádro zatápí prakticky po strop, do úrovně 376 m n. m., což je pro představu asi tak 10 metrů nad přepadovou hranou Vodopádu ve Velkém Rondu, tedy prakticky po strop.

Na erozní bázi Punkvy se dostáváme v odtokových partiích pod Říceným dómem. Měříme zde od ledna 2010, a o sedm let později jsme umístili další sondu o kus dále po toku – do Rodea. Zde jsme v létě 2018 naměřili pokles Punkvy na **351,2 m n. m.** Znalci vědí, že se již nacházíme na dolním toku Punkvy a spád k Macošce je od těchto míst minimální – v prvních decimetrech, tedy cifře hraničící s přesností zaměření. Pro úplnost, hladina v Říceném dómu v říjnu 2020 vystoupala 30 metrů nad minimum.

Konečně opouštíme *soutokovou deltu* a budeme dále sledovat rozvodněnou Punkvu. Ta 14. října 2020 kulminovala na hraně Dómu U Dvou velkých. Je otázkou, zda protekla po dně dómu, každopádně, od 2. vchodu Bludiště sem zasahuje Punkva, která je vytlačena ze zatopeného Bludiště – při kulminaci na úroveň **381,3 m n. m.** Toto vzduť zastavuje až přelivná hrana v severní části Dómu Zemních pyramid (dále DZP), v podstatě hráz držící za sebou celé zaplavené Bludiště. Punkva však toto vzduť obtéká Hlavní chodbou Bludiště, která v tuto chvíli funguje jako „odlehčovací rameno“, a už při dvou- až pětileté vodě vyvěrá do Macošského koridoru 1. vchodem Bludiště. Naposledy se tak stalo 29. května 2016, kdy Bílou vodou v kulminaci teklo necelých 7 m³/s, Sloupským potokem 10 m³/s. Punkva, kterou už není schopno pojmout ani Jižní Bludiště, se vyvalí z 1. vchodu Bludiště a dále teče po dně Písečného dómu a Bezejmenného dómu, až se ve vstupu do Dómu U Bílé kašny zanoří do levostranného ponoru, jenž ji odvádí k Šolimově míse (dle pozorování A. Tůmy z CHKO Moravský kras).

V říjnu 2020 to však nestačilo. U 1. vchodu Bludiště se potkává Punkva, jež absolvovala cestu Bludištěm, s Punkvou přepadající sem přes hráz DZP. „Tyto spolu“ se pak vzduť na úroveň 379 m n. m. (dle povodňových stop), a toto vzduť sahá až po přelivnou hranu před vstupem do Dómu Brekcí – **376,7 m n. m.** – za vzniku čtyř povodňových sifonů. Kulminační hladinu nad povodňovým sifonem v Dómu Brekcí máme dobře změřenu sondou nacházející se od února 2017 ve vodní propasti Šolimova mísa, kde kulminace dosáhla úrovně 377 m n. m., tedy 26 m nad minimum – **350,9 m n. m.**

Další čtverylku si rozvodněná Punkva zatančí až mezi balvany na dně Dómu Brekcí, než dospěje do jistě romanticky vyhlížejícího jezera v mělkém dnu Dómu Roztoka. Přes hranu ve výšce **373 m n. m.** Punkva vodopádovitě klesá do vstupní chodby Východní Macošské větve a pro zvědavce, který právě vylezl ze Záválu a celý vyjevený na to kouká, to musí být opravdu pěkná podívaná. Ale pozor! Je třeba si pohlídat ústupovou cestu, protože dle povodňových stop hladina Punkvy v Dómu Pestré jíly vystoupá taky na 373 m n. m. a odřízne tak cestu zpět. Nemáme zde měření, což je chyba, takže více toho nevíme...

5.1 Východní Macošská větev

Východní Macošská větev by si zasloužila samostatnou kapitolu, což krátký formát příspěvku neumožňuje. Naštěstí toho o ní zas tak moc nevíme, takže tu kapitolu můžeme podrobně rozepsat až někdy příště...

Ve Východní Macošské větvi, na aktivu Punkvy pod vyústěním chodby Bahnitá jezírka, se nachází námi nejdéle měřená lokalita. V prosinci 2008 jsme navázali na měření realizované zde již někdy v polovině 70. let 20. století našimi kolegy z ČHMÚ. Moc se toho z té doby ale nedochovalo, ani fotografie přístroje, který fungoval na jiné bázi než limnigrafy na Bílé vodě. Nová stanice – sonda ALA od výrobce Dalibora Daňka – před nedávnem také doměřila, když po dlouhé a dobré práci „vyhasla“ její rafinovaně umístěná baterie. Krátce předtím se ale zasloužila o významný objev na poli krasové hydrauliky, kdy kolísání hladin těsně okolo kulminace v říjnu 2020 mezi touto lokalitou, Podzemním Vývěrem Punkvy a Macochou, jsme nedokázali objasnit jinak než, že Punkva občas teče i do protisměru (Lejska et al., 2021).

Podzemní Vývěr Punkvy je ve skutečnosti estavela a měříme jej od června 2017. Jako ponor funguje při minimálních průtocích, kdy do něj teče voda Konstantního přítoku, zdá se však, že i při extrémních průtocích se tato estavela zachová „zodpovědně“, a chvílemi se tváří zase jako ponor, čímž pomáhá k vyprazdňování zatopených podzemních prostor celé Východní Macošské větve. Nemělo by na tom však být nic až tak překvapivého, protože při troše nadsázky můžeme říci, že celý kras je estavela – voda stoupá a trativody se chovají jako vývěry, voda klesá a z trativodů se stávají ponory...

Každopádně, Punkva na svém aktivu ve Východní Macošské větvi kulminovala na kótě 366,3 m n. m., tedy 14 m nad normálem. Hladina Podzemního Vývěru Punkvy je při minimech totožná s hladinou v Šolimově míse, jak dokázaly nedávné speleopotápěčské objevy (Sirotek, 2021) – **350,9 m n. m.** Se stoupající hladinou se výškový rozdíl mezi Šolimovou mísou a Podzemním Vývěrem Punkvy zvětšuje až na téměř 11 m – říjen 2020 – což je úctyhodný rozdíl svědčící o dynamickém vyrovnávání zdánlivě „klidných“ hladin mezi jednotlivými sifony.

V Červíkových jeskyních, těsně nad přítokovou stěnou Macochy, Punkva v říjnu 2020 kulminovala o dalších 5 metrů níže – 361,6 m n. m. – a o další metr niž je hladina povodňového jezera na dně Macochy –

360,4 m n. m. Minimální stav jsme v Červíkových jeskyních, kde měříme už od května 2009, zastihli v září 2018 na **350,6 m n. m.**

6. Závěr

Pro zevrubnou představu o hydrologických poměrech v povodí Punkvy budeme brzy publikovat vyhodnocená data průtoků ze všech stanic Moravského krasu, starých i nových, povrchových i podzemních. Příští rok limnigrafická stanice na Skalním Mlýně, jako jedna z prvních nejen na Moravě, ale i v Čechách, dosáhne stáří sta let. Těšit se tak můžeme i na její stoletou řadu průtoků, a to v případě Skalního Mlýna řadu spolehlivou. Samozřejmě ji hodláme publikovat, ať si každý udělá sám obrázek o tom, jak si na tom s vodou stojíme... Nejedná se však o nějakou „pouhou“ řadu dat, jedná se o jakousi vizitku řeky Punkvy.

SEZNAM LITERATURY:

- AUDY M. et al., 2018: Kde vzniká Punkva (Topas v Amatérské jeskyni v letech 2013–2017). – Speleofórum, 37: 6–15. Praha.
 LEJSKA S. et al., 2016: Jak se mele Bílá voda v Bludišti aneb když vypustí Panský rybník... - Speleofórum, 35: 16–21. Praha.
 LEJSKA S. et al., 2021: Velká říjnová povodeň 2020 aneb revoluce ve výškových poměrech v Amatérské jeskyni. – Speleofórum, 40: 33–48. Praha.
 MOKRÝ T., 2019: Nové poznatky o jeskynních systémech vázaných na podzemní tok Sloupského potoka, výzkumy v letech 2017 a 2018. – Speleofórum, 38: 10–15. Praha.
 PANOŠ V., 1963: Sloupské okrajové údolní polje a jeho odtokové jeskyně. – Kras v Československu, 1–2: 1–10. Brno.
 POLÁK P., ROTH T., 2003: Chrochtadlo – objev řečiště Bílé vody v Amatérské jeskyni. – Speleofórum, 22: 4–5. Praha.
 SIROTEK J., 2021: Za tajemstvím Punkvy. – Speleofórum, 40: 18–32. Praha.

Čištění odpadních vod v CHKO Moravský kras

Marie Kotyzová

AOPK ČR, RP Jižní Morava, Správa CHKO Moravský kras, Svitavská 29, 678 01 Blansko,
 e-mail:marie.kotyzova@nature.cz

Abstrakt:

Krasové oblasti mají složitou hydrogeologii a jsou velmi citlivé na znečištění, protože se voda z povrchu rychle dostává do podzemí, kde jsou procesy samočištění omezené. Jakékoliv znečištění, které se dostává přes vápencové pukliny do podzemí, může mít velmi negativní dopad na kvalitu podzemních vod a také na organismy, které se zde vyskytují. Jediný vhodný způsob likvidace odpadních vod z obcí v krasových oblastech a obcí, jejichž odpadní vody přitékají do krasových oblastí, s výjimkou rozptýlené zástavby, jsou mechanicko-biologické ČOV nejlépe s terciálním stupněm čištění. V krasových oblastech nejsou vhodným způsobem čištění odpadních vod soustavy malých domovních ČOV, domovní ČOV do vsaku a vegetační ČOV. Na vypouštění odpadních vod v krasových oblastech nebo v obcích, odkud vody přitékají do krasových území, by se měla vztahovat přísnější legislativa a s tím spojené limity na vypouštění odpadních vod.

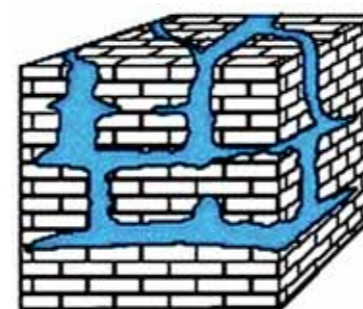
Klíčová slova: CHKO Moravský kras, znečištění, ČOV, kras, voda

Úvod

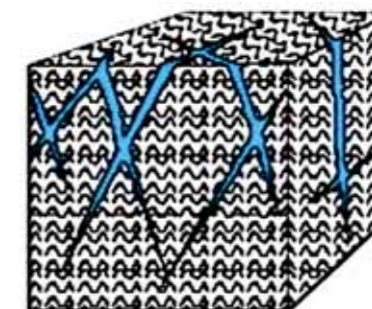
Moravský kras je nejdokonaleji vyvinuté krasové území České republiky s výskytem typických krasových jevů, v níž v podstatě neexistuje povrchová říční síť. Nachází se zde nejen nejdelší jeskynní systém v České republice, ale i jediný mezinárodně chráněný podzemní mokřad v ČR - ramsarská lokalita Podzemní Punkva. Přímo do hlavních zdrojnic Punkvy přitékají vody z obcí, které nemají vyřešenou likvidaci odpadních vod nebo ji mají řešenu způsobem, který specifika krasové oblasti nebere do úvahy. Problémem jsou nejen obce na území chráněné oblasti, ale i obce v povodí toků, jejichž vody tečou do tohoto území. Znečištěné toky, které často překračují limity pro přípustné znečištění povrchových toků (NV č. 401/2015 Sb.), zejména dusíkatými látkami a fosforem, jsou jedním z největších problémů na území CHKO Moravský kras. Jeskyně a krasové toky jsou přitom hlavním předmětem ochrany tohoto území.

Zranitelnost krasového prostředí

Krasové hydrogeologické systémy jsou extrémně zranitelné antropogenními zásahy. Z hlediska ochrany unikátního krasového prostředí a na něj vázaných významných zvodní, je i riziko poměrně malého vnosu kontaminace do horninového prostředí nežádoucí (Kryštofová, 2021). Zkrasovělý vápenec je mimořádně propustná hornina, přes kterou se voda nemůže filtrovat a znečištění se dostává přímo do jeskynních prostor, kde se rychle a nekontrolovatelně šíří z důvodu rychlého proudění podzemní vody v otevřených kanálech.



Obr. 1. Vápence - puklinovo-krasová propustnost až otevřené krasové kanály (zdroj: ČGS)



Obr. 2. Nekrasové horniny – puklinová propustnost (zdroj: ČGS)

To je hlavní důvod, proč některé způsoby čištění odpadních vod jsou nevhodné pro krasové oblasti. Vzhledem k této závažné skutečnosti, nechala Správa CHKO Moravský kras z dotačního programu MŽP (POPFK) zpracovat studii, která se touto problematikou zabývá. Studie „Porovnání dostupných možností řešení likvidace odpadních vod v krasových oblastech na příkladu obcí Holštejn a Lipovec“ byla zpracována kolektivem odborníků zaměřených na problematiku čištění odpadních vod sdružených v Asociaci pro vodu ČR z.s.

Vhodné způsoby čištění odpadních vod

Jediný vhodný způsob likvidace odpadních vod z obcí v krasových oblastech a obcí, jejichž odpadní vody do krasové oblasti přitékají (s výjimkou rozptýlené zástavby, kterou z technických a ekonomických důvodů nelze odkanalizovat), jsou mechanicko-biologické ČOV. Tyto čistírny jsou dlouhodobým řešením a zahrnují možnost napojení všech nemovitostí v obci včetně rekreačních objektů. Jedná se o stabilní způsob čištění odpadních vod (pravidelná kontrola technického stavu a odběry vzorků) s vysokou účinností odstraňování fosforu a denitrifikačních procesů. Provozovatelem je jeden subjekt, který je zodpovědný i za výstní objekt kanalizace a jsou zde dány přísnější limity pro vypouštění odpadních vod (kontrolováno více ukazatelů) v porovnání s malými domovními ČOV. Na těchto ČOV máme také záruku zákonné likvidace kalů, což je právě na území krasových oblastí velmi důležité. Podle Follera (2021) obecná kritéria pro volbu technologie ČOV lze stanovit požadavkem na dodržení jasně specifikovaných parametrů mechanického a biologického stupně ČOV již v zadávacích podmínkách pro návrh řešení projektové dokumentace. Pokud dodrží projektant předepsané hodnoty určených technologických kritérií, bude mít vybudovaná ČOV stabilní a vyrovnané výsledky na odtoku.

K odvádění splaškových komunálních odpadních vod je nezbytné vyloučit jednotné kanalizace. Jediným řešením je oddílná splašková kanalizace. U jednotné kanalizace dochází při přívalových deštích k tzv. odlehčení, což znamená vypouštění zředěných splaškových vod přímo do toku, protože čistírna není schopna vyčistit najednou takové množství odpadních vod. Podle Follera (2021) ještě horší situace může nastat při odlehčení vod po smíšení přítoků splašků z oddílné kanalizace do původní jednotné kanalizace navržené v minulosti na jiná hydraulická zatížení. Je tedy důležité vyloučit veškerá řešení, která počítají s odlehčením odpadních vod do recipientu odvádějícího vody do krasových prostor. Zásadně je třeba odmítnout taková řešení, která připouštějí vznik „kombinovaných“ stokových sítí, například vlivem možné další občanské výstavby po účelových změnách územních plánů obcí.

Nevhodné způsoby čištění odpadních vod

Malé domovní čistírny odpadních vod

Dle zákona č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu v posledním znění, není řešení odvádění odpadních vod s počtem trvale napojených fyzických osob menším jak 50 a s nižší denní produkcí odpadních vod jak 10 m³ kanalizací pro veřejnou potřebu. Pro takto malé ČOV tedy neplatí celá řada standardních legislativních požadavků na navrhování, výstavbu a provoz. Další legislativní předpis, zákon č. 254/2001 Sb. o vodách v posledním znění, umožňuje u ČOV do 50 ekvivalentních obyvatel speciální zjednodušený režim výstavby i kontroly ČOV v rámci ohlašování výrobku označeného CE. V praxi to znamená u takových objektů nižší standard řešení, a také jejich provedení a vybavení. Tomu následně odpovídající významně horší reálné výsledky a spolehlivost čištění odpadních vod. Vážným problémem pro zajištění trvale účinného a spolehlivého fungování čistícího procesu u domovních čistíren odpadních vod (DČOV), je už samotné kolísání znečištění na přítoku i hydraulického zatížení, dané režimem nakládání s vodami v jediné nemovitosti. Inhibiční nebo až toxický dopad na biocenózu v aktivační nádrži může mít použití některých prostředků běžné domácí hygienické nebo čistící chemie v poměrně „obvyklém“ množství (Foller et al., 2021). DČOV mají nízkou schopnost odstraňovat fosfor a velmi těžko dosažitelné podmínky pro denitrifikaci (ve vodě zůstávají po přeměně amoniaku dusičnany, které se již dále nerozkládají na dusík). Problémem jsou také tuky, které se musí pravidelně odstraňovat, jinak mohou způsobit nefunkčnost DČOV a kal, který se musí pravidelně odstraňovat. Kal je zakázáno ukládat na území chráněných krajinných oblastí a musí být likvidován v souladu se zákonem.

V některých případech je veřejností nebo obecními správami zvažována alternativní možnost nebo nabídka „snadnějšího“ vyřešení zpracování odpadních vod v menších obcích právě soustavou jednotlivých domovních ČOV namísto systematické kanalizace zakončené jednou obecní čistírnou odpadních vod. V každém případě se zde jedná o značný technický a ekologický kompromis, daný už samotným konceptem řešení většiny DČOV. Tyto jsou primárně určeny pro použití u obtížně dosažitelných samot, rekreačních nebo ubytovacích zařízení, případně malých skupin nemovitostí. Zasakování není možné v tak hydrogeologicky citlivém prostředí jako jsou krasy, kde recipienty končí v propadáních, a kde může jít o přímý nátok do krasového podzemí (Foller et al., 2021).

Vegetační čistírny odpadních vod

Z technického pohledu se jedná o objekty s velmi omezenými možnostmi regulace a ovlivnění účinnosti procesu čištění. Účinnost čištění bývá dokládána většinou pouze výsledky stanovení ze vzorků vyčištěné

odpadní vody, často pouze bodových a z dostupných dat většinou nelze sestavit vypovídající látkovou bilanci. Není jednoduše možné podchytit vazbu mezi hodnotou koncentrace znečištění právě přitékajících odpadních vod a aktuální hodnotou odtoku. S ohledem na proměnlivé vlastnosti a hustotu kořenového systému není v průběhu času zcela jisté shoda mezi geometrií a hydraulickým objemem biologického stupně čistírny daným výkresovou dokumentací při zahájení provozu a realitou po několika letech (Foller et al., 2021).

Nedostatečná účinnost při odstraňování dusíku je patrná hlavně u kořenových čistíren instalovaných na oddílné splaškové kanalizaci. Účinnost odstraňování fosforu (nelze z principu jednoduše aplikovat chemické srážení), je závislá především na chemických vlastnostech použitého kameniva v biologickém stupni. Účinnost zachycení fosforečnanů, uvolněných biochemickými procesy na použitých vápencích nebo dolomitech postupem času klesá a skutečnost, že sledování odtokových koncentrací fosforu není u těchto objektů pod sankcí předepsaným parametrem, vede k tomu, že je k dispozici zatím poměrně málo relevantních informací (Foller et al., 2021).

Dalším problémem je kalové hospodářství. Kal z anaerobního předčištění na mechanickém stupni vegetačních ČOV je v současnosti možné zpracovat pouze na větších městských ČOV. Specifickým odpadem z provozu vegetačních čistíren odpadních vod jsou tlející zbytky „zelené hmoty“ po skončení vegetačního období. Při dlouhodobém výhledu se na stávajících zařízeních ukazuje jako problém obnova „kořenového“ lože a způsob likvidace a nakládání s vytěženým použitým kamenivem. V oblastech jako je CHKO Moravský kras není možné řešit tento především logistický problém improvizacemi podle aktuálních okolností, ale na vegetační ČOV by mělo být počítáno minimálně s prostorem na regeneraci kameniva pro případnou recyklaci. Praxe zatím ukazuje, že k potřebě řešit obnovu kameniva dochází u látkově málo zatížených objektů za 15–20 let, u vegetačních ČOV na oddílné splaškové kanalizaci nejsou relevantní data k dispozici (Foller et al., 2021).

Legislativa

Legislativa ochrany povrchových a podzemních vod v krasových oblastech je nedostatečná, přesto, že se ČR připojila k řadě mezinárodních aktivit a úmluv v této oblasti. Ani jedna ze současných legislativních norem nedává ochráncům přírody, zodpovědným projektantům a investorům dostatek argumentů k obhajobě objektivně vyšších, ale nezbytných nákladů na technická řešení, které je nutné předpokládat, než jsou náklady běžné při realizaci obdobných staveb v méně citlivých územích a lokalitách. Za jedinou výjimku, platnou pro CHKO v souvislosti s čištěním a odváděním odpadních vod lze uvést omezení aplikace upravených čistírenských kalů na zemědělskou půdu v těchto oblastech. V souladu s mezinárodně uznávanými doporučeními pro ochranu krasových útvarů a jeskynních systémů, je nezbytné sledovat všechny důležité složky znečištění v rozsahu, který je využíván pro velké ČOV (Foller et al., 2021).

Závěr

Hlavním předmětem ochrany v krasových oblastech jsou povrchové a podzemní krasové jevy a krasové toky. Vzhledem k vysoké zranitelnosti krasového území by pro tato území měly platit přísnější limity než pro jiné oblasti. V krasových oblastech jsou škody způsobené absencí ČOV mnohem vyšší než v okolní krajině. Také náklady na projektové a realizační práce jsou vzhledem ke specifickým podmínkám vyšší. Správa CHKO Moravský kras dlouhodobě usilovala o dotační program určený právě pro krasová území. Od srpna 2022 mohou obce do 2000 obyvatel, jejichž vody mají vliv na předměty ochrany CHKO, požádat SFŽP o zvýšenou dotaci a výhodnou půjčku na výstavbu a intenzifikaci ČOV.

Poděkování

Správa CHKO Moravský kras děkuje České geologické službě a Asociaci pro vodu ČR, z.s. v za spolupráci při řešení problematiky čištění odpadních vod. Poděkování patří také paní senátorce Jaromíře Vítkové a ministryni životního prostředí Anně Hubáčkové, kterým se podařilo zvýhodnit chráněné krajinné oblasti při získávání dotací na výstavbu a intenzifikaci mechanicko-biologických ČOV.

SEZNAM LITERATURY:

FOLLER J. et al., 2021: Odborná studie Porovnání dostupných možností řešení likvidace odpadních vod v krasových oblastech na příkladu obcí Holštejn a Lipovec. - Asociace pro vodu ČR z.s.
 KRYŠTOFOVÁ E., 2021: Odborné posouzení specifických hydrogeologických podmínek Moravského krasu a zejména povodí toku Bílá voda v rámci analýzy vhodných způsobů čištění odpadních vod a odkanalizování obcí se zaměřením na k.ú. Holštejn a k.ú. Lipovec. - Česká geologická služba. Brno.

Cesta vody v podzemí Černé Hory

Roman Hadacz¹, Vít Baldík^{1,3}, Jiří Otava^{1,3}, Pavel Čáp⁴, Filip Chalupka², Jiří Žiak²

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

² AOPK ČR, RP Jižní Morava, Správa CHKO Moravský kras, Svitavská 29, 678 01 Blansko, e-mail: filip.chalupka@nature.cz

³ ČSS ZO 6-14 Suchý žleb, Optátova 23, 637 00 Brno

⁴ Česká geologická služba, Klárov 3 Praha, e-mail: pavel.cap@geology.cz

Abstrakt:

Česká geologická služba (ČGS) navázala na dlouholeté expedice základní organizace České speleologické společnosti (ČSS) Suchý žleb do Černé Hory. Ve spolupráci s ČGS byly vybrány oblasti vysokohorského krasu pro další poznání oblasti infiltrace podzemních vod a prostup vody jeskynními systémy až k erozní bázi řek. Vzorkovány byly rovněž podzemní vody při vyústění do moře, konkrétněji do boky Kotorské (Risan). Součástí zmiňovaného poznání bylo i posouzení geologické situace. Pro podrobnější odborné zpracování byly vybrány dvě významné oblasti a to vysokohorský krasu Maganiku s nejvýznamnější Čechy objevený vertikální systém Iron Deep–Iron Breath s aktuální hloubkou téměř 1200 metrů. Druhá oblast zájmu je pohoří Orjen. Česká geologická služba je v letech 2020-2025 garantem projektu RENS (grant TAČR), jehož důležitou součástí je zjišťování kvality podzemních vod a půd v krasových oblastech ČR. V rámci tohoto programu se naskytla jedinečná možnost porovnat kvalitu vod studovaných českých krasových oblastí s vodami, u nichž předpokládáme minimální, nebo žádnou kontaminaci způsobenou lidskými aktivitami, tedy právě s krasovými oblastmi Černé Hory.

Klíčová slova: stopovací zkoušky, fluorescein, jeskyně, ponor, vývěr, odběry vzorků vod, odběr vzorků hornin,

Úvod

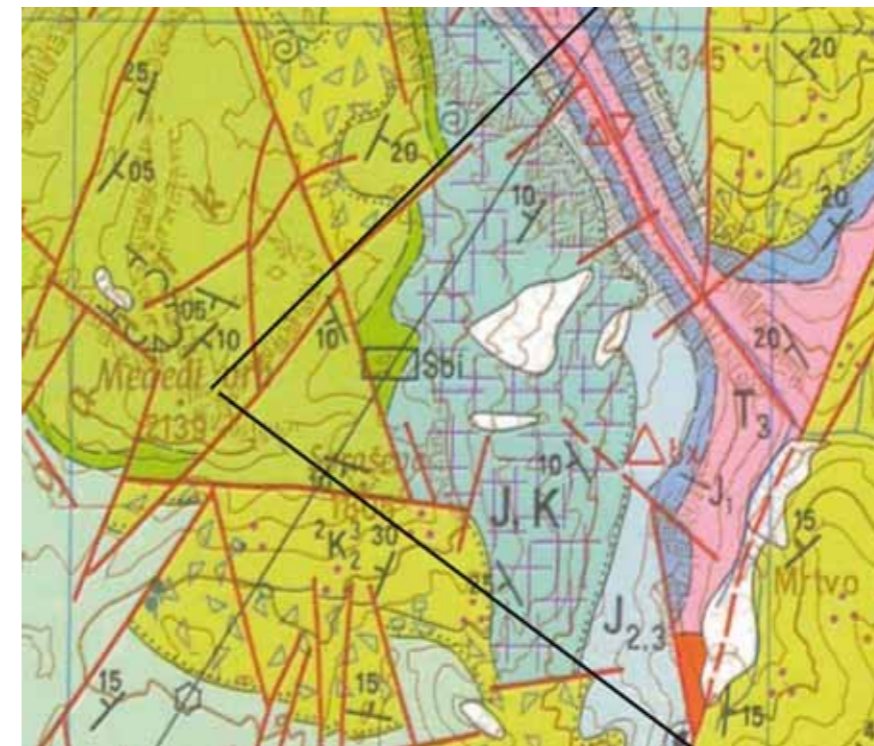
V pohoří Maganik se v infiltrační oblasti nachází mnoho jeskyní, některé byly objeveny českými speleology, jiné polskými a francouzskými expedicemi. Do oblasti proudí od Jadranu vlhký a teplý vzduch a přináší velké množství srážek dosahující až 3500 mm ročně. V jeskyni Iron Deep bylo naplánováno injektování fluoresceinu do aktivního toku jeskynního systému pro uskutečnění stopovací zkoušky. Stopovací pokus by mohl ukázat, jak a kudy se podzemní tok dostává do vyvěraček. Za erozní bázi je v tomto případě předpokládán tok řeky Mrtvice. Dalším úkolem bylo odebrání vzorků a kvalitu vod pro porovnání s krasovými oblastmi v ČR. Celkem bylo odebráno 5 vzorků vod. Analýzy budou provedeny v laboratořích ČGS. Mapa (obr. 1) ukazuje oba vápencové masivy a boku Kotorskou s Risanským zálivem.



Obr. 1. Mapa Černé Hory s dvěma vybranými krasovými oblastmi, (moje mapy google)

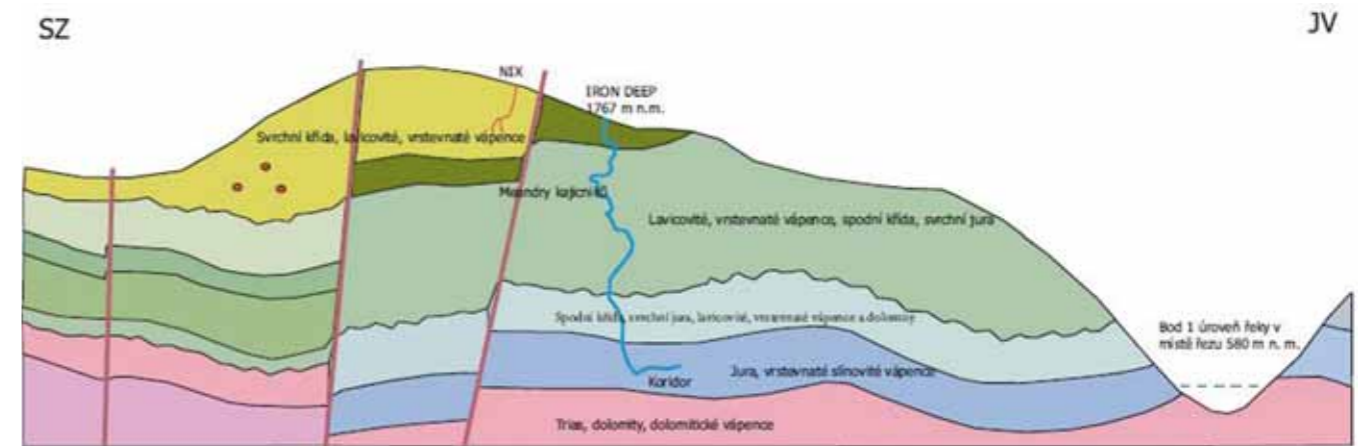
Upřesnění geologických poznatků

Oblast Maganiku je jedinečnou geologickou oblastí, kde vrcholové partie tvoří čisté hrubě lavicovité a masivní křídové vápence. Tyto litologické vlastnosti ve spojení se subhorizontální vrstevnatostí, výrazným systémem subvertikálních puklin a hojnými srážkovými úhrny (Otava – Baldík 2013) daly vzniknout desítkám vertikál, jejichž hloubky přesahují až 400 m (propast Nyx). V jejich podloží vystupuje sled jurských karbonátů, často charakteru kalciturbiditů, v nichž se střídají desky vápenců a jílovitých vápenců. Tato litologická změna způsobila, že pod vertikálami následuje složitý systém meandrů s převahou horizontálního odvodňování. Dna kaňonů řek Mrtvica a Morača jsou zařezána do triasových dolomitů. Pohoří Maganik je významné jurskými bauxitovými ložisky vázanými především na paleokrasový povrch, tedy paleoreliéf, který vznikl po vyoření triasových karbonátů. Pro genezi krasových systémů se ukázalo velmi významnou okolností výskyt střednětriasových andezitových pyroklastik a efuziv pronikajících do karbonátového komplexu (obr. 4 paleovyvěračka Vranščica).

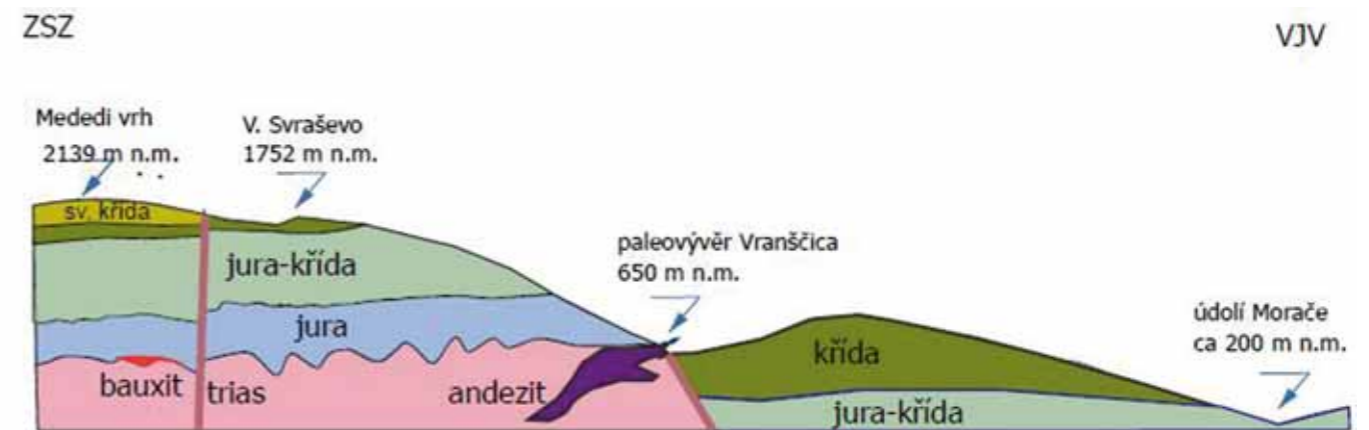


Z použitím geologické mapy (obr. 2) byly vyhotoveny dva situační řezy. Řez vedený SZ-JV (obr. 3) vede přes vertikální jeskyni Iron Deep a jsou na něm patrné všechny předpokládané stratigrafické horizonty. Řez směru ZSZ-VJV vede od nejvyšších parití Maganiku (Mededi vrh) po kaňon Morače a zvýrazňuje význam andezitových výlevů pro genezi paleovyvěračky Vranščica (obr. 4 a 7).

Obr. 2. detail geologická mapy, vysvětlivky barev viz obr. 4 (Osnova geološka karta SFRJ: ŠAVNIK. 1:100 000)



Obr. 3. Situační řez z geologická mapy profilu Trsteni vrh-Mrtvica v pohoří Maganik, délka řezu cca 10 km (Osnova geološka karta SFRJ: ŠAVNIK. 1:100 000).



Obr. 4. Situační řez po linii Mededi vrh-Vranščica-Morača v pohoří Maganik, délka řezu cca 10 km (upraveno dle zdroje: Osnova geološka karta SFRJ: ŠAVNIK. 1:100 000).

Jeskyňe masivu Maganik, měření, vzorkování

Samotná infiltrační oblast se nachází na náhorním platu a zahrnuje především masiv nejvyššího vrcholu pohoří Maganik (Mededi vrh, 2139 m n.m.) a širší okolí kóty Tresteni vrh (1980 m n. m.). Oblast je tvořena svrchně křídovými sedimenty, které vytvářejí škrapové pole (obr. 5). Dominující puklinový systém, který je dobře pozorovatelný rovněž na družicových snímcích má směr SSZ-JJV (Otava – Baldík 2013).

Jeskyňe Iron Deep, jejíž vchod leží 1767 m n.m.) je momentálně v této oblasti nejhlubší a nejdelší. Po propojení se systémem Iron Breath zatím dosahuje hloubky 1175 m a celková délka chodeb (polygonu) přesahuje 6 km. Z hloubky -300 až -380 metrů byly odebrány vzorky sedimentů na výbrusy a podrobnější sedimentologické zkoumání (obr. 6). Vzorky jsou nyní analyzovány v laboratořích ČGS. Puklinové systémy byly měřeny ve svrchní části kaňonu Mrtvice.

Na tektonické linii SZ-JV se na úpatí hlavního masivu, tedy asi 360 m n.m. se nachází recentní vývěrová jeskyňe Jame (obr. 8 a 9). Při předchozích rekognoskacích byl průnik zastaven vodní hladinou prakticky hned za vstupem, pod prvním vertikálním stupněm. Nyní za sucha byla prostoupena do vzdálenosti cca 200 m, kde dále pokračovala sifonem. Jeskyňe Vranštica (obr. 4 a 7) byla v předchozích letech zkoumána francouzskými speleology. Celková délka probádané části se odhaduje na cca 3 km. Jedná se o paleovývěrovou jeskyňu, jejíž portál leží v nadmořské výšce 650 m, tedy asi 400 m nad tokem Mrtvice. V prostoru mezi vchodem a monastýrem nad obcí Mrtvo Duboko, tedy v podloží jeskyňního systému vystupují v délce více stovek metrů andezity, což mělo v minulosti evidentně zásadní vliv na vznik vyvěračky. Těsně pod vstupním portálem je relikt až 10 m mocných zpevněných štěrků zakrytých vrstvou kozích a ovčích bobků – vstupní partie evidentně slouží jako úkryt před nepřízní počasí. Ve vstupní suché části jeskyňe je zachován až 10 m mocný profil tvořený písky, jíly a štěrky, krytý místy sintry.

V sedimentech se nacházejí kosti obratlovců (v současné době byl potvrzen pouze *Ursus spelaeus* a *Ursus arctos*). Stáří tohoto sedimentu bude předmětem bádání v následujících etapách. Průstup zatopené části jeskyňe je absolutně závislý na ideálních vodních stavech, protože je nutno překonat několik podzemních jezer (obr. 7)

Stopovací zkouška

V předchozím období, kdy speleologové Suchého žlebu zkoumali propastovitý systém Iron Deep – Iron Breath, zjistili stopy ničivé povodně uvnitř horizontální části jeskyňe a zároveň ve stejné době stopy povodně v erozní bázi toku Mrtvice (stržený most). Začalo být jasno, kde zřejmě došlo k odtoku z jeskyňe Iron Deep (Dvořák 2021). Na (obr. 8) je vidět volba umístění trojice patron. Výjimečně nízký stav vody v Mrtvici umožnil toto řešení. Cesta vyvěračky Jame je patrná z (obr. 9).

Použité patrony jsou plastové tuby se síťovinou s aktivním uhlím. Do ponoru v jeskyňi Iron Deep v následně za tři dny hloubce -420 m byl injektován fluorescein. Ten je rozpoznatelný i při zředění 1:40 000 000.

Orjen

Další zájmové území vysokohorského krasu se nachází mezi bokou Kotorskou a Dragaljským poljem severně od Risanu. Oproti masivu Maganik je infiltrační prostor krasu tvořen větším počtem závrtů a Dragaljským



Obr. 5. Na snímku je cesta k jeskyňi Iron Deep a typické škrapové pole



Obr. 6. Odběr vzorků hornin na výbrusy



Obr. 7. Třetí jezero v jeskyňi Vranštica



Obr. 8. Schéma umístění patron a pozice zkoumaných jeskyň. Modrá šipka ukazuje přepokládaný směr proudění. Oranžová šipka ukazuje na pravděpodobný směr odvodňování do systému paleovyvěračky Vranštica. Šedé linie vyznačují zlomy z morfostrukturní analýzy.



Obr. 9. Cesta k příčnému údolí, k vývěru Jame. Nahoře vrchol Veliko Svraševo 1752 m n. m

poljem (obr. 10). Ročně zde spadne až 5000 mm srážek (stanice Crkvice nad Risanem), infiltrovaná voda se dostává ca 300 a více m pod terén (např. systém Maglena jama, Horáček et al. 2016), proto i přes největší množství srážek v Evropě zde neexistuje stabilní povrchové odvodňování. Infiltrovaná voda se objevuje až v Risanském zálivu boky Kotorské, kde jsou dvě velké vyvěračky Sopot a Spila. Ty jsou aktivovány až při vyšších vodních stavech. Většinu roku jsou aktivní pouze podmořské vývěry. Vyvěračka Spila je zároveň jímací území pro Risan

Odběr vzorků vod

Vzhledem k vysokohorskému charakteru krasových oblastí, nepřítomnosti velkých průmyslových podniků a rozsáhlých zemědělsky obdělávaných oblastí, není pravděpodobné znečištění odebraných vzorků. Výsledky



Obr. 10. Pohled na typickou infiltrační oblast. Jeden z mnoha vrcholů Velji Vrh 1277 m n. m

analýz tudíž mohou sloužit k porovnání s krasovými oblastmi v ČR, kde jsou vzorky podrobně zkoumány z hlediska hydrogeologické struktury, definování infiltračních oblastí a se zaměřením na kvalitu vod a půd v rámci dotačního projektu RENS (Rocks Environment Natural Resources) Technologické agentury České republiky (TA ČR). Celkem bylo v Černé Hoře odebráno 5 vzorků podzemních a povrchových vod (tab. 1.). Na obr. č. 11. vidíme odběr vzorků vod z vývěru Jame.

Tab. 1. Odběr vzorků na kvalitu vod

číslo vzorku	datum odběru	Oblast	Lokalizace	typ vzorku	druh rozboru
MNEPV01	12. 08. 2022	Maganik, Mrtvica	vývěr Jame	PV*	**FCHR, kovy, Sr
MNEPV02	12. 08. 2022	Maganik, Mrtvica	jeskyně Jame	PV*	**FCHR, kovy, Sr
MNEPV03	18. 08. 2022	Maganik, Mrtvo Duboko	Vranštica, druhé jezero	PV*	**FCHR, kovy, Sr
MNEPV04	14. 08. 2022	Maganik	tok Mrtvice	řeka	**FCHR, kovy, Sr
MNEPV05	17. 08. 2022	Orjen, boka Kotorská	Risan, vývěr Spila	PV*	**FCHR, kovy, Sr

pozn. * podzemní voda

pozn. ** fyzikálně chemický rozbor a rozbor kovů



Obr. 11. Odběr vzorku vod, vývěr Jame

Závěr

Stopovací zkoušky byly cíleny na ověření předpokládaného směru odtoku z jeskynního systému Iron Deep-Iron Breath do kaňonu Mrtvice. Ve vertikální jeskyni Iron Deep byl obarven aktivní tok v hloubce -420 m fluoresceinem. Ve zmiňované jeskyni byly odebrány vzorky hornin pro ověření stratigrafického rozhraní jury a křídly. Vzorky kvality vod byly odebrány z vývěru a sifonu Jame, z jezera v jeskyni Vranštice, z řeky Mrtvice a k celkovému srovnání kvality vod byl odebrán vzorek z vývěru Spila v Risanském zálivu boky Kotorské. Předpoklad byl, že odebrané vzorky vod z vybraných oblastí budou prosté chemického a biologického znečištění. Po celkovém vyhodnocení vzorků bude následovat další postup a rozšíření výzkumu ve výše zmíněných oblastech.

SEZNAM LITERATURY:

- DVOŘÁK, Z., 2021: Expedice Černá Hora.– Speleofórum. 1. Praha: ČSS, s. 4. ISBN 978-80-87587-41-0. ISSN 1211-8397.
- HORÁČEK, D., ROUS, I., HONZEJK, J., 2016: Výroční zpráva ZO 4-01 ČSS Liberec za rok 2015-16[online]., 46 [cit. 2022-09-15]. Dostupné z: <http://www.speleolbc.cz/images/VZ2015-2016.pdf>
- KARAMAN, M. G. A PAVIČEVIĆ, M., 2018: Establishment Of Natura 2000 Network In Montenegro: general report on cave habitat type[online]., 66 [cit. 2022-09-15]. Dostupné z: <https://www.speleo.cz/file/11909/caves-montenegro-natura2000.pdf>
- OTAVA, J. – BALDÍK, V., 2013: Geology and Deep Verticals: Case Study from Maganik Mts., Montenegro. In Filippi M., Bosák P. (eds.): Proceedings of the 16th International Congress of Speleology, July 21–28, Brno. Volume 2, s. 507. – Czech Speleological Society. Praha.
- LES CHEMINS DE L'ORJEN, 2003: Expédition du 30 juillet au 20 août 2003 au Monténégro (Crna Gora). Massif de l'Orjen. Paris. Moje mapy googl]., 2022: [cit. 2022-09-15]. Dostupné z: https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1Ar-CleAxG4cmFIE00IZUvAkDkpo_Ccc&ll=42.89515090149096%2C19.362821727832046&z=9
- OSNOVA GEOLOŽKA KARTA SFRJ, 1970: ŠAVNIK. 1:100 000. 1. Beograd: Stručno-technička redakcija Seizmološkog zavoda SRS. ZO 6-14 Suchý žleb: Projekt Orjen[online]. [cit. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.suchy-zleb.cz/wp-content/uploads/SV501053.jpg>
- ZPRÁVA O ČINNOSTI ČESKÉ SPELEOLOGICKÉ SPOLEČNOSTI ZA OBDOBÍ 2013-2016. Praha: Česká speleologická společnost, 2017. ISBN: 978-80-87857-23-6. Str. 105, ČSS, ZO 4-01 Liberec.

Metody současného speleologického průzkumu

Jan Lenart

Česká speleologická společnost, Na Březince 1513/14, 150 00 Praha;
Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta, Ostravská univerzita,
Chittussiho 10, 710 00 Ostrava,
jan.lenart@osu.cz

Abstrakt:

Speleologický průzkum je souhrn vysoce specializovaných praktických činností, které speleolog používá při objevování nebo návštěvě nepřístupných jeskyní. Jde o kombinaci způsobu lidského pohybu a využití technologií. Speleologický průzkum patří do metodického aparátu oboru speleologie a vyznačuje se neobyčejnou komplexností, kterou se odlišuje od jiných činností. Předložený příspěvek přináší souhrn metod současného speleologického průzkumu bez ohledu na legislativní požadavky, které mohou v daném místě a čase klást na speleologa dodatečné a často průzkum znemožňující povinnosti.

Klíčová slova: legislativa, metody, nepřístupné jeskyně, speleologie.

Úvod

Speleologický průzkum je systém metod, který slouží speleologovi při objevování nebo návštěvě nepřístupných jeskyní, tedy těch, které nejsou upraveny pro vstup speleologie neznalé veřejnosti. Při speleologickém průzkumu se chová speleolog tak, aby dosáhl dosud neznámých prostor a zároveň minimalizoval škody na zdraví a přírodě. Metodický aparát speleologického průzkumu je neobyčejně bohatý a komplexní, což vyplývá z potřeby postupovat v malé skupině osob prostorem s velmi specifickými a složitými přírodními podmínkami (obr. 1). Speleolog využívá kombinaci mnoha způsobů lidského pohybu a využití tradičních i moderních technologií.

Metodický aparát

Současný stav metodického aparátu speleologického průzkumu ukazuje obr. 2. Není zde prostor postihnout celkovou šíři všech používaných postupů, avšak k vytvoření představy o jeho komplexnosti a specializovanosti jistě poslouží. Zastavme se u schopnosti speleologa přirozeně se v podzemním prostoru orientovat. Vstupní znalosti geologie, karsologie, sedimentologie, geomorfologie, hydrologie, hydrogeologie, mikroklimatologie, biologie či archeologie v kombinaci s rešerší výsledků předchozího speleologického výzkumu umožňují speleologovi snáze dosáhnout dalšího postupu jeskyní a lépe se zorientovat. K dispozici může mít s sebou navíc další technické prostředky používané v tom kterém oboru. Současně si musí speleolog vytvářet při postupu neznámým prostředím mentální mapu, neboť na klasické mapování není často při prvotním průstupu čas.



Obr. 1. Průstup vodopádem

3. Průzkum vs. legislativa

Speleologický průzkum je součástí širšího oboru speleologie. Svou komplexností, ale zároveň vysoce specializovanými postupy, se odlišuje nejen od jiných vědeckých oborů, ale také od pracovních postupů (např. práce ve výškách a nad volnou hloubkou, práce prováděná hornickým způsobem) či sportu (horolezectví, turistika). Mnohé z metod, které speleolog při průzkumu nutně využívá, jsou právě v paralelních odvětvích legislativně ošetřeny a někdy i zakázány. Snahy o přenesení této legislativy do prostoru nepřístupných jeskyní pak přináší problémy ve smyslu fyzické nemožnosti její aplikace, ohrožení zdraví a života speleologa, nebo dokonce značného poškození jeskyně v případě její plné aplikace. Vysvětleme si rozdíl na příkladu horníka a speleologa. Zatímco první z nich podzemní prostor vytváří za přesně předepsaných pravidel a postupů (rozměry podzemí, větrání), ten druhý se pohybuje přírodními prostory, a kromě drobných zásahů jako je odstranění sedimentů nebo odsekání skalního výčnělku přijímá pravidla nadiktována přírodními procesy před mnoha tisíci let.

Při odstraňování překážek se při průzkumu používají celosvětově ověřené postupy, kdy speleolog zasahuje do horninového masívu nebo sedimentární výplně v takové míře, aby mu to umožnilo pokračování průzkumu a transport potřebného materiálu. Některé z metod odstraňování překážek jsou v některých zemích legislativně ošetřeny, neboť při jejich aplikaci dochází k poškození jeskyně.

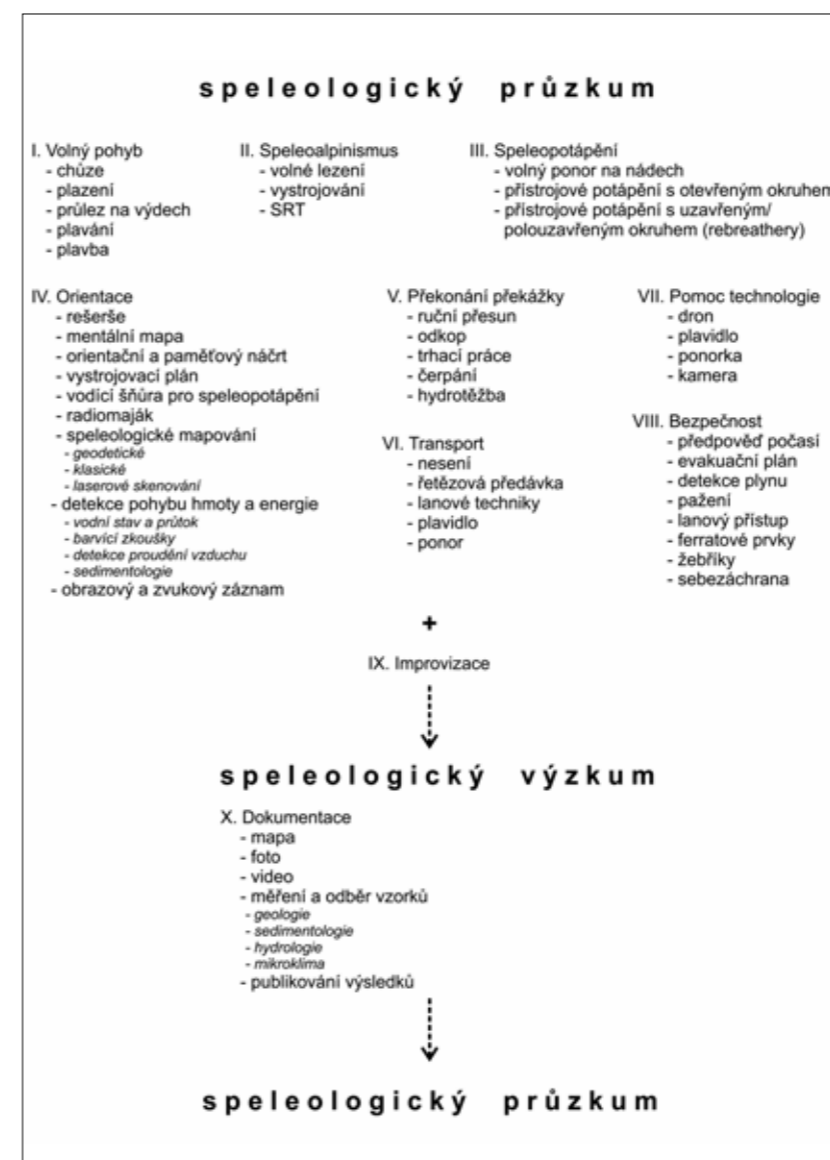
Ke speleologickému průzkumu přistupuje speleolog se zvýšenou mírou zodpovědnosti především za zdraví své a svých kolegů. Můžeme dokonce hovořit o kolektivní zodpovědnosti, neboť speleologové vždy provádějí průzkum ve skupině alespoň dvou osob a vzájemně si vypomáhají. Pro zajištění bezpečnosti při

průzkumu využívají speleologové postupy a technické pomůcky, jejichž užití v jeskyni se často neslučuje s doporučeným užitím na povrchu. Přesto takový způsob představuje nejlepší a nejbezpečnější zabezpečení průzkumné trasy. Jako příklad jmenujme velmi úzké a dlouhé žebříky instalované v úzkých jeskynních vertikálách, lanová přemostění nebo překonání vodních útvarů pomocí vorů. Speleolog musí vždy improvizovat, neboť právě improvizace je poslední a možná i nejdůležitější jeho schopnost.

Závěr

Speleologický průzkum je souhrn praktických činností, které speleolog používá při objevování nebo návštěvě nepřístupných jeskyní. Ačkoliv jsou tyto činnosti vysoce specializované, je jejich kombinované využití velmi komplexní. Speleolog je všestranný odborník, často však brzděný při své činnosti mimooborovou legislativou, která se na něj snaží aplikovat v jeskyni někdy až nerealizovatelná pravidla.

Poděkování: Jan Sirotek



Obr. 2. Metodický systém speleologického průzkumu a výzkumu.

Speleopotápění v severní části Moravského krasu

Jan Sirotek

Česká speleologická společnost, ZO 6-25 Pustý žleb, Olšová 1, 615 00 Brno,
e-mail: jsirotek@gmail.com

Abstrakt:

Již přes sto let je při speleologických výzkumech severní části Moravského krasu využíváno jeskynní potápění. Díky němu došlo k mnoha významným objevům při postupném odkrývání podzemního průběhu Punkvy a jejích zdrojnic. Příspěvek shrnuje historii a vývoj jeskynního potápění od prvních ponorů týmu Karla Absolona až po současnost.

Klíčová slova: jeskynní potápění, historie, sifony

1. Úvod

Voda je klíčovým faktorem pro vznik jeskyní, ale patří také k nejčastějším překážkám, které brání speleologům v dalším postupu v jeskyních. Hluboké tůně a tajemné sifony severní části Moravského krasu přitahují pozornost krasových badatelů více než dvě století.

Již v roce 1808 se pokoušel starohrabě Hugo Salm proniknout proti proudu Punkvy z vývěru v Pustém žlebu, kde jej ve vzdálenosti 76 m definitivně zastavil sifon. O rok později Karel Josef Jurende jako první vyslovil teorii o souvislosti Sloupského potoka s vodami na dně Macochy a vývěrem Punkvy v Pustém žlebu. První pokus o proplavání vývěrového sifonu podnikl na nádech 15.7.1852 vídeňský sportovec F., který se ale málem utopil a musel být zachráněn svojí ženou. O dva roky později Karel Kořistka potvrdil teorii Jurendeho a následně J. Horkého, že Punkva není ničím jiným než spojením Sloupského potoka a Bílé vody. Byl tak dán základ pověstnému „magickému trojúhelníku“ mezi ponory ve Sloupě, na Holštejně a Horním jezírku na dně Macochy, který se stal klíčovým motivem zkoumání generací krasových badatelů. Řešení tohoto problému ale na všech stranách bránila po mnoho let voda a sifony. Klíčem k zásadním objevům se ve 20. století stalo speleo-potápění.

2. První skafandry

Na systematické výzkumy severní části Moravského krasu prováděné Martinem Křížem a Jinřichem Wankelem navázal počátkem 20. století Karel Absolon, který neváhal při výzkumech využívat nejnovější technické vymoženosti tehdejší doby. Pro hledání vodní cesty mezi Macochou a vývěrem Punkvy pořídil již v roce 1920 Drägerův skafandr a angažoval vysloužilého vojenského potápěče Emila Buršíka. Ten se 9.1.1921 poprvé potápěl v Horním a posléze Dolním jezírku v Macoše. Nutno zmínit, že vůbec první jeskynní ponor v Moravském krasu provedl Günther Nouackh v roce 1912 se zapůjčeným skafandrem od firmy Westfalia v Šenkově sifonu v jeskyni Býčí skála.

Zajímavostí bylo, že tento ponor provedl se směsí nitroxu. Ale vraťme se zpět k řešení problémů na Punkvě. 23. 1. 1921 zahájil Buršík průzkum Zlého sifonu ze strany vývěru Punkvy. Zde při druhém ponoru 20. 2. 1921 dosáhl hloubky 20 m. Po hodinovém hledání lokalizoval v hloubce 3,2 m otvor, který byl dále sledován trhacími pracemi.

V roce 1923 se s Buršíkovou výstrojí začal potápět Karel Tunál Divíšek, který asistoval při veškerém dalším dění a čerpacích pokusech ve Zlém sifonu až do chvíle odkrytí celé vodní cesty v roce 1933.



Obr. 1. Karel Tunál Divíšek ve skafandru Dräger
(Foto: Archiv SKB)

Divíšek také realizoval první ponor do vzdálenosti 28 m ve Vilémovické chodbě v ražené Odvodňovací štolě (dnes jeskyně Stovka). Na této lokalitě se také opakovaně potápěl v roce 1941, kdy byly postupně sestřelovány stropy sifonu. Divíšekova potápěčská kariéra byla ukončena v roce 1942, kdy musel odevzdat skafandr likvidační komisi akciové společnosti Moravský kras. Dále se musel potápět již jen na nádech, jak již to ostatně dříve činil mnohokrát.

3. Skupina Neptun

Dalším zdokumentovaným speleopotápěčským průzkumem byl až v roce 1952 ponor Františka Plška v Horním jezírku v Macoše za asistence členů Speleologického kroužku Závodního klubu Adamovských strojírů n. p. Adamov. Buršíkovu metu se mu ale kvůli naplaveným stromům nepodařilo překonat. František Plšek společně s Jaroslavem Fadrnou a Olinem Matouškem založili potápěčskou skupinu „Neptun“, která byla po několik dalších let hlavním hybatelem potápěčských průzkumů nejen v severní části Moravského krasu. Skupina Neptun se zapojila v letech 1955 až 1957 do intenzivního průzkumu Macochy. Hlavním cílem byl průnik do neznámých prostor za přítokovou stěnou propasti, přičemž klíčovou



Obr. 2. Potápění skupiny Neptun v Červíkových jeskyních (Foto: Archiv SKB)

rolí hrál potápěčský průzkum sifonu v Červíkových jeskyních. Do potápění se zapojili také potápěči Československé lidové armády pod vedením četaře Juhase. Trojice členů skupiny Neptun se v Červíkových jeskyních potápěla intenzivně i v letech 1958 a 1959 a postupně pronikala do vzdálenosti 15 m, kde je 8 m hluboká studna. V roce 1962 a 1963 se O. Matoušek a J. Fadrna znovu potápěli v Horním jezírku v Macoše. Ani oni a v budoucnu ani nikdo další nebyli úspěšní. V roce 1960 se J. Fadrna a F. Plšek potápěli také na lokalitě Čtyřcítka na vodní plavbě v Punkevních jeskyních a podíleli se na natáčení filmového dokumentu ve spolupráci s ostravskými potápěči. Aktivita skupiny Neptun se ovšem neomezily pouze na Macochu a Punkvu. V listopadu 1959 realizovali potápěčský průzkum sifonů ve spodních patrech Sloupsko-šoňvských jeskyní. V odtokovém sifonu na dně Palmové propasti se podařilo proniknout do vzdálenosti 20 m. Několik ponorů bylo realizováno v sifonu č. 6 a ve Wankelově jezírku, avšak bez

výraznějšího postupu. V listopadu 1961 se J. Fadrna neúspěšně potápěl v Hlubokém jezírku v Císařské jeskyni. Ve stejném roce se dvojice Fadrna – Plšek potápěla v Malém výtoku a v jeskyni Stovka v Odvodňovací štolě. Na základě postupu potápěčů zahájil Geografický ústav ČSAV sestřelování stropu sifonu. V roce 1961 došlo k první nehodě, kdy v Červíkových jeskyních uvázl vojenský potápěč Juhas, který byl vyprošťován během šestihodinové záchranné akce. Potápěčské akce Neptunu v Červíkových jeskyních a v jeskyni Stovka pokračovaly i v roce 1964 a 1965. Za povšimnutí stojí tehdejší používaná technika. První automatikou, kterou členové Neptunu používali, byla PL-40 z Chotěbořských strojírů. Dvojici dvoulitrových lahví, později nahradili dvěma sedmilitrovými lahvemi, čímž se přiblížili dnešním standardům. Zpočátku se potápěli v lehkých plovacích oblecích ženíjního vojska, které se však příliš neosvědčily. J. Fadrna zkoušel používat i kyslíkové dýchací přístroje Dräger 130 a 250. Po úpravě pojistného ventilu na dýchacím vaku se s nimi bylo možné potápět do hloubky 10 m. Po několika pokusech v jeskyních a ve volné vodě však dali potápěči přednost vzduchovým přístrojům. Práci pod vodou jim zjednodušil již v roce 1958 oblek vlastní výroby podle návodu z jednoho anglického časopisu. Automatiky PL-40 nahradily postupně automatiky vlastní konstrukce Luboše Krále, člena Neptunu. První byl dvouhadicový Super Neptun v roce 1961 a v roce 1963 ústenková automatika Neo Neptun.

4. Bílá voda

Přes všechny intenzivní snahy nebyl postup proti proudu z Macochy úspěšný a konečné řešení „magického trojúhelníku“ se tak postupně začalo řešit z jeho sv. vrcholu. 30. 12. 1964 došlo k zásadnímu objevu v jeskyni 13C, kdy členové Plánivské skupiny Speleologického klubu Brno pronikli v dóm Halucinací

na aktivní podzemní tok Bílé vody. Práci v jeskyni 13C se ujal profesionální skupina podniku Moravský kras pod vedením Ladislava Slezáka. Další postup sledoval sestřelováním stropů odtokového sifonu Bílou vodou. Trasu vytyčoval potápěč Zdeněk Šerebl, který byl klíčovým členem skupiny. Tyto práce si bohužel také vybraly první oběť speleopotápění u nás. 5. 9. 1965 během ponoru Zdeňka Šerebla se během potápění na nádech zřejmě zranil do hlavy při vynořování Jiří Šlechta a upadl do bezvědomí. Z. Šerebl našel jeho bezvládné tělo bez známek života až po vynoření.

Potápění a sestřelování sifonů pokračovalo v letech 1966–1968. Kromě Z. Šerebla se zde příležitostně potápěli také F. Plšek a J. Fadrna. V roce 1967 posílil profesionální skupinu O. Mrázek.

„Třináctka“ byla ale jen předehrou k zásadnímu objevu, který se podařil členům Plánivské skupiny 18. 1. 1969, kdy byla po výkopových pracích v Cigánském závrtu objevena Amatérská jeskyně. Ještě téhož roku v srpnu proplavali potápěči Milan Šlechta a Miloš Beníšek sifon na konci Povodňové chodby a otevřeli tak bránu k objevům rozsáhlého systému směřujícího k Macoše. Další události byly nespočetkrát detailně popsány a skončily bohužel tragicky smrtí Milana Šlechty a Marka Zahradníčka v blízkosti zmíněného sifonu při náhlém vzednutí Bílé vody během katastrofální povodně dne 29. 8. 1970.

5. Trygon a Předmacošský sifon

Výzkumu Amatérské jeskyně se ujal Geografický ústav ČSAV. Ke spolupráci byli povoláni také profesionální potápěči ze skupiny Trygon, kteří se účastnili záchranných prací v roce 1970. V červnu 1971 provedla průzkumná četa potápěčů (Šerebl, Vojanec a dalších pět potápěčů Trygonu) za sifonem rekonstrukční práce a základní kompasová polygonová měření. Po vyčerpání sifonu v roce 1972 začal Trygon s potápěním na dalších lokalitách v Amatérské jeskyni, mj. i v Šolimově míse. Intenzivní potápěčské práce pokračovaly v roce 1975 po vyrazení nové štoly z Pustého žlebu (1973).

V Šolimově míse pronikli potápěči v přítokovém sifonu do vzdálenosti 60 m a hloubky 18 m, zatímco hledání odtokové cesty bylo neúspěšné. V podzemním vývěru Punkvy pronikli potápěči Trygonu do vzdálenosti 166 m při maximální hloubce 16,5 m. Hlavní zájem byl ovšem věnován Předmacošskému sifonu, ve kterém mizí Punkva směrem k Macoše. Jeho překonání se nakonec podařilo dvěma potápěčům (někteří autoři píší



Obr. 3. Po úspěšném proplavání Předmacošského sifonu (Foto: J. Příbyl)

o čtyřech potápěčích a to: Petru Landyšovi, Ottu Markovi, Štěpánu Prostředníkovi a Jiřímu Žížkovi), kteří proplavali 420 m dlouhý a až 20 m hluboký Předmacošský sifon vedoucí z Červíkových jeskyní na dně Macochy do Východní Macošské větve v Amatérské jeskyni.

Další zdokumentovaná akce klubu Trygon proběhla roku 1976, kdy se potápěčům podařilo proniknout v jeskyni Stovka v Odvodňovací štole do celkové vzdálenosti 560 m a hloubky 42 m. V tomto roce bylo také zahájeno natáčení filmu „Na dno Macochy“ o proplavání sifonu do Amatérské jeskyně. V roce 1979 proběhl potápěčský průzkum koncového sifonu v závrtu č. 68, kde bylo dosaženo vzdálenosti 7 m.

6. Klub Delfín a Labyrint

První zmínka o speleo-potápěčských aktivitách brněnského Delfín klubu v Moravském krasu je z roku 1970, kdy potápěči pod vedením Michala Piškuly na základě požadavku Správy Moravského krasu provedli několik desítek ponorů pro zaměření situace v chodbách „Stojaté osmičky“ na lokalitě Čtyřicítka. Zásadní akcí pro další rozvoj speleo-potápění v Československu byla organizace tábora jeskynního potápění v rámci 6. mezinárodního speleologického kongresu pořádaného v Olomouci v roce 1973. Tuto akci zajišťovali

právě členové klubu Delfín. V jejím průběhu (31. 8. – 18. 9. 1973) byla organizována celá řada exkurzí se cvičným potápěním na lokalitách v Moravském krasu včetně např. ponoru zahraničních potápěčů ve Wankelově jezírku v Sloupsko-šošůvských jeskyních, nalezení dalšího pokračování odtokového sifonu v jeskyni 13C a ohledání přítokového sifonu ve stejné jeskyni. Nejintenzivněji se potápělo v Červíkových jeskyních, kde v tomto roce panovala mimořádně dobrá viditelnost až 20 m. Dvojice švýcarských potápěčů (Oetiker, Buess) společně s Holanďanem Van Vimmerenem za doprovodu Pavla Gryce a Jiřího Štětiny dosáhla vzdálenosti 200 m proti proudu Punkvy. Na 140. m byla zastížena volná hladina. Ve stejném roce se členové klubu Delfín potápěli na mnoha dalších lokalitách. Poprvé byl proplaván sifon mezi jeskyněmi Pikovou dámou a Spirálkou, poprvé byl uskutečněn ponor v Macošském sifonu v Nové Rasovně. Členové klubu Delfín také prováděli v Moravském krasu výcvik speleopotápěčů z Olomouce a Opavy. Na úspěšný 1. mezinárodní tábor jeskynního potápění navázal v březnu 1974 druhý ročník této akce, během níž proběhlo několik ponorů na lokalitě Čtyřicítka na vodní plavbě v Punkevních jeskyních.

Po založení České speleologické společnosti se členové klubu Delfín se zájmem o jeskynní potápění sdružili v ZO ČSS 6-09 Labyrint a v roce 1979 se začali intenzivně potápět v severní části Moravského



Obr. 4. M. Měkota při potápění v Šolimově míse v roce 1984 (Foto: Archiv M. Měkoty)

krasu. Byl zopakován průnik Pikovko-spirálkovým sifonem, vrátilo se k potápění v jeskyni 13C, kde se společně s potápěči pražského Pragoaquanautu pokusili neúspěšně proniknout v Jedelském přítoku. V srpnu 1980 byl pod vedením F. Piškuly zorganizován kurz jeskynního potápění (1. škola jeskynního potápění v ČSSR) pod záštitou komise JP UIS. Ve stejném roce postoupili potápěči Labyrintu v Macošském sifonu v Nové Rasovně do vzdálenosti 65 m. V přítokovém sifonu v jeskyni 13C se podařilo proniknout do vzdálenosti 200 m a objevit tři dómy s volnou hladinou. Byla zahájena revize a mapování Předmacošského sifonu ze strany Červíkových jeskyní. V roce 1982 členové Labyrintu a Speleoquanautu zkoumali další sifony v systému Piková dáma–Spirálka.

Mimořádně úspěšným rokem pro jeskynní potápění byl rok 1983, kdy byl uspořádán 6. mezinárodní tábor jeskynního potápění v Moravském krasu v hotelu Zlatá Lípa v Lipovci. Celkem se jej zúčastnilo 80 potápěčů z 12 zemí. V tomto roce proplavali P. Otrás společně s J. Hovorkou (ZO ČSS 1-10 Speleoquanaut po předchozím ponoru Belgičana M. Powelse tzv. Belgický sifon v jeskyni Spirálka a objevili chodbu Potápěčů směřující k Nové Rasovně. V jeskyni Spirálce se potápěli členové Speleoquanautu i na dalších místech. Při ponoru v propasti Fetanka (29. 10. 1983)

byla nalezena stará potápěčská šňůra z jeskyně 13C a bylo tak objeveno propojení obou jeskyní. 17. 12. 1983 J. Hovorka a P. Sochor (oba ze Speleoquanautu) proplavali ze strany jeskyně 13C 130 m dlouhý sifon do Staré Amatérské jeskyně. Speleopotápěči z Labyrintu se také začali potápět v Amatérské jeskyni. Tahounem těchto prací byl Miroslav Měkota. V Konstantním přítoku společně s kolegy dosáhli vzdálenosti 270 m, kde zastihli volnou hladinu ve Velkém dómu. Byl také proplaván sifon mezi podzemním vývěrem Punkvy a Zadním jezerem. Proti proudu ze Zadního jezera se potápěčům podařilo proplavat celkem 280 m daleko při maximální hloubce 18 m. V sifonu v povodňovém vývěru Sloupského potoka v Bludišti Milana Šlechty bylo jeho překonáním dosaženo Jezerní propasti. Kromě dalších ponorů v Červíkových jeskyních se M. Měkota začal potápět také v jeskyni Stovka v Odvodňovací štole.

V roce 1984 pokračovali potápěči Speleoquanautu v průzkumu sifonů v jeskyni Spirálka (V Kapli a Pod Žebřem) a dále zmapovali sifon mezi jeskyněmi 13C a Starou Amatérskou. Ve stejném roce také M. Měkota spolu s I. Kovářem proplavali sifon mezi jeskyní Spirálkou a 13 C a ověřili tak průnik z roku 1980. Část podvodních prostor zmapovali. V Amatérské jeskyni proběhl ponor v Šolimově míse. V sifonu ze Zadního jezera proti proudu Punkvy bylo dosaženo vzdálenosti 320 m.

V roce 1986 po objeveném postupu v ponoru Lopače se M. Piškula a P. Otrás potápěli v odtokovém sifonu. Při dalších ponorech v roce 1987 bylo dosaženo vzdálenosti 33 m při hloubce 12 m. Proběhl také potápěčský průzkum Císařské jeskyně. V roce 1988 obnovil Labyrint potápěčské práce na lokalitě Stovka v Odvodňovací štolě. Postupně zde během dalších let bylo dosaženo celkové vzdálenosti cca 400 m při dosažení hloubky 48 m.

V dubnu 1989 potápěči Bílek a Voleman ze Speleoquanautu dosáhli v přítokovém sifonu v Černé propasti ve Sloupsko-šošůvských jeskyních vzdálenosti 30 m při hloubce 6 m. Ve stejném roce byl také znovu proplaván sifon mezi jeskyněmi 13C a Starou Amatérskou a byl zmapován. 18. 11. 1989 byl učiněn jeden z nejvýznamnějších potápěčských objevů v dějinách Moravského krasu. M. Měkota a I. Kovář překonali dva sifony na konci Sloupské větve Amatérské jeskyně a objevili její pokračování. Při další akci byl proplaván další sifon a objevena mohutná chodba dnešního Nového Sloupského koridoru. Prostory byly zdokumentovány, ale pro náročnost byl další průzkum zastaven.

Po obnovení činnosti amatérských speleologů v Nové Amatérské jeskyni podnikl Labyrint několik revizních ponorů, z nichž nejvýznamnějším byl ponor D. Netušila v přítokovém sifonu v Šolimově míse v roce 1993, kde dosáhl hloubky 28 m s možností dalšího pokračování.

7. Geospeleos

Na začátku 80. let 20. století byl sice vyřešený hlavní problém propojení Amatérské jeskyně s Macochou, na úrovni jednotlivých zdrojnic však zůstávala celá řada neproplavených sifonů mezi jednotlivými jeskyněmi celého systému. Do jejich průzkumu se kromě Labyrintu zapojila také skupina kladenských potápěčů ze ZO ČSS 1-05 Geospeleos.

V roce 1983 panovaly všeobecně nízké vodní stavy. Potápěči Geospeleos se na pozvání ZO ČSS 6-15 Holštejnské začali potápět v Macošském sifonu v Nové Rasovně, kde se jim podařilo nalézt další pokračování. V roce 1984 zde uskutečnili další dva ponory. Po přestávce byly potápěčské práce znovu zahájeny až v roce 1988. Při třetím ponoru 21. 5. 1988 byl Macošský sifon konečně překonán M. Hótou za doprovodu K. Albrechta. Při další akci pak stejná dvojice proplavala ještě i Belgický sifon v jeskyni Spirálka a zrealizovala tak celý traverz mezi oběma jeskyněmi. Ve stejném roce se potápěči Geospeleos potápěli také ve



Obr. 5. Příprava na ponor v Macošském sifonu v Nové Rasovně (Foto: Archiv Moravského speleologického klubu)

Staré Amatérské jeskyni. V přítokové chodbě se nepodařilo proniknout dále. Byly proplavány dva sifony na Aktivním obtoku Bílé vody a proniknuto do prostor Nové Amatérské jeskyně.

8. Průzkumy Lopače

Na ponory Labyrintu z let 1986–1987 navázal v roce 1995 Jan Šimeček. Během pěti sólových ponorů pronikl postupně prohrabáváním nízkého zabahněného odtokového sifonu do vzdálenosti 61 m. Bohužel jeho šestý ponor 3.9.1995 se mu stal osudným. Když se nevyonořil v dohodnutém čase, byla svolána záchranná akce. Jeho tělo bylo nalezeno druhý den. Vzhledem k těsným rozměrům sifonu nepřipadalo v úvahu jeho vyproštění pod vodou. Místo nehody označili potápěči radiomajákem a rozběhla se další velká záchranná akce. Během dvou týdnů byla vyražena vyprošťovací šachtice, která zastihla tělo potápěče, ale také nové volné prostory ve směru odtoku vody.

V následujícím roce pokračovaly průzkumy nově zpřístupněných částí. Potápěči ze ZO ČSS 1-05

a 1-10 postupně překonali první a druhý sifon a pronikli do dalšího pokračování ukončeného závalem. V roce 2001 se s pomocí hydrotěžby podařilo tyto sifony překonat „suchou nohou“. V následujících pěti letech proběhlo mnoho pokusů kladenských potápěčů ze ZO ČSS 1-05 o překonání koncového sifonu, kde bylo dosaženo hloubky 27. Dalšímu postupu však bránily zmenšené profily zanesené sedimenty. K jistému postupu došlo až v roce 2007 při čerpacím pokusu, kdy se podařilo překonat koleno sifonu a vylézt komín na druhé straně do výšky 16 m. Práce na této lokalitě probíhají do současnosti.

9. Nová éra

Po jisté stagnaci potápěčské aktivity brněnských potápěčů z klubu Labyrint došlo v roce 1998 k jejímu oživení. V roce 1999 byl uspořádán další mezinárodní tábor jeskynního potápění v Rudici. Do Labyrintu přišel nový potápěč R. Husák, který přinesl do českého jeskynního potápění nové postupy a konfigurace techniky z amerického systému DIR a zároveň se stal motorem nového dění. Činnost skupiny se orientovala především na snahu o propojení Dolního jezírka v Macoše se Čtyřicítkou. Na podzim 1999 byly zahájeny práce na vyprošťování naplavenin z Dolního jezírka. V lednu 2000 pronikl M. Piškula do v Moravském krasu zatím nevídané hloubky 48,9 m. Dalšímu postupu bránily pořád další a další naplavené klády, které bylo potřeba odstranit. Práce probíhaly s přestávkami další tři roky a teprve 10. 4. 2003 se J. Hurábovi a R. Husákovi podařilo propojit vodící šňůry z Dolního jezírka a Čtyřicítky. Tímto bylo definitivně odkryto celé tajemství Zlého sifonu.

V letech 2001 obnovil Labyrint také průzkumy v jeskyni Stovka v Odvodňovací štolě. 18. 11. 2001 provedl R. Jančar vůbec první ponor v Moravském krasu s využitím trimixu, během kterého dosáhl



Obr. 6. Vstupní partie jeskyně Stovka v Odvodňovací štolě (Foto: R. Husák)

zatím nejzazšího místa, kam se dostal v roce 1991 M. Měkota. Během mnoha ponorů byl celý podvodní průběh jeskyně pečlivě zmapován a s využitím postupových lahví a směsí trimixu pokračoval průzkum. Postupně se potápěčům podařilo v průběhu let 2002–2005 dostat se až do vzdálenosti 550 m při maximální hloubce 52 m, kde dalšímu pokračování zabránil zával. Současně probíhalo také potápění na lokalitě Malý výtok. V roce 2006 bylo dosaženo propojení se štolou v jeskyni Stovka.

Na podzim 2006 dvojice Svobodová, Husák obnovila průzkumy v Předmacošském sifonu ze strany Červíkových jeskyní. Tento sifon byl poprvé seriózně zaměřen. V prosinci

2006 byla za jednou ze skalních kulis nalezena odbočka směřující jv. směrem. Při dalších ponorech v roce 2007 byl postupně objeven mohutný tunel tzv. Grand canyon a potápěčům se podařilo dostat až o těsné blízkosti Horního jezírka v Macoše. V 490 m dlouhém sifonu bylo zastíženo zatím nejhlubší místo na Punkvě 50,3 m.

V roce 1999 se začali potápět také T. Mokřý, J. Sirotek a Z. Motyčka ze ZO ČSS 6-25 Pustý žleb, motivovaní obnovením průzkumů za sifony ve Sloupské větvi Amatérské jeskyně. To se podařilo téměř na den přesně po deseti letech od objevu. V průběhu tří akcí byla prodloužena Vintocká odbočka, proplaván další sifon směrem ke Sloupsko-šošůvským jeskyním a postoupeno v Šošůveckém koridoru. V návaznosti na tyto postupy bylo v roce 2000 uskutečněno několik ponorů na dně Palmové propasti ve Sloupsko-šošůvských jeskyních, avšak bez výraznějšího postupu. V následujících letech proběhla celá řada akcí za sifony na konci Sloupské větve, během kterých byly objeveny další volné prostory, byl proplaván další sifon směrem ke Sloupsko-šošůvským jeskyním, ale především bylo po vylezení komínů ve Vintocké odbočce



Obr. 7. Při potápění v Konstantním přítoku v Amatérské jeskyni (Foto: J. Sirotek)

vytipováno místo pro otevření nového vchodu. Po vyřízení všech nezbytných povolení byla v letech 2003–2004 vystřílena tzv. šachta Broušek, která zpřístupnila Nový Sloupský koridor i pro nepotápěče. Hned v roce 2005 byl zahájen intenzivní průzkum těchto dříve jen obtížně přístupných prostor. Při čerpacím pokusu se podařilo J. Sirotkovi 12. 11. 2005 proplavat ze 7. sifonu na hladinu ve spojovací chodbě mezi Palmovou a Černou propastí ve Sloupsko-šošůvských jeskyních a uzavřít tak poslední stranu „Magického trojúhelníku“. Nejvýznamnější objev se podařil dvojici T. Mokřý a V. Kaman, když se jim 31. 5. 2008 při revizním ponoru v 8. sifonu na tehdejší konci Šošůvského koridoru podařilo nalézt nenápadnou odbočku a objevit rozsáhlé pokračování v délce 1,2 km. Tyto prostory byly v letech 2012–2014 zpřístupněné uměle vyraženou štolou. Díky snadnějšímu přístupu mohl být proveden potápěčský průzkum 10. sifonu na konci Šošůvského koridoru. Během dvou ponorů zde J. Sirotek dosáhl vzdálenosti 119 m při maximální hloubce 47 m. Další postup komplikoval úzký profil a zcela nulová viditelnost.

Během cvičných ponorů pustožlebských potápěčů v Amatérské jeskyni proběhla také revize sifonů na Punkvě. Proti proudu bylo ze Zadního jezera dosaženo volné hladiny v prostoru Čokoládovna a celý Punkevní sifon v délce 460 m až po podzemní vývěr Punkvy byl pečlivě zaměřen. V Šolimově míse byl sledován v délce asi 50 m nízký odtokový kanál nazvaný chodba Oranžové tmy. V roce 2020 se potápěči znovu vrátili do Šolimovy mísy, aby zrevidovali postup v přítokovém sifonu. Ve směru přítoku se nepodařilo dosáhnout výraznějšího postupu, ale byla objevena odbočka vedoucí do zjevně hlavního odtokového tunelu podzemní Punkvy. Během 11 ponorů, do kterých se zapojili také potápěči ze ZO ČSS 6-09, 6-19 a 6-22 se podařilo postupně objevit skoro kilometr chodeb (Tunálův tunel) v hloubkách přes 40 m, objevit dvě volné hladiny a nakonec se vynořit až v Čokoládovně, odkud pokračuje sifon až do podzemního vývěru Punkvy. V průběhu let byla také několikrát navštívena lokalita Konstantní přítok, kde

se podařilo objevit další pokračování v délce cca 100 m za Velkým dómem, ovšem při hloubkách přes 40 m.

Zatím poslední potápěčské průzkumy v Amatérské jeskyni provádí ZO ČSS 6-17 Topas ve spolupráci s M. Bartoškem z Labyrintu v jižní části Bludiště Milana Šlechty. Během několika ponorů v dómu U Ozvěny je objeveno pokračování s dosud neznámým vodním tokem, které by mohlo být klíčem k nalezení „pramene“ Punkvy za běžných vodních stavů. Zde je třeba zmínit i několik ponorů členů Plánivské skupiny v Rodeu.

10. Nevyřešené otázky

Tajemství „magického trojúhelníku“ bylo v roce 2005 definitivně rozřešeno. Dosud však stále neznáme přesné místo, kde vzniká Punkva za normálních vodních stavů, a bude tedy nutné vykonat ještě další ponory v oblasti Bludiště Milana Šlechty, v Šolimově míse a Bezejmenném dómu. Neznámou je také významná část podzemního toku Sloupského potoka mezi 2. sifonem v Novém Sloupském koridoru a přítokovým sifonem na konci Sloupské větve a mezi okolím Černého dómu a Jezerní propastí. Stěžejní otázkou jsou pak průběhy jak východních přítoků (Ostrovské a Vilémovické vody), které vyvěrají v jeskyni Stovka, tak západních přítoků, které vyvěrají v Konstantním přítoku.

SEZNAM LITERATURY:

- ABSOLON K., 1970: Moravský kras 1. a 2. Praha: Academia, Československá akademie věd, 418 s., 348 s.
- AUDY M., BARTOŠEK M., 2020: Kanalizace dómu U Ozvěny v Nové Amatérské jeskyni. Speleofórum 2020. Praha: Česká speleologická společnost, s. 10–11. ISSN: 1211-8397, ISBN: 978-80-87857-36-6.
- ČSS - archiv, 1984. Výroční zpráva ZO 6-09 za rok 1983.
- DOLEŽAL F., 2008: Čerpací pokus Nový Lopač 2007. Speleofórum 2008. Veverská Bítýška: Česká speleologická společnost, s. 25–30. ISSN: 1211-9397
- DVOŘÁČEK J., 2013: Historie potápění v Českých zemích a na Slovensku. Ostrava: Moravapress, 692 s., ISBN: 978-80-260-4290-7.
- FADRNA J., 1988: Zpráva o činnosti potápěčů Speleologického klubu v Brně. Deník potápění v Moravském krasu - ukončeno 8. března 1988. Brno.
- HOVORKA J., 2020: Speleoqaquanaut a Bílá voda - Amatérka. Zpráva.
- MAYER S., VOJTENKO L., 1972: Průzkum prolongace Amatérské jeskyně v Moravském krasu. Československý kras. Praha: 24, s. 110–112.
- MOKŘÝ T., 2006: Průzkum jeskynních systémů vázaných na podzemní tok Sloupského potoka v roce 2005 - propojení Amatérské jeskyně a jeskyní Sloupsko-šošůvských. Speleofórum 2006. Praha: Česká speleologická společnost, s. 4–9. ISSN: 1211-8397.
- MOTYČKA Z., POLÁK P., VÍT J., SIROTEK J. et al., 2000: Amatérská jeskyně - 30 let od objevu největšího jeskynního systému České republiky. Jedovnice: Vydavatelství Audy, 232 s. ISBN 80-238-4721-X.
- MOUČKA J., FATKA J., 1986: 20 let činnosti ZO ČSS 6-15 Holštejnské. 26 s.
- MUSIL R., 2002: Sloupsko-šošůvské jeskyně - Jeskynní bludiště pod Bradinami, jeho historie a význam. Brno: Gloria, 180 s. ISBN 80-86200-74-4.
- PIŠKULA F., 1979: Zápisník jeskyňáře. Zápis z přednášky F. Piškuly v Brně pořídil Ing. Vladimír Vrbovský.
- PIŠKULA M., 1994: SPELEOPOTÁPĚČSKÝ PRŮZKUM ŠOLIMOVY MÍSY V AMATÉRSKÉ JESKYNĚ. SPELEOFÓRUM '94. BRNO: s. 16–17.
- PIŠKULA M., 2001: Revize stavu chodeb mezi Dolním jezirkem a Čtyřicítkou v Punkevních jeskyních. Speleofórum 2001. Praha: Zlatý kůň, s. 12–13. ISBN: 80-85304-72-4.
- PŘIBYL J., REJMAN P., 1980: Punkva a její jeskynní systém v Amatérské jeskyni. Studia Geographica. Brno: 68
- ŘEHÁK J., KOUTECKÝ B., MARKOVÁ L., BÍLKOVÁ D., NOVOTNÁ J., 1996: Zpráva o záchranné akci k vyproštění těla ing. Jana Šimečka z ponoru potoka Lopač. Speleo. Praha: Česká speleologická společnost, 21, s. 13–18. ISBN: 80-85304-42-2.
- SIROTEK J., 2000: Nové objevy na Sloupském potoce. Estavela. Brno: Sdružení Estavela, 5, s. 29–33.
- SIROTEK J., 2005: Amatérská a Sloupsko-šošůvské jeskyně propojeny [cit. 16.4.2020]. Dostupné z: <http://www.stranypotapecske.cz/potapeni/amaterka.asp?str=200511211055130>.
- SIROTEK J., 2021: Za tajemstvím podzemní Punkvy. Speleofórum 2021. Praha: Česká speleologická společnost, 40, s. 18–32. ISSN: 1211-8397, ISBN 978-80-87857-41-0.
- SPELEOLOGICKÝ KLUB BRNO - archiv, 1970. Exkurzní zprávy Speleologické skupiny pro výzkum Plániv.
- SUCHÁNEK J., 1963: Výzkumná situace kolem Malého výtoku Punkvy do roku 1942. Kras v Československu. Brno: 1-2, s. 29–30.
- SVOBODOVÁ K., HUSÁK R., 2008: Předmacošský sifon vydává nová tajemství aneb bájný východní obchvat Macochy. Speleofórum 2008. Veverská Bítýška: Česká speleologická společnost, s. 5–9. ISSN: 1211-9397.
- ŠRAJER I., 1973: Camp of Cave Diving Moravský kras. Film. Blansko: Speleo-film Macocha, režie: Ivan Šrajjer, kamera: Zdeněk Šrebl.
- ZAPLETAL J., 1988: Výzkum Macošského sifonu [cit. 22.4.2020]. Dostupné z: <https://www.geospeleos.com/ZpravyZAkci/Index.htm>.
- ZO ČSS 6-09 LABYRINT, 2020. Zprávy z akcí [cit. 19.4.2020]. Dostupné z: <http://labyrinth.speleo.cz/index.php?sekce=akce>.

Role tektoniky při tvorbě jeskyní a migraci vody

Jiří Rez, Vít Baldík

Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno

jiri.rez@geology.cz, vit.baldik@geology.cz

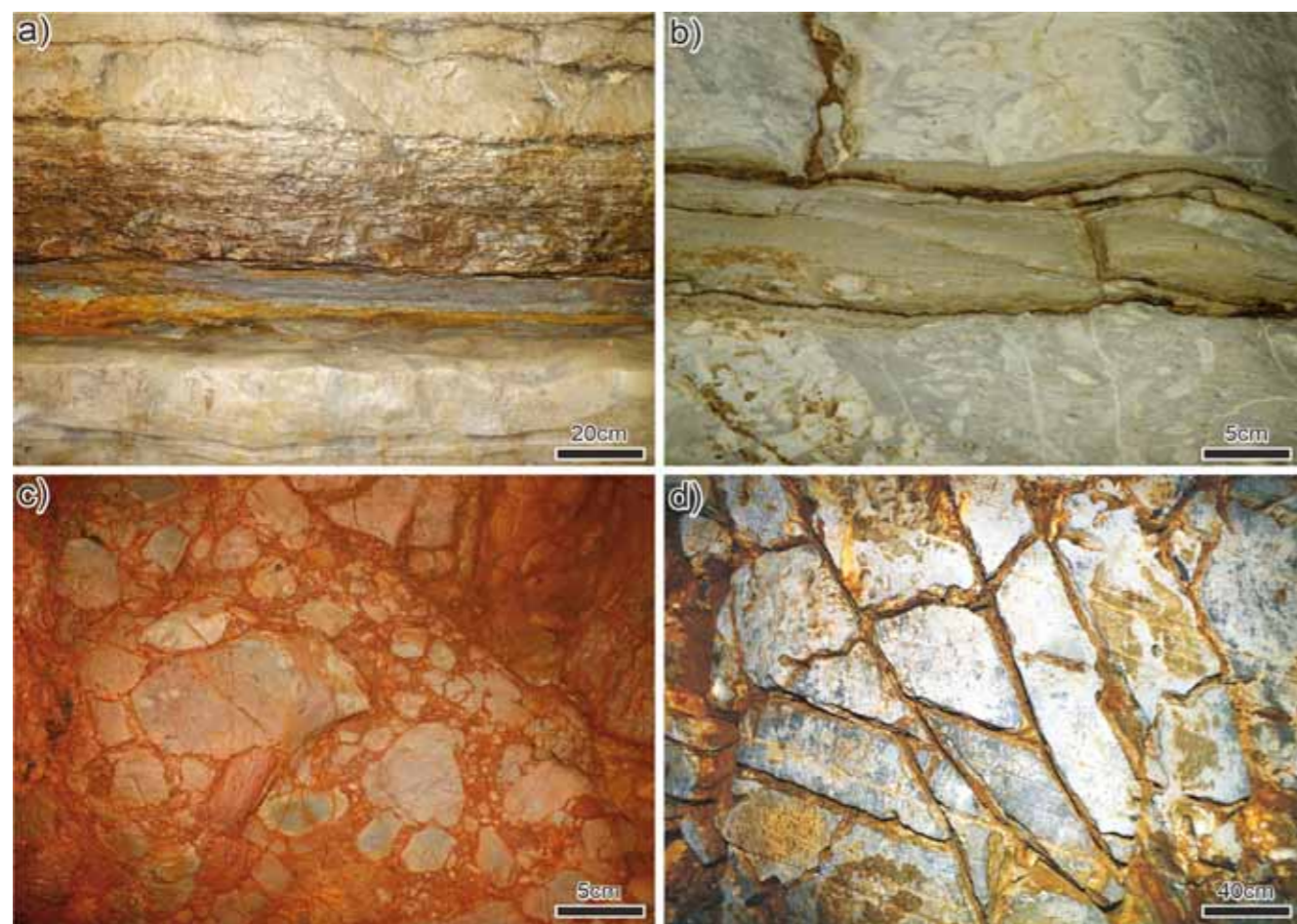
Abstrakt:

Křehké deformační struktury jednoznačně řídí migraci vody a krasovění. Hlavní směry jeskynních systémů řídí násuny a velké zlomy, kdežto menší zlomy a pukliny řídí směry jeskynních chodeb lokálně. To dokládá srovnání strukturních diagramů směrů jeskynních chodeb a relevantních struktur. Velikost jeskynních prostor je přímo úměrná intenzitě rozpukání vápenců.

Klíčová slova: Moravský kras, puklinatost, násun, zlom, Amatérská jeskyně

Úvod

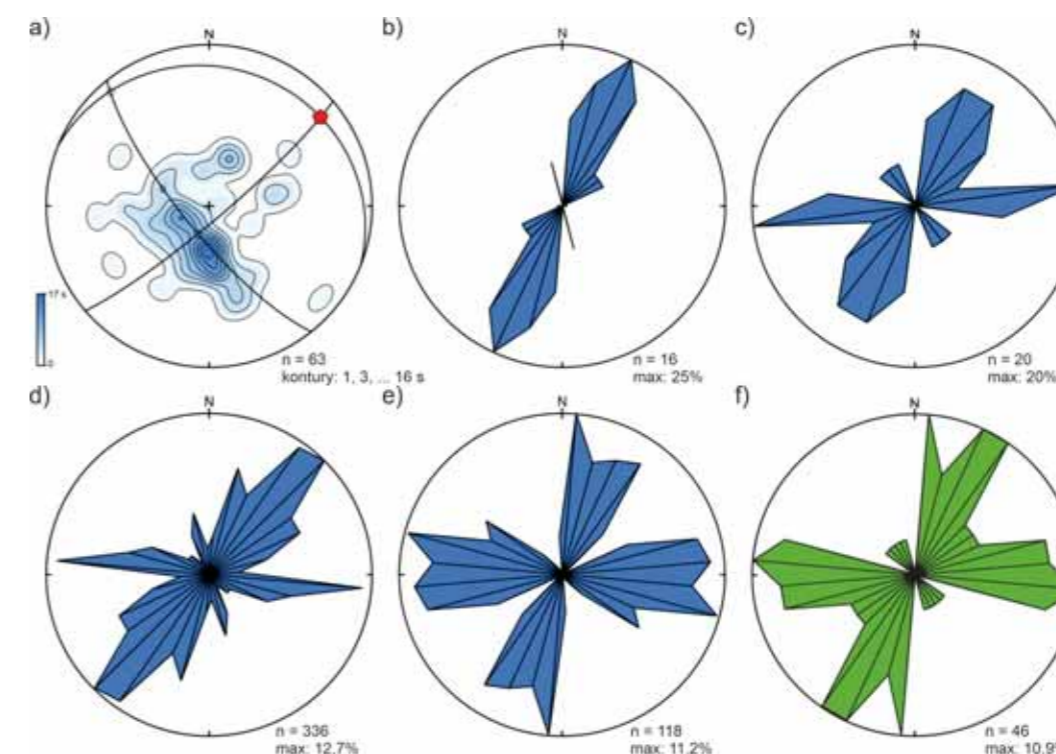
Jedním slovem se dá říct, že role tektoniky pro tvorbu jeskyní a pro migraci vody v krasových oblastech obecně je zcela zásadní. Vápence mají velmi malou primární porozitu a efektivní porozitu ještě menší. Při pohybu vody ve vápencích se tedy uplatňuje tzv. sekundární porozita tvořená puklinami a dalšími křehkými poruchami. Orientace a hustota (množství poruch na metr) těchto struktur pak řídí hlavní směry pohybu podzemní vody a tím pádem i orientaci chodeb jeskynních systémů. Dá se říci, že krasovění a migraci podzemní vody ovlivňují struktury všech měřítek: násunové zlomy (*obr. 1a, 1b*) řídí generelní trendy v měřítku celého krasu, zlomy (*obr. 1c*) a kliváž řídí směry chodeb v měřítku jeskyně a pukliny (*obr. 1d*) ovlivňují jeskynní systémy v měřítku jednotlivých chodeb.



Obr. 1. Fotografie základních typů křehkých poruch: a) násunový zlom v Býčí skále (šedá poloha); b) násunový zlom v jeskyni Nový Lopač; c) brekcioidná deformační zóna zlomu, Suchdolský ponor; d) zkrasovělé pukliny, Nová Amatérská jeskyně.

Hlavní struktury

Z geologického hlediska je nejdůležitější variská vrásno-násunová stavba, které dominují mladší variské násuny SSV-JJZ směrů (*obr. 2b*). Tyto násuny způsobily zvrásnění hornin macošského souvrství i kulmu v rozevřené vlečné vráse s osami ukloněnými k SV (*obr. 2a*). Tato starší, variská vrásno-násunová stavba řídila hlavně vznik osní kliváže sv.-jz. směrů (maximum ve směru 135 na *obr. 2d*), která je jednou ze tří hlavních generací kliváže. Z hydrogeologického hlediska jsou důležité i další, pravděpodobně mladší generace kliváže, které jsou spojeny hlavně se vznikem mladší zlomové stavby, jak je patrné při srovnání hlavních směrů zlomů (*obr. 2c*) a zbylých maxim směrů kliváže: v.-z. maximum odpovídá zlomům v.-z. směrů a ssv.-jjz maximum zase odpovídá ssv.-jjz. zlomům. Tyto tři systémy ruptur řídí pohyb podzemní vody, jak mimo jiné dokazují i směry jeskynních systémů ve studované oblasti (*obr. 2f*).

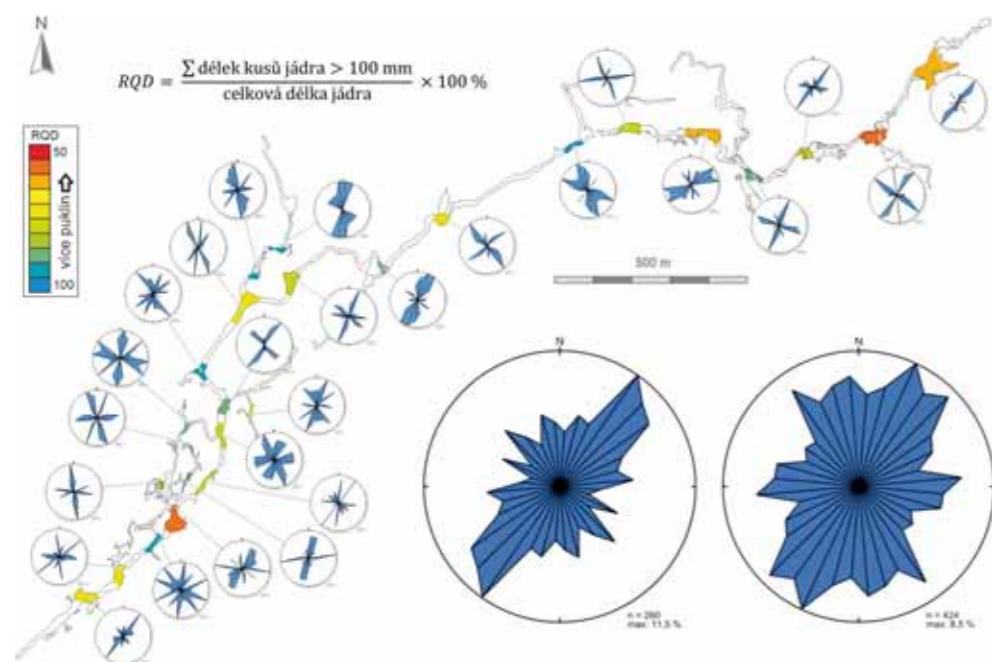


Obr. 2. Základní strukturní prvky v severní části Moravského krasu (Lambertova projekce, spodní polokoule): a) konturový diagram pólů vrstevnatosti se zobrazenými charakteristickými vektory matice orientace („osa stavby“ je vyznačena červeným pětiúhelníkem); b) růžicový diagram směrů násunových zlomů (velikost třídy 15°); c) růžicový diagram směrů zlomů (velikost třídy 15°); d) růžicový diagram směrů kliváže (velikost třídy 15°); e) růžicový diagram směrů puklin (velikost třídy 15°); f) růžicový diagram směrů jeskynních chodeb (velikost třídy 15°).

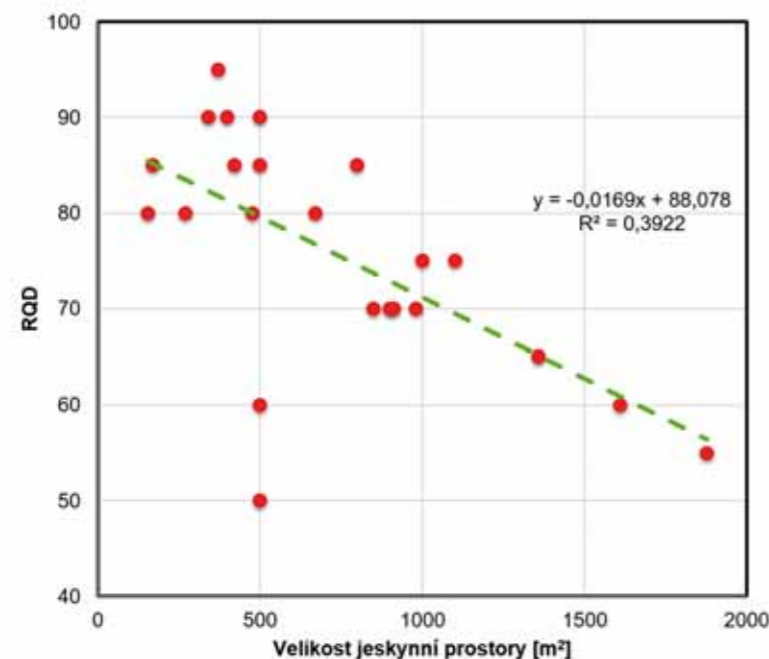
Pukliny

Dalšími a z mnoha hledisek nejdůležitějšími rupturními strukturami jsou pukliny. Jak ve vápencích v severní části Moravského krasu, tak i v horninách kulmu naprosto dominují subvertikální pukliny, které tvoří 4 hlavní systémy (*obr. 2e*). Tři z těchto systémů odpovídají již popsaným strukturám, tedy ssv.-jjz. pukliny směrově odpovídají násunovým zlomům a sv.-jz. a v.-z. pukliny odpovídají mladším zlomům. Čtvrtý systém, v případě puklin dominantní jsou sz.-jv. pukliny. Tento systém odpovídá sz.-jv. zlomům (malé sz.-jv. maximum v růžicovém diagramu směrů zlomů, *obr. 2c*).

Ve studovaných oblastech (ve vápencích i v nevápencových horninách hydrogeologického zázemí) provádíme jak systematická měření orientace strukturních prvků, převážně puklin, ale i jejich kvantitativní vyhodnocení, tedy sledování intenzity rozpukání horninového masivu. Tuto intenzitu vyjadřujeme indexem RQD (vzorec na *obr. 3*). RQD = 100 mají nerozpukané horniny, RQD 0 mají extrémně rozpukané horniny. Na příkladu Amatérské jeskyně si můžeme demonstrovat nejen vliv orientace puklin na orientaci chodeb (růžicové diagramy v pravé dolní části *obr. 3*), ale také vliv puklinatosti na intenzitu krasovění a tím pádem i velikost jeskynních prostor. Menší prostory mívají vyšší hodnoty RQD (jsou méně rozpukány) a větší prostory mají hodnoty RQD nižší (větší rozpukání). Graf na *obr. 4* tento vztah jasně demonstuje.



Obr. 3. Mapa puklinatosti severní části jeskynního systému Amaterské. Růžicové diagramy vyjadřují směry puklin (není-li uvedeno jinak), barevné polygony hodnotu puklinatosti vyjádřenou indexem RQD.



Obr. 4. Graf závislosti puklinatosti (index RQD) a velikosti jeskynních prostor.

Shrnutí

Výsledky několikaleté práce v terénu i podzemí lze shrnout do několika bodů:

- křehké deformační struktury řídí migraci vody a krasovění
- hlavní směry jeskynních systémů řídí násuny a velké zlomy
- menší zlomy a pukliny řídí směry jeskynních chodeb lokálně
- velikost jeskynních prostor je přímo úměrná intenzitě rozpukání vápenců
- nevápencové horniny v hydrogeologickém zápolí krasu jsou z hlediska hydrogeologického a environmentálního stejně důležité, jako samotné vápence a je třeba se zaměřit na jejich ochranu a zvyšování environmentálního povědomí obyvatelstva.

Zvýšené koncentrace CO₂ na Harbešské plošině

Jiří Faimon^{1,2}, Vít Baldík², Jiří Rez^{1,2}, Roman Hadac², Martin Dostalík³, František Kuda⁴

¹ Ústav geologických věd, Př.F., Masarykova univerzita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno, e-mail: faimon@sci.muni.cz, jura@eltekto.cz,

² Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno,

e-mail: vit.baldik@geology.cz, jiri.rez@geology.cz, roman.hadacz@geology.cz,

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

⁴ Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Drobného 28, Brno 602 00, e-mail: frantisek.kuda@ugn.cas.cz

Abstrakt:

Koncentrace CO₂ v Harbešské jeskyni s maximy kolem 3,8 obj. % (listopad 2021) nevykazují žádné sezónní trendy kromě slabého lineárního poklesu se směrnici 1,4×10⁻³ obj.% den⁻¹ na současných 3,1 obj. % (srpen, 2022). Velmi nízká objemová rychlost proudění vzduchu jeskyní ~ 2,81×10⁻³ m³ s⁻¹ odpovídá ventilaci (2,6 – 2,9)×10⁻⁴ hod⁻¹. Doba zdržení vzduch v jeskyni je 144 až 162 dnů. Voda sifonu v Mrtvém propadání vykazuje parciální tlak PCO_{2(voda)} = 1,48×10⁻². Tato hodnota je nižší než parciální tlak CO₂ ve vzduchu, PCO_{2(vzduch)} ~ 3,5×10⁻². Proto tento CO₂ nemůže odplyňovat a sloužit jako zdroj CO₂ v jeskyni. Skapové vody s parciálními tlaky CO₂ ve vodě PCO_{2(voda)} ~ 4,57×10⁻² až 4,68×10⁻² významně převyšují parciální tlak v okolním vzduchu (PCO_{2(vzduch)} ~ 3,50×10⁻²), odplyňují a slouží jako jeden ze zdrojů CO₂ v jeskyni. Skapové vody byly formované v nadloží při koncentracích CO₂ ~ 3,47 až 3,89 obj. % a cestou vadózní zónou byly ještě dále dosyceny oxidem uhličitým o koncentracích 4,57 až 4,68 obj. %. Izotopická analýza jeskynního vzduchu prokázala vysoce negativní hodnotu δ¹³C(CO₂) = -24,9 ‰. To odpovídá CO₂ složeného z 89 % z biogenního CO₂ a 11 % abiogenního CO₂ (CO₂ z karbonátů a venkovního vzduchu). Vysoké koncentrace CO₂ v nadloží naznačují přítomnost plynového kolektoru – jsou diskutovány pomocí koncepčního modelu.

Klíčová slova: koncentrace CO₂, složení skapových vod, ventilace podzemních prostor, hypotetický plynový kolektor

1. Úvod

Občasné zvýšené koncentrace CO₂ v podzemních systémech na Harbešské plošině (Harbešská jeskyně a systém závrtu 17) jsou dlouhodobě známé, avšak zatím nebyly podrobeny systematickému studiu. V létě 2021 byl registrován extrémní nárůst koncentrací, které daly podnět situaci se hlouběji zabývat. Od listopadu 2021 probíhá v Harbešské jeskyni (HJ) průběžný monitoring CO₂, doplněný měření teplot a relativní vlhkosti, bodovými odběry skapových vod, izotopickými analýzami vzduchu a měření proudění vzduchu.

Oxid uhličitý (CO₂) je v karbonátovém krasu řídicí složkou základních chemických procesů (krasovění). Participuje na rozpouštění vápenců a růstu speleotém podle rovnice:



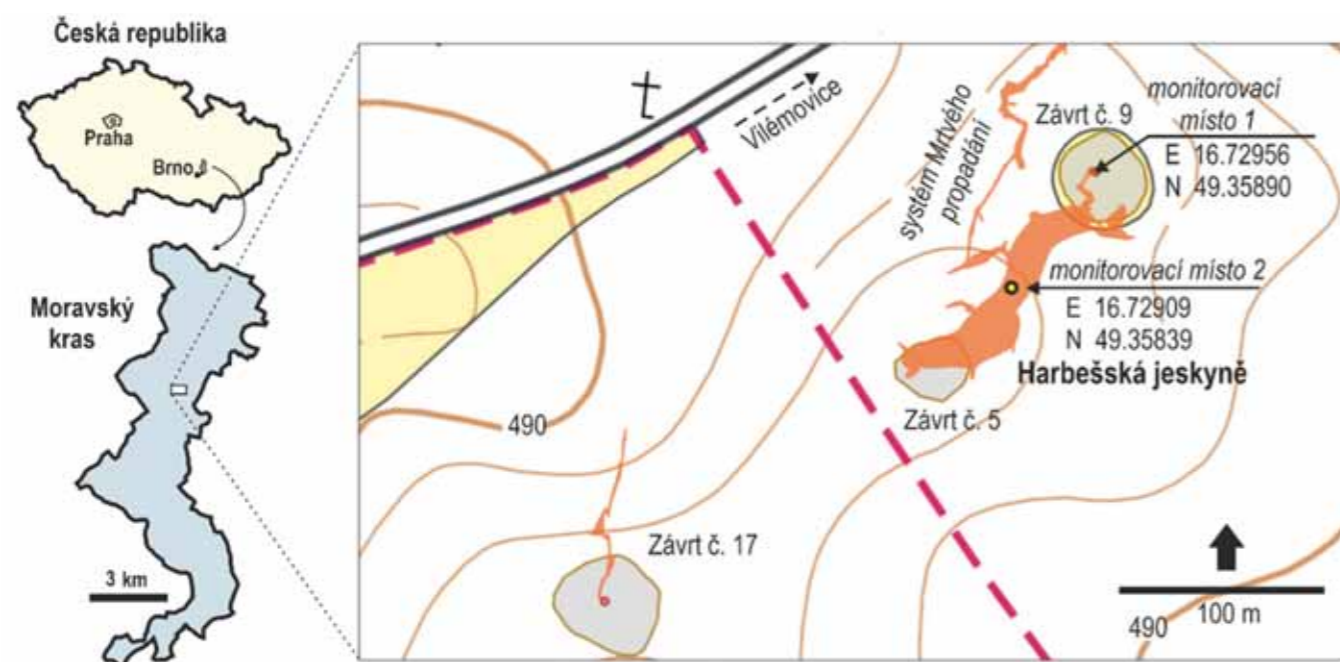
Zleva doprava rovnice představuje rozpouštění karbonátů, zprava doleva růst kalcitových speleotém. Dílčí procesy z rovnice (1) probíhají poměrně rychle, proto systém CaCO₃ – voda – CO₂ dosahuje snadno a rychle rovnováhy (řádově dny až desítky dnů v závislosti na podmínkách). Na základě procesů popsanými rovnicí (1) lze ze složení skapových vod zrekonstruovat parciální tlak, PCO_{2(WF)}, při kterém byla voda v nadloží zformována (Faimon et al., 2012a, Pracný et al., 2015). Tento údaj poskytuje důležité informace o podmínkách v nadloží jeskyně a usnadňuje vytvoření koncepčního modelu celého systému.

2. Metodika

Místo studia

Harbešsko–vilémovická plošina v Moravském krasu (MK) je budována převážně subhorizontálně uloženými vilémovickými vápenci macošského souvrství, které na V přechází v úzký pruh křtinských vápenců líšeňského souvrství. Z tektonických prvků jsou pro stavbu plošiny charakteristické zlomové

systemy směru SV – JZ a SZ - JV, které jsou patrné především na orientaci závrtových řad a skupin. Samotná Harbešská jeskyně (obr. 1) je součástí závrtové skupiny Společňák, kterou tvořilo původně 15 závrtů nepravidelně rozložených ve větší společné depresi sv. – jz. směru. Směr této deprese a jeskyně je řízen nejen zlomovou stavbou, ale i puklinovými systémy různých směrů.

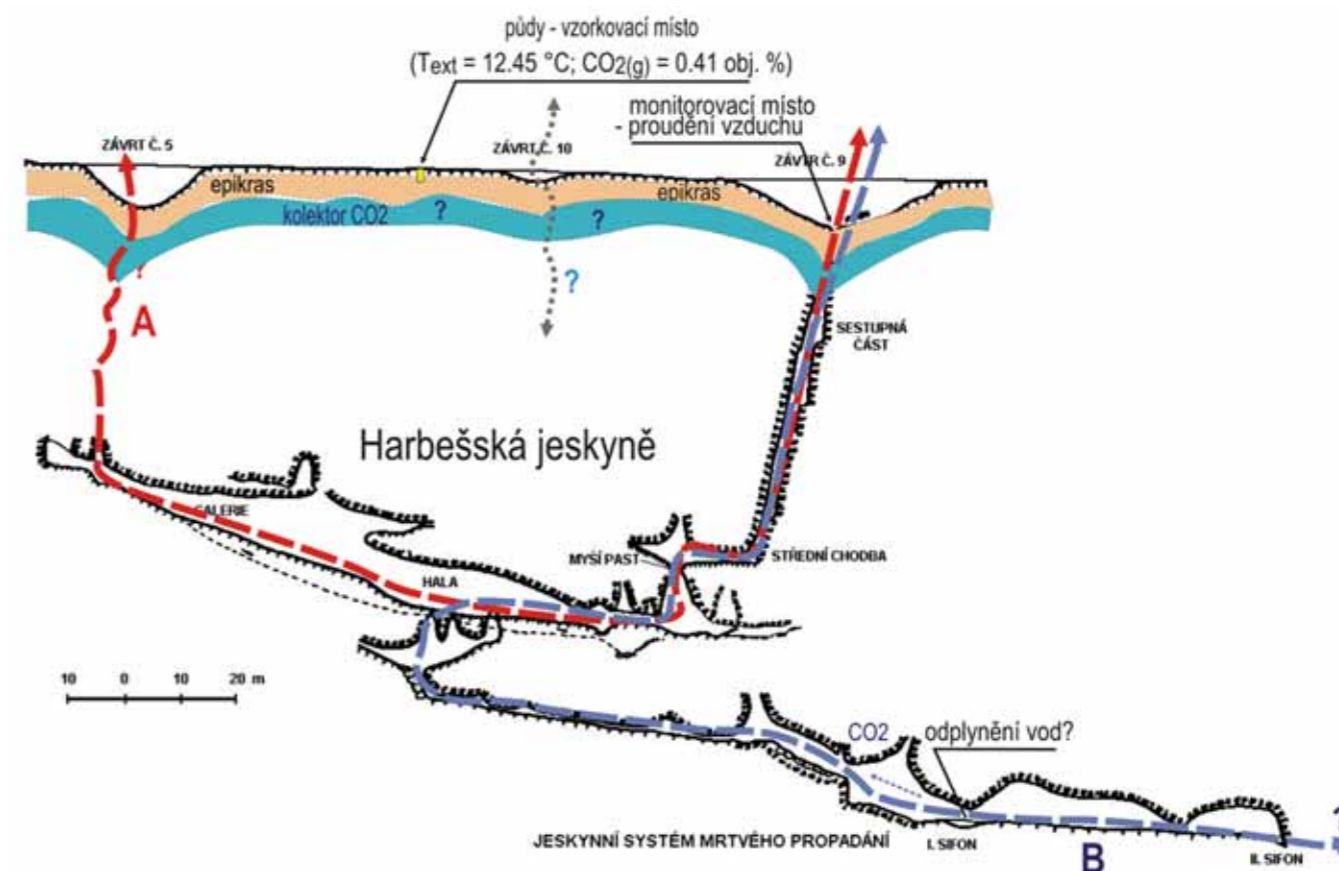


Obr. 1. Systém Harbešské jeskyně a závrtů na Harbešské plošině (Moravský kras). Monitorovací místa 1 a 2 jsou místa monitoringu proudění vzduchu z jeskyně, resp. měření CO_2 . Podkladová mapa JESO AOPK ČR (2021).

3. Výsledky a jejich diskuze

Počáteční koncentrace CO_2 v Harbešské jeskyni $\sim 3,8$ obj. % (listopad, 2021) během roku lehce poklesly na současných 3,1 obj. % (srpen, 2022). Přes původní očekávání, že se podaří zachytit nějaký výraznější sezónní trend (dynamické jeskyně obecně vykazují zvýšenou ventilaci při zimním vzestupném ventilačním módu - UAF mód, Faimon et al., 2012b), koncentrace jen velmi zvolna klesala s přibližně lineárním trendem a se směrnici $1,4 \times 10^{-3}$ obj. % den^{-1} . To je v souladu s velmi nízkou objemovou rychlostí proudění vzduchu jeskyní s hodnotami kolem $2,81 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Za předpokladu objemu jeskyně kolem 35 000 až 39 500 m^3 byla odhadnuta ventilace jeskyně ($v = 2,9 \times 10^{-4}$ až $2,6 \times 10^{-4} \text{ hod}^{-1}$), která odpovídá vyvětrání 0,029 až 0,026 % celkového objemu jeskyně za hodinu. Doba zdržení vzduchu v jeskyni ($\tau = 144$ až 162 dnů, viz Faimon et al., 2012b) je tak extrémně dlouhá.

Analýzy vod z Harbešské jeskyně a speciální výpočty naznačují, že všechny vody jsou blízko rovnováhy s kalcitem: voda ze sifonu v Mrtvém propadání je lehce přesycená ($\text{SI}_{\text{kalcit}} = 0,12$), skapové vody lehce nenasycené ($\text{SI}_{\text{kalcit}} = -0,13$ až $-0,22$). Výsledky modelování ukazují, že voda v sifonu neslouží jako zdroj CO_2 : parciální tlak CO_2 ve vodě ($\text{PCO}_2(\text{voda}) = 1,48 \times 10^{-2}$) je nižší než parciální tlak v jeskynním vzduchu ($\text{PCO}_2(\text{vzduch}) \sim 3,5 \times 10^{-2}$), voda tedy nebude odplyňovat. Voda sifonu však může omezovat ventilaci přes Mrtvé propadání. Skapové vody s parciálními tlaky CO_2 ve vodě $\text{PCO}_2(\text{voda}) \sim 4,57 \times 10^{-2}$ a $4,68 \times 10^{-2}$ významně převyšují parciální tlak v okolním vzduchu ($\text{PCO}_2(\text{vzduch}) \sim 3,5 \times 10^{-2}$) a budou dále odplyňovat – mohou tedy sloužit jako zdroj CO_2 v jeskyni. Za zmínku stojí fakt, že skapové vody byly formovány v epikrasu při koncentracích 3,47 a 3,89 obj. % a cestou vadózní zónou byly ještě dále dosyceny oxidem uhličitým o koncentracích 4,57 až 4,68 obj. %. Tyto výsledky spolu s výsledky izotopické analýzy tak skutečně potvrzují, že zdrojem CO_2 v Harbešské jeskyni je CO_2 v nadloží (v epikrasu, popř. hlouběji ve vadózní zóně). Vysoké koncentrace CO_2 participující na formování skapových vod nejsou v Moravském krasu výjimkou: Faimon et al. (2012) publikovali frekvenční diagram těchto koncentrací vypočtených z analýz různých skapových vod v jeskyních MK: koncentrace se pohybovaly mezi 1,2 a 11,0 obj. % s mediánem 3,1 obj. %.



Obr. 2. Konceptní model Harbešské jeskyně. A, B – hypotetické ventilační větve. Upraveno dle náčrtku profilu ZO ČSS 6-14 Suchý žleb (2021).

Slabá ventilace systému závrt 9 – Harbešská j. – závrt 5 je v souladu s téměř shodnou nadmořskou výškou obou potenciálních vstupů (závrty č. 5 a 9), což je typické pro tzv. *statickou jeskyni* (Geiger, 1966). Podobný efekt však může mít neprodyšné uzavření závrtu č. 5 závalem a zároveň izolování dolního výstupu z jeskyně sifony v systému Mrtvého propadání. Principiálním zdrojem CO_2 může být *hypotetický plynový kolektor* v epikrasu (proplynělá vrstva sedimentu se zvýšenou koncentrací CO_2): Myšlenka plynového kolektoru není úplně nová, viz Atkinson (1971) a jeho *podzemní CO_2* v krasových oblastech. Mechanismus vzniku CO_2 kolektoru není znám, ale lze předpokládat, že je zde CO_2 produkován mikro-biochemickým rozkladem organického detritu splachovaného deště hlouběji do podloží.

K ověření zdrojů CO_2 byl dne 12. 11. 2021 v Harbešské jeskyni (vstup do Mrtvého propadání) odebrán vzorek jeskynního vzduchu na izotopickou analýzu ($\delta^{13}\text{C}$). Analýza prokázala vysoce negativní hodnoty $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2) = -24,9$ ‰. Na základě hypotézy, že je tato hodnota výsledkem mixování tří koncových členů, půdního CO_2 ($\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2) \sim -27$ ‰, Cerling et al., 1991), CO_2 z externí atmosféry ($\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2) \sim -8$ ‰, Keeling, 1958) a tzv. abiogenního CO_2 ($\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ kolem 0 ‰, Gao et al., 2021), byl sestaven jednoduchý mixovací model. Výpočty ukázaly, že jeskynní vzduch je složen z 89 % z biogenního CO_2 a 11 % abiogenního CO_2 (zdroj - CO_2 karbonáty a venkovní vzduch). Možné mechanismy přetrvávání vysokých hladin CO_2 v HJ s návrhem dvou ventilačních větví jeskyně jsou znázorněny v konceptním modelu na obr. 2.

4. Závěr

Studium CO_2 v Harbešské jeskyni (HJ) potvrdilo relativně stálé a vysoké koncentrace CO_2 bez výraznějších sezónních vlivů. Tyto koncentrace jsou výsledkem vyvažování kladných toků CO_2 (přímé difúzní toky z nadloží, spolu s odplyněním skapových vod) a záporných toků CO_2 (slabá ventilace jeskyně). Zdrojem CO_2 je převážně biogenní CO_2 produkovaný v hypotetickém plynovém kolektoru někde na rozhraní epikrasu a hlubší vadózní zóny. Slabá ventilace jeskyně je dána statickým charakterem jeskyně se dvěma potenciálními vchody o přibližně stejné nadmořské výšce (závrty č. 5 a 9). Třetí potenciální vchod (systém Mrtvého propadání)

je uzavřený sifony. Historicky doložené změny v koncentracích CO₂ v HJ by mohly souviset s periodickým otevíráním/uzavíráním systému závrtu č. 5 sedimenty.

Poděkování

Tato studie byla podpořena grantem TAČR ČR (projekt Horninové prostředí a nerostné suroviny / RENS, reg. č., SS02030023). Dále se studie opírala o institucionální podporu České geologické služby a Masarykovy Univerzity.

SEZNAM LITERATURY:

- ATKINSON, T.C., 1977: Carbon dioxide in the atmosphere of the unsaturated zone: an important control of groundwater hardness in limestones. – *Journal of Hydrology*, 35, 111–123.
- CERLING T. E., SOLOMON D. K., QUADE J., BOWMAN J. R., 1991: On the isotopic composition of carbon in soil carbon dioxide. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, 3403–3405.
- FAIMON J., LIČBINSKÁ M., ZAJÍČEK P., SRACEK O., 2012a: Partial pressures of CO₂ in epikarstic zone deduced from hydrogeochemistry of permanent drips, the Moravian Karst, Czech Republic. – *Acta Carsologica* 41/1, 47–57.
- FAIMON J., TROPPOVÁ D., BALDÍK V., NOVOTNÝ R., 2012b: Air circulation and its impact on microclimatic variables in the Císařská Cave (Moravian Karst, Czech Republic). – *International Journal of Climatology*, 32, 599–623.
- GAO Y., ZHAO Z., ZHANG Y., LIU J., 2021: Response of abiotic soil CO₂ flux to the difference in air-soil temperature in a desert. – *Science of the Total Environment* 785, 147377.
- GEIGER R., 1966: *The climate near the ground*. Harvard University Press, Cambridge, 628 p.
- KEELING D., 1958: The concentration and isotopic abundances of atmospheric carbon dioxide in rural areas. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 13, 322–335.
- PRACNÝ P., FAIMON J., KABELKA L., HEBELKA J., 2015: Variations of carbon dioxide in the air and dripwaters of Punkva Caves (Moravian Karst, Czech Republic). – *Carbonates Evaporites*, 31(4), 375–386.
- ZO ČSS 6-14 SUCHÝ ŽLEB, 2021: Plánek jeskyně. Dostupné on-line: <https://www.suchy-zleb.cz/wp-content/uploads/spolecr.gif>. Shlédnuto dne 16.11.2021.

Variace v hydrochemických vlastnostech průsakových vod v Amatérské jeskyni

Pavel Pracný¹, Marek Lang¹, Jiří Faimon^{1,2}, Veronika Synková¹, Zdeněk Roubal³, Zoltán Szabó³, Radim Kadlec³

¹ Ústav geologických věd, PřF MU, Kotlářská 267/2, Brno 611 37; pracny@sci.muni.cz; mareklang@mail.muni.cz; faimon@sci.muni.cz; vsynkova@mail.muni.cz

² Česká geologická služba, pobočka Brno, Leitnerova 22, Brno 658 69

³ Ústav teoretické a experimentální elektrotechniky, FEKT, Technická 3082/12, Brno 616 00; roubalz@vutbr.cz; szabo@vutbr.cz; kadlec@vutbr.cz

Abstrakt:

Skapové vody nesou mnoho informací o podmínkách a procesech ve vadózní zóně nad jeskyněmi. Vlastnosti skapů v Amatérské jeskyni byly v období 4/2021–6/2022 sledovány loggerovými stanicemi. Vydatnost skapů v roce 2021 setrvale klesala, v roce 2022 u části mírně narůstá. Byly zaznamenány náhlé výkyvy ve vydatnostech. Hodnoty pH vykazují sezónnost s maximy v zimě a minimy v létě a negativně korelují s CO₂ v jeskynním vzduchu. Konduktivita se mezi skapy liší, hodnoty bývají stabilní, pouze skap v Dómu zemních pyramid vykazuje sezónnost s maximy v zimě a minimy v létě. Konduktivita pozitivně koreluje s vydatností skapů, korelace indikují také zpoždění odezvy vydatností na srážky o 2–3 dny. Většina skapů je obvykle přesycená vůči kalcitu, pouze skap v Dómu zemních pyramid je trvale nenasycený.

Klíčová slova: Moravský kras, skapové vody, hydrogeochemie, vydatnost, konduktivita

1. Úvod

Jeskynní průsakové vody jsou úzce spojeny s novotvořenými minerálními formacemi (speleotémami), které z nich vznikají a slouží v posledních desetiletích jako významné paleoenvironmentální proxy (shrnutí např. Wong a Breecker, 2015). Vlastnosti průsakových vod jsou proto běžně studovány pro hydrogeochemické vazby na klimatické podmínky na povrchu (Fairchild a Baker, 2012), ale také jako klíč k procesům ve vadózní zóně (Tooth a Fairchild, 2003) a obecně v rámci ochrany krasové přírody. Tento příspěvek navazuje na předchozí práce v Moravském krasu sledující vlastnosti skapových vod (Faimon et al., 2012; Pracný et al., 2016) a rozšiřuje je zejména o podrobné kontinuální sledování (1) hydrogeochemických vlastností vod, (2) jeskynního mikroklimatu a (3) podmínek na povrchu.

Tab. 1. Charakteristika vzorkovaných skapových vod.

	Lokalizace v jeskyni	Popis zdroje vody	Situace na povrchu
E	konec Ministerské trasy před závalem, <i>orientační b. 9</i>	trvalý skap ze stalaktitu na stalagmit (pád kapky 1 m)	smíšený les, oblast u závrtu OP/154
K	Písečný dóm, <i>orientační b. 36 a 37</i>	trvalý skap na plošinu (pád 9,5 m), dopad do d'olíku v sedimentu, bez sintru	rozhraní lesa a pastviny, závrt OP/139
M	Dóm zemních pyramid, <i>orientační b. 41 a 42</i>	skapy z hrany komína ve stropě (pád 12 m), dopad do dolíku v sedimentu, bez sintru	travnatá plocha u závrtu Dolina překvapení
N	Rozlehlá chodba <i>orientační b. 53</i>	skapy ze seskupení stalaktitů na stropě chodby (pád 1,5 m), dopad na šterk, lehký sintrový povlak na valounech	pole zatravněné, závrt OP/102
R	Odbočka z Rozlehlé chodby do Krematoria	skap ze stalaktitu na stropě chodby, lehký sintrový povlak na valounech	pole zatravněné

2. Lokalizace a metodika

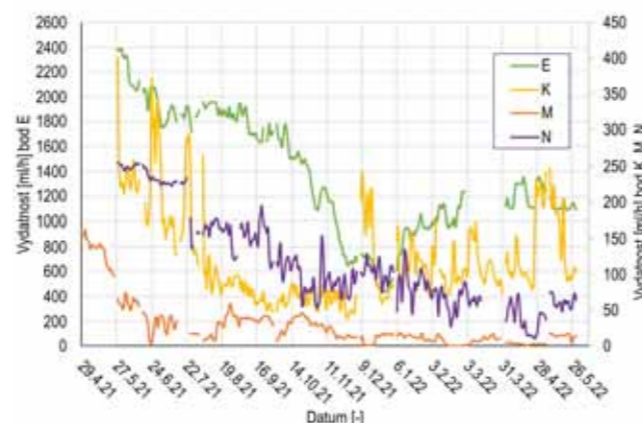
Studované průsakové vody se nachází ve střední části systému Amatérské jeskyně. Ta představuje nejrozsáhlejší jeskynní systém v České republice lokalizovaný na severním okraji Moravského krasu. Jeskyně je tvořena ve směru SV-JZ systémem chodeb vymodelovaným podzemním tokem Sloupského potoka a Bílé vody, které se spojují v řeku Punkvu, která nakonec vyvěrá za Punkevními jeskyněmi zpět na povrch. Sledované průsakové vody a jejich lokalizaci charakterizuje *tab. 1*.

Skapové vody byly vzorkovány v období od srpna 2020 do června 2022 s nepravidelnou, zhruba měsíční periodicitou. Při vzorkování byly multimetrem Greisinger G 7500 měřeny teplota, pH, specifická konduktivita. V odebraných vzorcích byly v laboratoři ÚGV MUNI titračně stanoveny karbonáty a vápník. Od dubna 2021 byly na lokalitách E, K, M a N umístěny přístroje pro dlouhodobý kontinuální monitoring jeskynního prostředí a skapových vod, tzv. *kapkometry* (Synková et. al, 2021). Loggerová stanice zaznamenává hodnoty z měřicí stanice pro skapové vody (T_{voda} , pH, konduktivita, vydatnost) a mikroklima (T_{vzduch} , Rh, CO_2). Pro porovnání s povrchovými podmínkami jsou použita data z meteorologické poskytnutá Správou jeskyní MK.

3. Výsledky a diskuze

3.1 Vydatnost

Na základě vydatnosti a jejich variací můžeme skapy rozdělit na skapy sezónní (K, M, N, R) a skap trvalý (E). Sledování vydatnosti loggerovou stanicí ukazuje u všech skapů klesající trend v období od začátku měření do prosince 2021 (*obr. 1*). Následně pokračuje mírnější klesající trend u skapů M (který dočasně také zcela vyschl) a N. Skapy K a E v první polovině roku 2022 vykazují celkově mírně pozitivní trend. U skapu K byly pozorovány výrazné výkyvy, kdy nárazově i zdvojnásobuje vydatnost, které vůbec nebyly zachyceny sledováním vydatností při odběrech vzorků. Celkový klesající trend bude dán nejspíše rozdílem v množství a rozložení srážek ve sledovaném období, kdy rok 2021 byl sušší a s méně efektivní infiltrací než předchozí.



Obr. 1. Graf vydatnosti sledovaných skapů sestavený z dat zaznamenaných automatickými loggery.

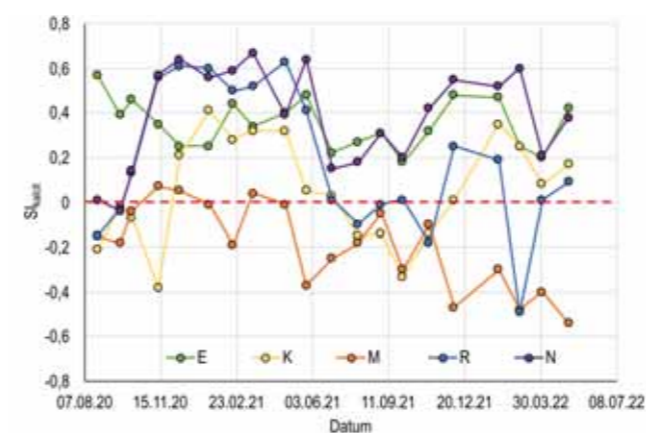
3.2 pH

Průměrné hodnoty pH se pohybovaly v rozmezí 7,47 až 7,65 s výjimkou skapu E, který vykazuje mírně nižší hodnotu 7,28. Hodnoty pH jsou poměrně stálé, hodnota směrodatné odchylky je 0,25. Z hlediska sezónnosti pak pozorujeme vyšší hodnoty v zimním období (říjen–duben), což souvisí také s variacemi koncentrací CO_2 v jeskynním vzduchu. Ty řídí odplynění CO_2 z vody a tím i výsledné pH, čemuž odpovídají také silné záporné korelace mezi pH a koncentrací CO_2 v jeskynním vzduchu.

3.3 Specifická konduktivita a nasycení ke kalcitu

Vývoj specifické konduktivity se mezi jednotlivými skapy liší. Velmi stálé hodnoty vykazuje skap E ($934,32 \pm 8,47 \mu\text{S/cm}$), relativně stálou hodnotu s občasnými pozitivními výkyvy skap K ($467,66 \pm 9,32 \mu\text{S/cm}$). Skap N má poměrně stálý vývoj s několika negativními výkyvy a výraznějším poklesem na jaře ($683,69 \pm 19,91 \mu\text{S/cm}$). Podstatně odlišné chování pozorujeme u skapu M, který vykazuje jasnou sezónnost s maximy v srpnu a září (ca. $480 \mu\text{S/cm}$) a minimy v březnu a dubnu (ca. $330 \mu\text{S/cm}$). Stálé hodnoty mohou indikovat velké a dobře promísené rezervoáry v epikrasu s delšími časy zadržení. Naopak variabilní konduktivita naznačuje menší objem rezervoárů, kratší zadržení a rychlejší transport do jeskyně.

Konduktivita indikuje celkovou mineralizaci vody, čemuž odpovídá také to, že nejvyšší přesycení vůči kalcitu vykazuje trvale kladnými hodnotami indexu nasycení skap E ($\text{SI}_{\text{kalcit}} = 0,38 \pm 0,13$), další běžně přesycené skapy jsou N ($0,38 \pm 0,22$) a R ($0,18 \pm 0,31$). Skap K se průměrnou hodnotou indexu nasycení vůči kalcitu ($0,07 \pm 0,23$) pohybuje kolem rovnovážné hodnoty 0. Konečně skap M dlouhodobě vykazuje zápornou hodnotu indexu nasycení ($-0,19 \pm 0,18$), což indikuje nenasycení vůči kalcitu a potenciál ho



Obr. 2. Graf přesycení skapů vůči kalcitu – data za celé sledované období vypočítaná na základě analýz odebraných vzorků.

nevykazoval žádné zdržení vydatností za srážkami. V případě skapů E a K pozorujeme také významnou pozitivní korelaci mezi konduktivitou a vydatností, což může naznačovat, že po srážkách nastává vyplavování déle zadržené vody.

4. Závěry

Ve sledovaném období pozorujeme celkově klesající trend vydatnosti skapů. U většiny skapů se zpožďuje odezva na srážky o 2–3 dny. Měřené hodnoty pH jsou do značné míry řízeny odplyněním CO_2 z vody do jeskynního vzduchu. Ze studia průsakových vod vyplývá, že vykazují velmi rozdílné hydrologické a geochemické vlastnosti. Můžeme je rozčlenit např. na (a) skapy permanentně přesycené (E, N částečně R), u kterých pozorujeme růst sintru, vyšší mineralizaci, menší vliv sezónnosti a předpokládáme větší kolektory s delšími časy zadržení. Jako druhou skupinu můžeme vymezit (b) skapy nenasycené (M, částečně K) bez známek sintru, s nižší mineralizací, větším vlivem sezónnosti a pravděpodobně menšími kolektory s kratšími časy zadržení. Tato diverzita může představovat environmentální výzvu např. z hlediska migrace polutantů vadózní zónou krasu.

Poděkování: Děkujeme Správě jeskyní Moravského krasu za poskytnutí dat z meteorologické a Správě CHKO Moravský kras za spolupráci na terénních pracích. Výzkum je výsledkem projektu spolufinancovaného se státní podporou TAČR v rámci Programu Zéta, další výstupy projektu jsou dostupné na adrese <https://muni.cz/go/tacr-jeskyne>.

SEZNAM LITERATURY:

- FAIMON, J., LIČBINSKÁ, M., ZAJÍČEK, P., SRACEK, O., 2012: Partial pressures of CO_2 in epikarstic zone deduced from hydrogeochemistry of permanent drips, the Moravian Karst, Czech Republic. – *Acta Carsologica*, 41(1), str. 47 až 57.
- FAIRCHILD, I. J., BAKER, A., 2012: *Speleothem science: from process to past environments*. – John Wiley & Sons. Chichester.
- PRACNÝ, P., FAIMON, J., SRACEK, O., KABELKA, L., HEBELKA, J., 2016: Anomalous drip in the Punkva caves (Moravian Karst): relevant implications for paleoclimatic proxies. – *Hydrological Processes*, 30(10), str. 1506 až 1520.
- SYNKOVÁ V., PRACNÝ P., ROUBAL Z., FAIMON J., SZABÓ Z., KADLEC R., LANG M., 2021: Specification and utilization of a device capable of continuous cave environment monitoring. – In 13th Scientific Conference “Research, Use and Protection of Caves”, Liptovský Mikuláš, September 7–9, 2021, Slovakia.
- TOOTH, A. F., FAIRCHILD, I. J., 2003: Soil and karst aquifer hydrological controls on the geochemical evolution of speleothem-forming drip waters, Crag Cave, southwest Ireland. – *Journal of Hydrology*, 273(1-4), str. 51 až 68.
- WONG, C. I., BREECKER, D. O., 2015: Advancements in the use of speleothems as climate archives. – *Quaternary Science Reviews*, 127, str. 1 až 18.

Krátkoperiodické klimatické cykly v koloběhu vody

Pavel Kalenda^{1,2}, Miloslav Šír³

¹ CoalExp, Pražmo 129, 739 04 Pražmo, e-mail: pkalenda@seznam.cz

² ČSS ZO 6-19 Plánivý

³ Česká společnost vodohospodářská ČSSI, z. s., e-mail: milo_sir@yahoo.com

Abstrakt:

Klima na Zemi se mění a vyvíjí po celou geologickou historii v pravidelných i nepravidelných cyklech od nejdelších cyklů (cca 150 mil. let) po nejkratší cca 60 leté cykly. Počasí navíc ovlivňují sluneční cykly (cca 11 let – Schwabeho a cca 22 let – Haleho cykly). Z pohledu lidského života je nejdůležitějším a nejvýraznějším klimatickým cyklem cyklus excentricity orbity Jupitera (cca 61 let), který je dobře pozorovatelný téměř ve všech klimatických a meteorologických parametrech – ve srážkách, průtocích, povodních, extrémech sucha, v indexech PDO, AMO, NAO, v teplotách a rychlostech nárůstu hladin světového oceánu, v koncentracích CO₂, rozložení tlakových útvarů, v četnostech synoptických situací, v rychlosti a směrech jet-streamu ve vysoké atmosféře a dalších. Z analýzy hydrologických, meteorologických a klimatických dat vyplývá, že se v současné době nacházíme za maximem dlouhodobého cyklu sluneční aktivity, v blízkosti maxima globálních teplot a za maximem období extrémů sucha. V příštích letech nás čeká více přímořské než kontinentální klima ve střední Evropě, více vlhkosti a srážek (maximum okolo roku 2027) a další mírný pokles teplot (cca do roku 2040).

Klíčová slova: klimatické cykly, excentricita orbity Jupitera, sluneční aktivita, extrémů sucha

1. Úvod

Klima na Zemi se mění v průběhu mnoha různých cyklů od těch nejdelších, srovnatelných s oběhem Sluneční soustavy okolo centra naší Galaxie (cca 300 mil. let), přes Milankovičovy cykly, které odrážejí změny parametrů orbity Země, až po ty krátkodobé, odrážející zejména změny sluneční aktivity vlivem planetární interakce (11, 22, 60, 88, 179, 208 až 6256 let) (Charvátová 1990). Zvláštní postavení má perioda cca 62,5 let, která je periodou změny excentricity orbity Jupitera, a tedy i jeho rotačního orbitálního momentu (Wilson, 2013). Jupiter tak dostává nebo naopak předává část svého rotačního momentu nejenom Slunci, ale také ostatním planetám, Zemi nevyjímaje. Proto na Zemi můžeme pozorovat periodu 61 let v klimatických nebo meteorologických parametrech, jako jsou teplota, výšky hladin oceánů, délka dne (LOD), rozložení tlakových útvarů v atmosféře, výskyt synoptických situací, výskyt období sucha nebo naopak povodní, PDO, NAO, AMO, a dalších. Ze všech klimatických period se budeme zabývat především periodou cca 61 let a jejími dopady na oběh vody na Zemi, který je bezprostředně svázán s vývojem jeskyní a speleologickou činností.

2. Projev periody 60–63 let v klimatických a geofyzikálních parametrech na Zemi

Z pohledu klimatu a také počasí je nejvýraznější cyklus s periodou cca 61 let, která je periodou změn excentricity orbity Jupitera. Význam tohoto cyklu spočívá v tom, že Jupiter předává svůj rotační moment nejenom Slunci a řídí tak jeho aktivitu a tím i zářivý výkon, ale část tohoto momentu předává přímo Zemi, její atmosféře a oceánským proudům. S periodou cca 61 let se tak střídají základní polohy tlakových útvarů v atmosféře (Kalenda a Šír, 2021), které souvisí také se základními klimatickými parametry, jako je AMO a PDO.

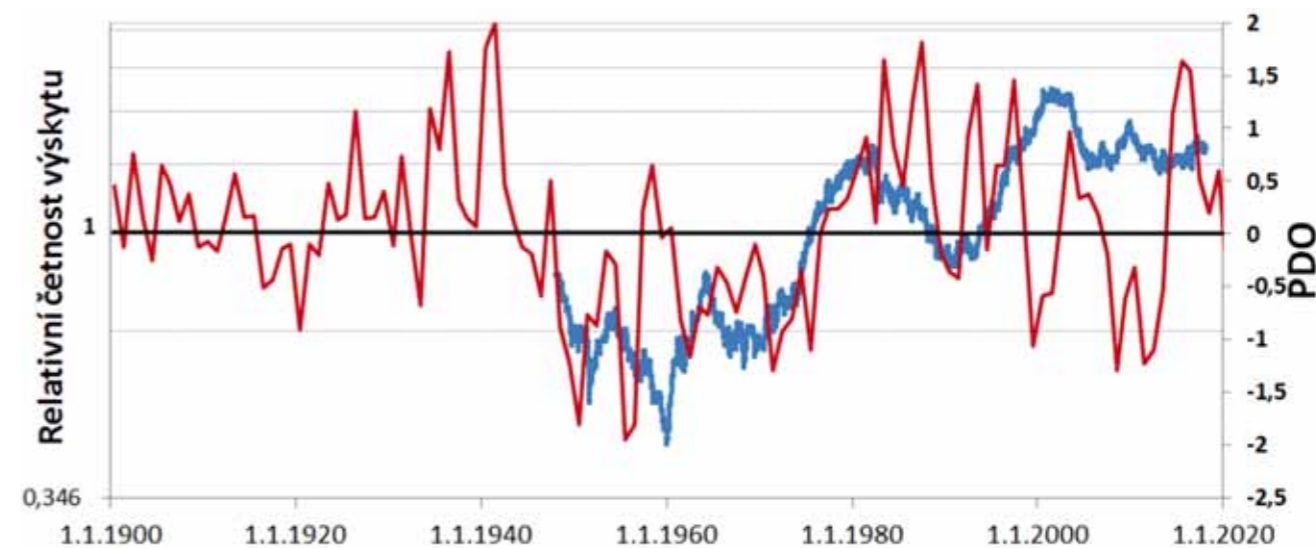
Srážky: Ve srážkových řadách ve střední Evropě (Praha 1804–2019, Milešovka 1905–2009, Vídeň 1901–2001) byla nalezena krátká perioda asi 11 let, střední perioda asi 61 let a dominantní perioda asi 120–134 let (Kalenda et al., 2021). Roku 2020 započala malá pluvialní perioda, která by měla vrcholit okolo roku 2027 (souběh 11leté a 61leté periody), a střední pluvialní perioda s maximem okolo roku 2080 (120–135letá perioda).

Průtoky: V průtocích řek v Evropě byly zjištěny dominantní klimatické periody 28–32, 58–65, 88, 120 a přibližně 179 let Josého periody. Na Labi, kde byly v průtocích pozorovány periody cca 61 let a 134 let,

v extrémních průtocích byly pozorovány periody 28,6 let a 208 let, které také patří mezi klimatické periody (Kalenda et al., 2021).

Povodně: Povodně se téměř pravidelně opakují v několika periodách. V případě průtoků Labe Děčínem i Drážďany se v posledních letech ukázala významná perioda 62,5 let (Kalenda et al., 2021). Stejná perioda se vyskytla i v průtocích říčky Punkvy v Moravském krasu v povodních na řece Tittabawasse v Midlands, USA (Kalenda a Šír, 2020).

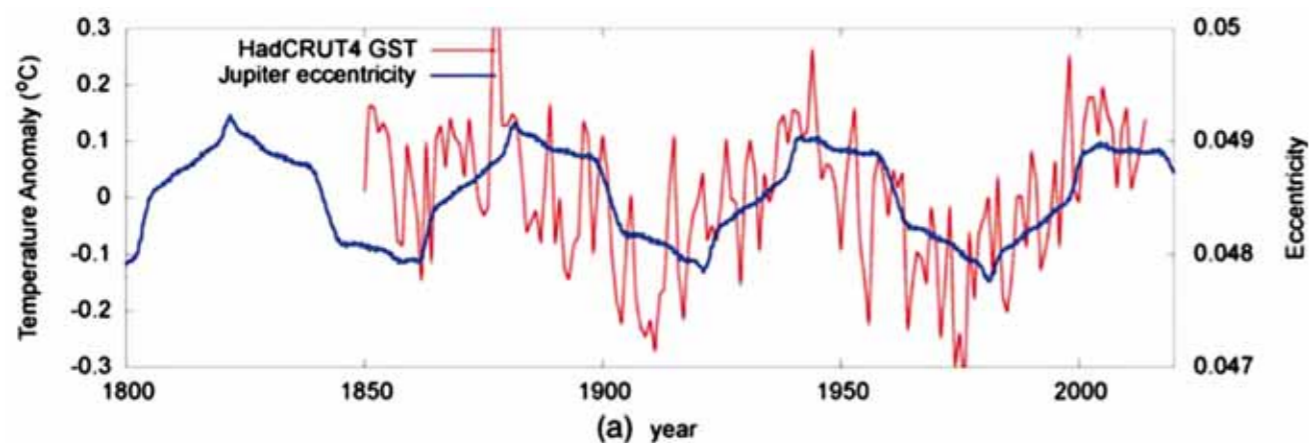
Sucha: V českých zemích se přístrojově měří srážky v Klementinu od roku 1804. Spolu s historickými záznamy je tak možno sestavit vývoj indexu sucha až od roku 1500 (Brázdil et al., 2015). Od začátku přístrojových měření v roce 1804 je možno proložit vývojem indexu sucha harmonickou funkcí s periodou cca 62,5 let a maximem okolo roku 2000 (Kalenda a Šír, 2021). V kontinentálních USA se měří index sucha od roku 1895 (Palmer Drought Severity Index, PDSI (Data NOAA-PDSI on-line)). Indexem sucha, zejména pak jeho extrémy, je možno proložit harmonickou funkcí s periodou cca 62,5 let a maximem sucha okolo roku 2005. Obdobně lze nízkými průtoky říčky Punkvy v Moravském krasu (Lejska et al., 2019) proložit harmonickou funkcí s periodou cca 62,5 let s minimem cca v roce 2018, tedy o více než 13 let později za suchem v USA.



Obr. 1. Časový vývoj relativní četnosti letních synoptických situací v období 1946–2019 (modře) a časový vývoj PDO v letech 1900–2020 (červeně), data PDO [online]

Indexy AMO, PDO a synoptické situace: Kalenda a Šír (2021) ukázali, že vývoj četnosti letních synoptických situací ve střední Evropě prakticky kopíruje vývoj PDO a četnost zimních situací je inverzní vůči PDO a všechny indexy vykazují jako základní přibližně 62letý cyklus. Vzájemný posun suchých období mezi severoamerickým kontinentem a Evropou je možno přičítat změně rozložení tlakových útvarů a jejich posunem v čase v průběhu cca 60letého cyklu. Tento posun je možno dobře dokumentovat na změnách klimatických indexů PDO (PDO [online]) a AMO (AMO [online]) nebo i na vývoji četnosti synoptických situací ve střední Evropě.

Globální teplota a výška světového oceánu: Vývoj globálních teplot na Zemi by neměl souviset nijak s pohybem atmosféry nebo oceánských proudů, a je možno tedy tento vývoj přičítat změnám sluneční aktivity. Protože sluneční aktivita stejně jako související polární záře (Křivský a Pejml, 1988, Scafetta, 2012) vykazují přibližně 60letý cyklus, je tento cyklus dobře patrný i v teplotních řadách po odečtení dlouhodobého trendu (Scafetta et al., 2020), tak i v řadách výšky hladiny světového oceánu (Jevrejeva et al., 2008). Vývoj výšky hladin globálního oceánu jednoznačně souvisí s prohříváním vody a akumulací tepla v oceánech, a tedy je oproti teplotám atmosféry zpožděn o přibližně o 18 let, tedy přibližně o fázi $+\pi/2$ z 62letého cyklu. Maxima rychlostí nárůstu hladin oceánů přesně odpovídají vývoji globálních teplot (Jevrejeva et al., 2008).



Obr. 2. Excentricita Jupitera (modře) a rekonstruovaná globální teplota (s odečtením kvadratického trendu – červeně). Převzato s povolením ze Scafetta et al. (2020).

3. Závěr

Ve všech klimatických, hydrologických a mnohých geofyzikálních indexech a datech se výrazně projevuje nejkratší klimatický cyklus s délkou periody 60–63 let. Jeho původcem může být jak variace sluneční aktivity (TSI), tak také přenos orbitálního rotačního momentu Jupitera na další tělesa Sluneční soustavy, Zemi nevyjímaje. Proto tento cyklus pozorujeme jak ve variacích polárních září, TSI, teplot, výšek hladin oceánů, tak také pohyb v rozložení tlakových útvarů v atmosféře a změn jejího proudění. Koloběh vody v přírodě proto vykazuje obdobné periody. Z analýzy srážek, odtoků vod a synoptických situací ve střední Evropě (Kalenda a Šír, 2021) vyplývá, že okolo roku 2018 skončila výrazná suchá období ve střední Evropě a nastává počátek malého pluvialu s větším množstvím srážek a vrcholem povodňové aktivity okolo roku 2027. Protože Slunce je za vrcholem své aktivity z dlouhodobého pohledu, bude klesat postupně i globální teplota (Kalenda et al., 2018) a následně se zpomalí rychlost nárůstu výšky hladin světového oceánu. Do roku cca 2040–50 se bude proto mírně ochlazovat a ve střední Evropě bude převládat spíše chladnější a vlhčí klima, tedy více přímořské než kontinentální, avšak s velkými výkyvy počasí, danými změnami v proudění atmosféry z ustáleného (Z-V) na chaotické (S-J a J-S).

SEZNAM LITERATURY:

- BRÁZDIL, R., TRNKA, M. A KOLEKTIV, 2015: Historie počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. – Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v. v. i., Brno, 402 s.
- CHARVÁTOVÁ, I., 1990: The relations between solar motion and solar variability. – Bull. Astr. Inst. Czechosl. 41, 56–59.
- JEVREJEVA, S., MOORE, J. C., GRINSTED, A., WOODWORTH, P. L., 2008: Recent global sea level acceleration started over 200 years ago? – Geophysical Research Letters, v. 35, L08715, doi:10.1029/2008GL033611.
- KALENDA, P., WANDROL, L., FRYDRÝŠEK, K., KREMLÍK, V., 2018: Calculation of solar energy, accumulated in the continental rocks. – New Concepts in Global Tectonics J. 6(3), 347–380.
- KALENDA, P., ŠÍR, M., 2020: Klimatické cykly způsobené kolísáním sluneční aktivity. – Vodohospodářský bulletin 2020, 34–38.
- KALENDA, P. A ŠÍR, M., 2021: Cykly srážek a průtoků ve střední Evropě po roce 1800. – Vodohospodářský bulletin 2021, 35–39.
- KALENDA, P., TESAŘ, M., ŠÍR, M., 2021: Cykly srážek a průtoků ve střední Evropě po roce 1800. – Vodohospodářský bulletin 2021, 35–39.
- KŘIVSKÝ, L., PEJML, K., 1988: Solar activity aurorae and climate in Central Europe in the last 1000 years. – Bull. Astron. Inst. Czechoslovak Acad. Sci. 75.
- LEJSKA, S., KUDA, F., KNĚŽÍNEK, K., 2019: Malý pohled na historii suchých období v řece Punkvě se zřetelem na rok 2018. – In: Speleofórum 2019. Praha: Česká speleologická společnost, s. 16–20.
- MÖRNER N.-A., ed., 2015: Planetary influence on the Sun and the Earth and a modern book-burning. – Nova Science Publishers, New York. ISBN: 978-1-63482-489-9 (e-Book)
- PDSI [online]: PDSI (Palmer Drought Severity Index) [cit. 7. 9. 2022]. Dostupné z: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/historical-palmers/>
- AMO [online]: AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) Index [cit. 7. 9. 2022]. Dostupné z: <https://www.psl.noaa.gov/data/timeseries/AMO/>
- PDO [online]: [cit. 7. 9. 2022]. Dostupné z: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/pdo/>
- SCAFETTA, N., 2012: A Shared Frequency Set between the Historical Mid-Latitude Aurora Records and the Global Surface Temperature. – J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Phys. 74, 145–163.
- SCAFETTA, N., MILANI, F., BIANCHINI, A., 2020: A 60-year cycle in the Meteorite fall frequency suggests a possible interplanetary dust forcing of the Earth's climate driven by planetary oscillations. – Geophys. Res. Lett. 47, e2020GL089954.
- USOSKIN, I. G., 2013: A History of Solar Activity over Millennia. – Living Rev. Sol. Phys. 10(1).
- WILSON, I. R. G., 2013: The Venus–Earth–Jupiter spin–orbit coupling model. – Pattern Recogn. Phys. 1, 147–158.

Současná lampenflora – mechy ve vybraných jeskyních Moravského krasu

Svatava Kubešová

Botanické oddělení, Moravské zemské muzeum, Hviezdoslavova 29a, 627 00 Brno,

e-mail: skubesova@mzm.cz

Abstrakt:

V letech 2012, 2013 a 2022 jsem zkoumala porosty „lampenflory“ ve třech vybraných veřejnosti přístupných jeskyních Moravského krasu: Kateřinská jeskyně, Punkevní jeskyně a jeskyně Výpustek. V roce 2022 byla lampenflora vytvořená u 50 % světél (z toho 6 % s mechy) v Kateřinské jeskyni, u 51 % světél (z toho 15 % s mechy) v Punkevních jeskyních a u 24 % světél (z toho 12 % s mechy) v jeskyni Výpustek. Zaměřila jsem se na přítomné mechorosty, dohromady jsem našla 39 mechů, žádné játrovky. Počty taxonů v Punkevních jeskyních: 20 (2012), 17 (2022), v Kateřinské jeskyni: 14 (2012), 6 (2022), v jeskyni Výpustek: žádné mechy (2013), 12 (2022). Často se vyskytovaly druhy *Cratoneuron filicinum*, *Eucladium verticillatum*, *Leptobryum pyriforme* a *Rhynchostegium murale*. Z druhů zařazených na červený seznam byly nalezeny *Platydictya jungermannioides* (CR), *Didymodon sinuosus* (VU), *Oxystegus tenuirostris* (LC-att) a *Plasteurhynchium striatulum* (LC-att). Mechy rostly většinou na sedimentech a vápencové skále (kamenech).



Porost mechu krasatky přeslenité (*Eucladium verticillatum* (With.) Bruch & Schimp.) částečně obalený sintrem na krápníku v Punkevních jeskyních, 12. 9. 2022, foto S. Kubešová.

Monitoring půdní bioty na nově zatravněvaných plochách v CHKO Moravský kras

Karel Tajovský, Miloslav Devetter, Veronika Jilková, Václav Pižl, Josef Starý, Jiří Tůma, Michala Tůmová
Biologické centrum AV ČR, Ústav půdní biologie a biogeochemie, Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice
e-mail: tajov@upb.cas.cz, devetter@upb.cas.cz, veronika.jilkova@upb.cas.cz, pizl@upb.cas.cz,
Josef.Stary@seznam.cz, jiri.tuma@upb.cas.cz, michala.tumova@upb.cas.cz

Abstrakt:

Monitoring bioty na nově zatravněvaných plochách krasových plošin v CHKO Moravský kras probíhající od roku 2019 přináší řadu poznatků o kolonizaci a postupném rozvoji sledovaných skupin půdní fauny, a rovněž o pozvolných změnách v půdním prostředí z hlediska přítomné organické hmoty, tvorby půdních agregátů a rozvoji podzemní biomasy kořenů a mikroorganismů. Zatravnění má velký význam nejen pro stabilizaci poměrů na krasových plošinách a zamezování nežádoucích dopadů průsaků do podzemních jeskynních systémů, ale i pro celkový rozvoj půdní bioty a zvyšování biodiverzity v půdách krajiny krasu.

Klíčová slova: Moravský kras, zatravnění, půdní fauna, půdní organická hmota

1. Úvod

Jedním z důvodů nového vyhlášení Chráněné krajinné oblasti Moravský kras v roce 2019 byla změna zonace, určující základní podmínky hospodaření v daném území. Upřesněné mapování jeskynních systémů v podzemí si vyžádalo upravit a zlepšit způsob využívání dosud zemědělsky intenzivně využívaných ploch. Do tzv. I. zóny tak byly nově zahrnuty části krajiny nad jeskyněmi, na nichž dosavadní hospodaření výrazně ovlivňovalo čistotu průsakových vod a tím i stav jeskynních systémů. V návaznosti na tato opatření byl v roce 2019 zahájen projekt zaměřený na přeměnu intenzivně obhospodařovaných polí v trvalé travní porosty s eliminací dosavadní aplikace hnojiv a pesticidů včetně snížení rizika eroze do závrtů a celkové degradace půdy. Tato opatření zároveň přispívají ke zvýšení lokální biodiverzity v krajině. V návaznosti na tato opatření bylo ve spolupráci se Správou CHKO a s podporou AOPK ČR zahájeno také monitorování biologických parametrů nově vznikajících travních porostů (Vymyslický et al., 2019). Vegetační poměry jsou sledovány pracovníky společnosti Zemědělský výzkum spol. s r.o., Troubsko, vybrané skupiny entomofauny pracovníky MU Brno a MENDELU Brno. Půdně biologické charakteristiky (půdní fauna a dynamika půdní organické hmoty) jsou předmětem studia Ústavu půdní biologie a biogeochemie Biologického centra AV ČR. Dílčí výsledky z půdně biologických sledování jsou informativně představeny v tomto příspěvku.

2. Studované lokality a metodika

Pro společné účely monitoringu bylo z celého souboru zatravněných ploch vybráno celkem 8



Obr. 1. Mapa zájmového území s vyznačením polohy sledovaných lokalit.

lokalit nacházejících se v I. a II. zóně, které jsou součástí Evropsky významné lokality CZ0624130 - Moravský kras. Tyto studijní lokality se nacházejí v k.ú. Žďár (lokalita č. 1), Ostrov u Macochy (2, 4 a 5), Holštejn (3), Vilémovice (6), Lažánky (7) a Rudice (8) (obr. 1). Na všech lokalitách došlo na části ploch k výsevu druhově obohacené jetelovinotravní směsi „Živa“ (plochy ozn. A), na lokalitách 2, 3 a 4 byla rovněž vyseta regionální osivová směs pro širokolisté suché trávníky typu *Bromion* (dodavatel osiva Agrostis spol. s r.o., Rousínov; plochy ozn. C). Na všech lokalitách byly rovněž vymezeny a monitorovány jako kontrolní plochy již existující starší trvalé travní porosty (plochy ozn. B). Na všech plochách počínaje podzimem 2019 a v následujících letech v jarních a podzimních termínech probíhají půdně biologická sledování standardizovanými metodami (viz např. Dykyová, 1989). Pravidelně jsou prováděny odběry vzorků půd za účelem stanovení cenologických parametrů pro půdní mikrofaunu (půdní hlístice – Nematoda, želvušky – Tardigrada, vířníci – Rotifera), mesofaunu (půdní roztoči, pancířníci – Acari, Oribatida) a makrofaunu (žížalovití – Lumbricidae, mnohonožky – Diplopoda, stonožky – Chilopoda, suchozemští stejnonožci – Oniscidea, mravencovití – Formicidae). Dále jsou sledovány vybrané charakteristiky půdního prostředí jako obsah půdních agregátů, celková respirace (produkce CO₂), biomasa kořenů a mikroorganismů.

3. Dosavadní výsledky

Dosavadní výsledky po prvních dvou letech po výsevu neukazují významné změny v oživení půd a celkovém rozvoji bioty i dalších půdních parametrů. V řadě ohledů odráží původní stavy odpovídající dříve intenzivně obdělávaným polím. Pro půdní bezobratlé s většinou malými migračními schopnostmi jsou velmi důležité okolní biotopy, ze kterých se mohou na nově oseté plochy postupně šířit. Stabilizace podmínek na nových výsevech pak usnadňuje rozvoj těchto migračních trendů v průběhu let daleko snáze, než jak je tomu v opakovaně obdělávaných polích.

Průběžná sledování potvrzují patrné změny v oživení půd, a to jak pod výsevy obohacenou travní směsí (A), tak na plochách s regionální směsí (C). Stanovené hodnoty nicméně odpovídají počátečním sukcesním fázím rozvoje sledovaných skupin půdní fauny i dalších měřených půdních charakteristik. Vývoj půdní bioty a rozdíly mezi trvalými travními porosty (plochy B) a nově osetými plochami (A a C) jsou demonstrovány na několika příkladech na obr. 2 a 3. Výsledky z předchozích let naznačují, že jen pro některé skupiny (např. půdní hlístice, vířníci, půdní roztoče – pancířníci) a některé sledované půdní charakteristiky má výsev regionální směsí (C) pozitivnější dopad. Mezi jednotlivými lokalitami jsou patrné výraznější rozdíly v hodnotách sledovaných charakteristik jak v případě trvalých travních porostů, tak na obou variantách výsevu.

Z půdně zoologického hlediska monitoring na osetých plochách dosud potvrdil celkem 47 druhů vířníků, přes 60 druhů pancířníků, 9 druhů žížal, 21 druhů mnohonožek, 12 druhů stonožek, 10 druhů suchozemských stejnonožců a 9 druhů mravenců. Tyto hodnoty odpovídají raným stádiím vývoje na obdobných otevřených travnatých stanovištích.

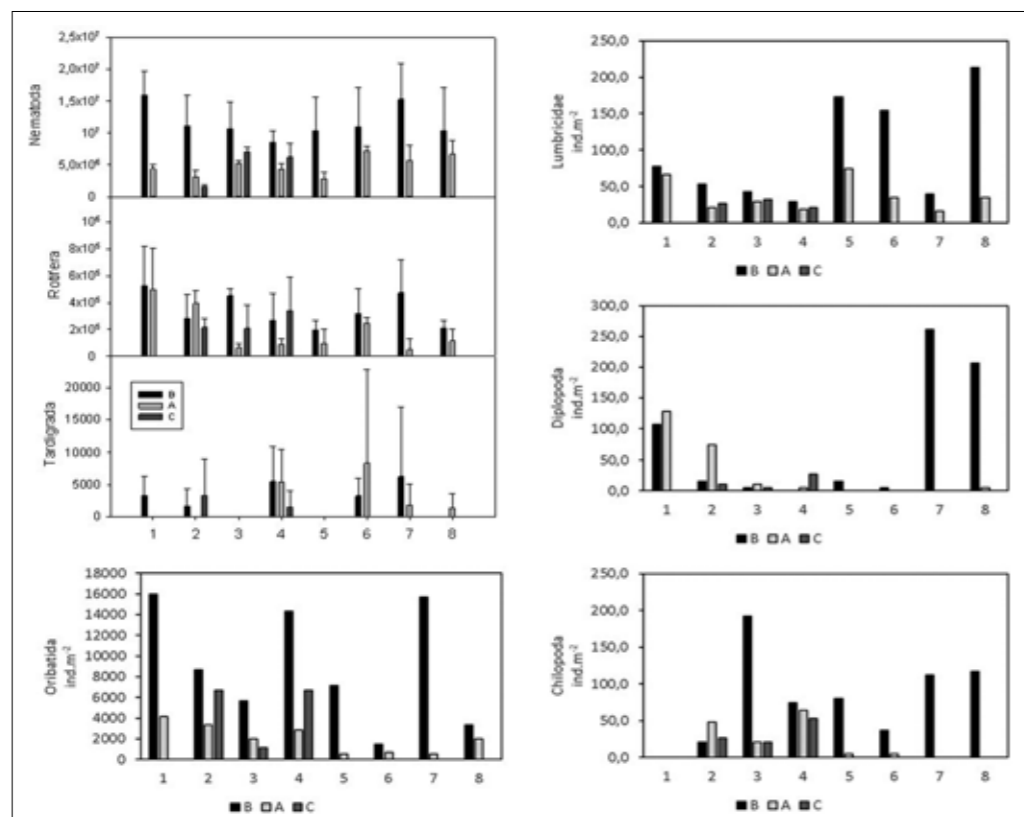
Pro kolonizaci a rozvoj populací půdních bezobratlých živočichů na osetých plochách hrají důležitou úlohu okolní biotopy, které představují potenciální zdroje šíření těchto půdních bezobratlých. Povrch půdy s nespojitě zapojeným travním porostem je menší migrační bariérou pro některé půdní bezobratlé než trvalé trávníky, což se promítlo v počáteční akceleraci osídlování v prvních fázích vývoje ploch.

Z hlediska sledovaných parametrů půdní organické hmoty, biologické aktivity a biomasy nebyly zjištěny významné rozdíly mezi plochami (obr. 3). Nicméně typ výsevu měl vždy statisticky významný vliv. Mikrobiální biomasa byla vždy nejvyšší v trvalém travním porostu (B) a srovnatelné úrovni u ploch osetých obohacenou (A) a regionální (C) směsí. Rozdíly v obsahu uhlíku v jednotlivých frakcích se často statisticky nelišili mezi jednotlivými typy ploch.

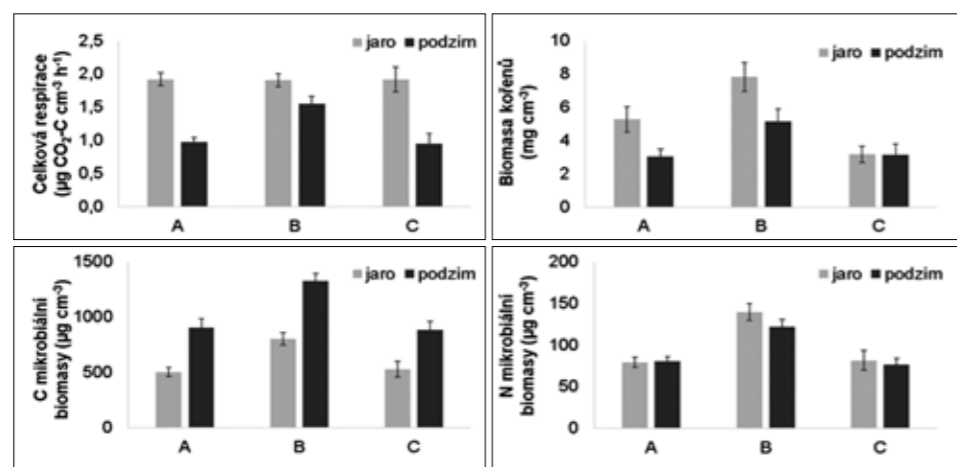
4. Závěr

Rozvoj půdní bioty ve sledovaných skupinách půdní fauny a parametrech půdního prostředí není na osetých plochách natolik dynamický, jako rozvoj vegetačních poměrů. Naše výzkumy proto i nadále pokračují a v případě některých parametrů (např. vývoj organické hmoty v půdě) lze očekávat výraznější změny v daleko delším časovém horizontu. V každém případě samotný rozvoj jednotlivých složek půdní bioty přispívá k celkové stabilizaci půd na zatravněvaných plochách a k ucelenému formování nových trvalých travních porostů. Rozmanitost stanovištních podmínek na jednotlivých lokalitách, různé vlivy okolních biotopů a postupná diverzifikace zatravněvaných ploch dává předpoklady k postupnému zvyšování

celkové biodiverzity na těchto, dříve většinou monokulturních agrocecních. Zatravnění ploch v nově vyhlášených ochranných zónách proto má velký význam nejen pro stabilizaci půdního prostředí, snižování rizik nežádoucích průsaků do jeskynních systémů ale i pro celkový rozvoj a diverzifikaci krajinných prvků v CHKO Moravský kras.



Obr. 2. Abundance (počty jedinců na m^2 + SD) stanovené v roce 2021 na jednotlivých lokalitách (1–8) a plochách (B – kontrolní plochy, A – plochy zatravněné obohacenou směsí, C – plochy zatravněné regionální směsí) pro hlístice (Nematoda), vířníky (Rotifera), želvušky (Tardigrada), půdní roztoče, pancířníky (Acari, Oribatida), žížalovité (Lumbricidae), mnohonožky (Diplopoda) a stonožky (Chilopoda).



Obr. 3. Porovnání celkové respirace, biomasy kořenů, C mikrobiální biomasy a N mikrobiální biomasy (průměr ± SEM) půdy v jarním a podzimním období roku 2021 pro kontrolní plochy (B) a plochy s výsevem obohacené směsi (A) a regionální směsi (C).

SEZNAM LITERATURY:

DYKOVÁ D. (ed.), 1989: Metody studia ekosystémů. – Academia. Praha. 690 str.
 VYMYSLICKÝ T., TAJOVSKÝ K., STARÝ J., PIŽL V., 2019: Monitoring bioty travních porostů krasových plošin ve vybraných oblastech I. a II. zóny CHKO Moravský kras. Zpráva výzkumného projektu, Troubsko, České Budějovice, 85 str. (nepubl. rukopis).

Kvalita podzemních vod v chráněných území ČR. Jsme na tom špatně???

Filip Chalupka

AOPK ČR, RP Jižní Morava, Správa CHKO Moravský kras, Svitavská 29, 678 01 Blansko,
 e-mail: filip.chalupka@nature.cz

Abstrakt:

Od roku 2020 probíhá monitoring kvality podzemní a povrchové vody na vybraných lokalitách krasových území ČR (Operační program životní prostředí „Ochrana vybraných jeskyní a krasových jevů ve zvláště chráněných území ČR“). Z dosavadních měření vyplývá, že nejhorší kvalita podzemní vody je v Moravském krasu, kde např. v okolí Vilémovic dochází k překročení hodnot koncentrace pesticidů až 28 krát. Ostatní krasová území jsou znečištěna relativně málo a pouze lokálně.

Klíčová slova: skapová voda, pesticidy, znečištění

1. Úvod

Již v dávné minulosti byla sledována kvalita vody v chráněných územích. Například v Moravském krasu probíhaly v letech 1970 až 1973 měsíční odběry vod pod záštitou Krajského střediska pro vodovody a kanalizace v Brně (Akce „Moravský kras“ číslo úkolu 542 400 031). Dále probíhají různé odběry vody (Baldík, Dostalík, 2020; Baldík et al., 2019; Halešová, Kotyzová, 2018; Halešová, Kotyzová, 2021) a další různé bakalářské a diplomové práce. Vždy se ale výzkum rozborů vod zabývaly jen určitými lokalitami a neprobíhaly plošné odběry na celém území Moravského krasu. Až v roce 2020 se započal jeskynní projekt z Operačního programu životní prostředí „Ochrana vybraných jeskyní a krasových jevů ve zvláště chráněných území ČR“ (Chalupka, Stanzelová, 2021). Jedna z aktivit v tomto projektu je monitoring kvality podzemních vod v jeskyních, ponorech a vývěrech v chráněných územích.

K zajištění ochrany podzemních vod je nezbytné sledovat kvalitu jak skapové vody tak podzemních vodních toků a povrchových toků, které se v krasových oblastech propadají a přináší veškeré znečištění s sebou do podzemí. Zjištění kvality vod u vývěrů je důležité z hlediska porovnání průtoků (v jeskyních často přitékají do podzemních toků neznámé přítoky, které vody u ponorů ředí), zjištění samočisticích procesů a změny chemismu povrchových toků během průtoku jeskynními systémy. Při zjištění nežádoucích změn lze navrhnout nezbytná opatření v ochranných zónách na povrchu např. v zemědělství pro průsakovou vodu (omezení hnojení, zákaz používání některých druhů vysoce perzistentních pesticidů) nebo ve vodním hospodářství obcí. Z těchto důvodů je navržen monitoring podzemních vod a povrchových vod v síti kontrolních odběrných bodů v jeskyních i na povrchu a jejich následné laboratorní zpracování.

Složitost problematiky prokazuje i sledování reziduí pesticidů a metabolitů ve skapových vodách, zejména z důvodu jejich velkého zadržení v půdním pokryvu a v horninovém masívu. Rezidua a metabolity pesticidů jsou indikátorem dlouhodobého znečištění horninového masívu. Jejich sledováním lze usuzovat na směry šíření látek používaných zemědělci na povrchu.

Vzorkování vody má za účel zachytit při minimálním počtu vzorků, tedy při minimálních nákladech, potenciální znečištění na co nejvyšším počtu sledovaných objektů. Protože objektů navržených k monitorování je značný počet, jsou navrženy odběry 2x ročně po dobu tří let v místech, kde dochází ke znečištění splaškovými vodami či v důsledku intenzivního zemědělského hospodaření. Jedná se zejména o toky přitékající z obcí v oblastech vývěrů a ponorů, dále skapové vody pod intenzivně obhospodařovanými pozemky a zatravněnými pozemky. Sledované parametry poskytují základní představu o znečištění krasových vod. Jedná se o teplotu, pH, vodivost vody a rozpuštěný kyslík, v případě aktivních toků průtok, informace o vodním stavu, dusičnany, dusitany, chloridy, sírany (iontová chromatografie), hydrogenuhličitanu NH_4 , sodík, draslík, CHSK-Mn (chemická spotřeba kyslíku manganistanem), celkový fosfor, BSK₅ (biochemická spotřeba kyslíku), pesticidní látky NEL a mikrobiologický rozbor krácený.

Většina objektů určených ke vzorkování se nachází v jeskynních systémech, a to často ve značné vzdálenosti od vchodů anebo v obtížně přístupných místech (zdolávání žebříků o celkovém převýšení až přes 100 m, brodění ve vodních tocích, možnost zatopení jeskyně, rizika poškození jeskyně a její živé složky). Celkem je vzorkováno 17 ponorů (15 v Moravském krasu), 29 skapů v jeskynních prostorách (24 v Moravském krasu), 14 podzemních toků (9 v Moravském krasu), 11 podzemních jezer (9 v Českém krasu) a 10 vývěrů (9 v Moravském krasu).

2. Legislativa

Legislativní limity pro pitnou vodu jsou dány ve vyhlášce č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou vodu. Podle této vyhlášky jsou stanoveny limity u pH (6,5–9,5), NO₃⁻ (50 mg/l), NO₂⁻ (0,50 mg/l) a NH₄⁺ (0,50 mg/l).

Legislativní limity pro povrchovou vodu jsou dány v nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod. Podle tohoto nařízení jsou stanoveny limity u P_{celk.} (0,15 mg/l).

Legislativní limity pro surovou vodu jsou dány vyhláškou MZE č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů. Podle tohoto zákona jsou stanoveny limity u NEL (0,1 mg/l), CHSK (3–15 mg/l) a BSK (3–15)(Biochemická spotřeba kyslíku (BSK₅) při 20 °C s vyloučením nitrifikace).

3. Výsledky

Vzorkovací kampaň jaro 2021 proběhla v období od 22. března do 22. dubna. Následující tabulky sumarizují problematické parametry. Zeleně jsou označeny hodnoty pod limitem. Žlutě jsou označeny hodnoty blízké se limitu (≥ 90 % z limitu), v případě CHSK a BSK hodnoty nacházející se mezi nejpřísnějším (3 mg/l) a nejmírnějším (15 mg/l) limitem. Červeně jsou označeny hodnoty rovnající se limitu nebo ho překračující. V případě pesticidů jsou oranžově označeny vzorky, u nichž nebyl překročen limit pro sumu pesticidů (0,5 µg/l), ale byl překročen limit pro jednotlivé pesticidní látky (0,1 µg/l). Prázdné buňky v tabulkách značí hodnotu pod mezí detekce.

Moravský kras

Vodní toky, ponory a vývěry: Kvalita vody v Moravském krasu je velmi problematická a má nejhorší kvalitu ze všech lokalit. Největším problémem je suma pesticidů (pouze u 8 vzorků ze 34 není překročen limit pro sumu pesticidů nebo jednotlivé pesticidní látky, dusičnanů, celkový fosfor a amoniak).

Parametr Jednotka Limit	pH 6,0-9,5	NO ₃ ⁻ mg/l 50	NO ₂ ⁻ mg/l 0,5	NH ₄ ⁺ mg/l 0,5	P _{celk.} mg/l 0,15	SO ₄ mg/l 250,0	CHSK mg/l 3,0-15,0	BSK mg/l 3,0-15,0	Pesticidy suma µg/l 0,5
CHKO Moravský kras - vodní toky									
Žďárský ponor	8,6	35,2	0,29	1,23	0,91	47,8	5,51	2	1,286
ponor Sloupského potoka	7,9	9,94	0,03	0,02	0,02	33,1	4,78	1,4	0,206
ponor ČOV u Hřebenáče	7,5	47,8	0,33	0,31	2,5	67,4	9,39	2,2	0,673
ponor Bílé vody	8,2	20,5	0,08	0,21	0,1	37,8	5,51	2	1,002
ponor v Jedlích	8	6,08	0,02			57,8	5,41	1	0,554
ponor Pod Trojičkou	8	70,8		0,02	0,02	32,4	3,95	1	3,728
ponor pod Šošůvkou	8	42,8	0,16	0,03	0,22	50,6	3,98	1,4	0,537
podz. tok Ovčín (Kamenný závrť)	7,9	136	0,02	0,03	0,03	16,2	0,96	0,31	7,711
tok Lekniňové dómy Stará Amatérská	7,6	21,5		0,03	0,03	37,5	1,42	0,71	0,05
Konstantní přítok	7,2	64,7		0,06	0,06	48,2	0,64	0,61	0,564
Suchdolský ponor	9,7	64	0,15	0,04	0,47	40,2	10,5	6,6	3,763
vývěr Punkvy	7,6	26,6		0,05	0,05	35,4	4,47	0,34	0,46
Malý výtok	7,3	48,4		0,05	0,05	40,8	2,59		0,586
podzemní tok ve Štajgrovce	7,1	37,1		0,02	0,02	57,1	0,5		0,105
ponor Lopače	7,9	16,4	0,17	2,38	0,1	57,3	6,66	2,5	0,43
Vilémovické propadání	8,1	89,6	0,12	0,06	0,08	28,4	2,08	0,76	13,992
podzemní tok Kajetánův závrť	7,5	73,7		0,04	0,04	30,5	0,88	0,93	6,896
podzemní tok Harbešská	6,9	73,3		0,03	0,05	35,1	1,66	0,63	0,45
vývěr ve Stovce	7,3	45,3		0,05	0,05	39,4	2,25	0,31	0,556
ponor Svážná studna	7,2	25,8	0,02	0,03	0,03	20,8	1,94	0,46	0,729
podzemní tok Svážná studna	8,1	13,7				17,4	2,19	1,5	0,767
ponor Rudické propadání	8	5,87	0,07	0,06	0,27	74,3	4,72	1,2	1,051
podzemní tok Stará řeka	7,1	66,6		0,03	0,03	35,5	0,67	0,4	0,534
vývěr Býčí skála	7,7	29,1	0,02	0,08	0,08	38,8	0,45	0,36	0,399
ponor Křtinský potok	8,1	10	0,06	0,02	0,08	45,2	6,12	1,5	0,614
Habrůvecký ponor	7,7	17,6	1,21	9,56	1,64	52,4	6,22	2	3,83
Olomučanské vývěry	7,3	21,6		0,02	0,02	28,5	0,87	0,49	0,025
vývěr Křtinský potok	7,3	22,1	0,02	0,11	0,11	39,8	3,27		0,421
Mošův vývěr	7,3	21,5		0,03	0,03	43,5	1,62	0,34	0,059
ponor Hostěnický potok	7,7	26,7	1,07	0,49	0,76	89,7	8,99	7,3	0,439
ponor Říčka	8,2	2,98	0,02	0,03		60,4	4,53	0,72	0,472
podzemní tok Netopýrka	7,2	8,08	0,02	0,03	0,03	60,6	2,66		0,046
vývěr Říčka I	7,4	8		0,05	0,05	61,6	2,96	0,57	0,158
vývěr Říčka II	7,3	11,1	0,03	0,05	0,05	59,2	3,24	0,57	0,278

Parametr Jednotka Limit	pH 6,0-9,5	NO ₃ ⁻ mg/l 50	NO ₂ ⁻ mg/l 0,5	NH ₄ ⁺ mg/l 0,5	P _{celk.} mg/l 0,15	NEL mg/l 0,1	CHSK mg/l 3,0-15,0	BSK mg/l 3,0-15,0	Pesticidy suma µg/l 0,5
CHKO Moravský kras - skapová voda									
Dóm potápečů (Býčí skála)	7,9	12			0,02	35,8	1,18	0,93	0,004
Rozvodí (Býčí skála)	8,2	1,65			0,02	12,4	0,92	1,2	0,005
Daňkův žlíbek	8	15,3			0,07	61,2	0,31	0,69	0,084
Kajetánův závrť	7,8	13,9	0,01		0,04	26,2	0,34	0,64	0,006
Lopač II (Nový Lopač)	7,9	11,2			0,05	92,2	0,4		0,031
Manželský závrť	7,6	2,34			0,03	24,7			0,092
Nezaměstnaných (Holštejská)	8,2					18,9	1,34	0,32	0,004
Skap na Bílé vodě (NAJ)	7,8	6,24			0,02	64,1	0,5	0,73	0,009
Dóm U Homole (NAJ)	8	181			0,03	48,5	1,27	0,63	0,806
Dóm Zemních pyramid (NAJ)	8	133				54	0,44	0,87	0,555
Dóm Ráztoka (NAJ)	7,8	17,4			0,02	81,5	0,6	0,52	0
Absolonův dóm (NAJ)	8	31,4			0,02	35,4	0,37	0,69	0,147
Smuteční vrba (Ochozská j.)	7,9	0,97			0,03	51,1	1,18	1	0,022
Tančící dóm (Ochozská j.)	8,2	16,3		0,02		29,6	3,06	1,2	0,047
Balvanitý dóm (Piková Dáma)	8,3	3,04			0,08	9,24	0,34		0,025
Pustožlebská zazděná	8	14,5				44,5	0,4	0,49	0,009
Rudický dóm (Rudické propadání)	7,5	47,7			0,03	51,8	0,8	0,55	0,072
Stará řeka (Rudické propadání)	7,7	121				58	0,53	0,56	0,04
Kašna (Rudické propadání)	8	7,02				31,6	1,3	0,77	0,006
Kaple (Rudické propadání)	8,1	27,3			0,02	55,1	0,7	0,55	0,007
Dóm Hala (Společňák)	7,1	130				42,6	0,85	0,72	0,665
Dóm Hala (Společňák)	7,1	160		0,02	0,04	35,6	1,11	0,36	0,415
Píšečny dóm (SAJ)	7,9	85,3				61,4			0,13
Chýše (SAJ)	7,8	4,94			0,02	27,9		0,64	0,162
Dóm Objevitelů (SAJ)	8	3,49			0,02	6,63	0,38		0,034
Větrná propast	7,7	16,3			0,03	88,9	1,05	1,4	0,006
Vil. Pr. - Meandry	8	207				180	0,62		0,197
Vil. Pr. - Dóm	8,2	91,4			0,06	61,2	1,35	0,36	0,028
CHKO Broumovsko									
tok Pod Velkým vodopádem	8,1	2,77			0,02	15,4	15,6	0,88	0,025
tok Teplická jesk.	7,6	5,9				26,1	4,44	0,73	0,026
tok Pod Luciferem	6,9	10,6		0,02	0,03	27	12,7	1,6	0,046
CHKO Český ráj									
vývěr Bartošova pec	7	30,4			0,04	25,4	1,39	0,45	0,082
NPP Na Pomezí									
ponor Na Pomezí	8,1	5,43	0,01	0,02	0,02	16,5	1,41	0,93	0,026
NPR Kralický									
podzemní tok Tvarožné díry	8	2,45			0,02	8,08	0,38	0,43	0,008
Sněžník	8,1	3,3			0,02	9,02	1,08	0,48	0
NPR Špraněk									
ponor Nad Zkameněným zámekem	8,4	38,3	0,07	0,04	0,03	47	1,11	0,65	0,653
CHKO Orlické hory									
V Orlickém Záhoří (podzemní jezero)	7,8	5,37			0,02	12,2		1,6	0,007
V Orlickém Záhoří (skapová voda)	7,7	3,45			0,02	14,5	0,41	0,44	0
CHKO Český kras - podzemní jezera a vodní tok									
tok Arnika	7,8	1,6				111	1,92	0,32	0,013
podz. jezero Arnoldka	7,6			0,02	0,02	38,6	1,15	0,88	0,007
podz. jezero Čerinka	7,6	2,66		0,02		40,7	3,22	0,49	0,01
podz. jezero Únorová propast	7,9	25			0,03	112	0,23		0,284
p. j. Meglerova	7,9	7,8			0,04	29,5	1,1	0,34	0,119
p. j. Petzoldova	8,2	10,3			0,02	38,6	0,42	0,44	0,028
p. j. Dynamitka	8,1	31,3			0,05	50,5	0,23	0,34	0,102
pramen Ivan	7,2	48,5		0,02	0,02	105	1,63		0,969
Vývěr nad Klášteřem	7,1	54,1			0,02	104	1,85	0,72	0,986
p. j. Podtraťová	8,2	4,61	0,02	0,04	0,04	44,8	1,44	0,91	0,013
p. j. Tomášková	8,2	1,3			0,03	38,5	1,56	0,35	0,03
p. j. Bonzáková	7,8	2,05		0,02	0,02	68,3	2,5	0,61	0,198
CHKO Český kras - skapová voda									
Arnoldka	7,8	24,8	0,05	0,03	0,04	53,6	2,47	0,77	0,127
Nová propast na Zlatém koni	7,9	9,04		0,04	0,27	323	2,06	0,76	0,015
Terasová jeskyně	7,8	26,27		0,03		0,019	1,51	0,54	3,186

- Pod limitem
- Blízké se limitu (≥ 90% z limitu)
- Překročen limit pro jednotlivé pesticidy
- Překročen limit pro sumu pesticidů (0,5 µg/l)

Největší překročení sumy pesticidů je u vzorku vody Vilémovického propadání (rybník uprostřed obce Vilémovice), kde je téměř 28× překročen limit. Vzorek podzemního toku v Kajetánově závrťu překročuje limit sumy pesticidů téměř 13×. Oba vzorky přitékají ze zemědělské krajiny.

Vzorek „ponor ČOV u Hřebenáče“ je vyústění výstupu z čistíčky odpadních vod ve Sloupu přímo do ponoru (do jeskyně), kde chybí odstraňování fosforu a limit je překročen 16×.

Lze konstatovat, že nejhorší kvalita vod vstupuje do Moravského krasu, prochází jeskyněmi a poté se

objevuje naředěná voda ve vývěrech a opouští krasové území. Doposud nevíme, jak směs znečišťujících látek působí na organismy, které ve vodě žijí.

Skapová voda: Ve skapových vodách jsou největším problémem dusičnany. Vyskytují se ve vzorku Nová Amatérská – Štola U Javora 1 (u Katedrály Jiřího Šlechty) a Nová Amatérská – Štola U Javora 2 (dóm U Homole). Vzorky se nachází nyní pod nově zatravněnou plochou, avšak znečištění je zde stále detekované. U obou vzorků je překročen limit i pro sumu pesticidů. Stejný případ je i u vzorků vody z jeskyně Společňák. Jsou překročeny limity pro dusičnany a jeden vzorek překročil limit pro sumu pesticidů.

Vzorek skapové vody Stará Amátérka (šachta) 1 se nachází na konci Písčitého dómu, který se nachází také pod nově zatravněnou plochou, a proto je překročen limit pro dusičnany.

Vzorky vody z jeskyně Vilémovické propadání obsahují vyšší obsah dusičnanů. Jeskyně se nachází pod obcí, takže s největší pravděpodobností se jedná o antropogenní znečištění.

Český ráj

Vzorek vody z vývěru Bartošova pec nepřekročil žádné limity.

Broumovsko

U všech tří vzorků je problematický parametr chemická spotřeba kyslíku (CHSK). Vzorek z vodního toku Pod Velkým vodopádem byl u parametru CHSK překročen.

Český kras

Kvalita vzorků vody je v Českém krasu relativně dobrá, avšak u některých vzorků vody je překročen limit. U dvou vzorků vody (pramen Ivan a Vývěr nad klášterem) byl překročen limit u sumy pesticidů. U dvou vzorků vody (podz. jezero Únorová propast a podz. Jezero Bonzáková sluj) byl překročen limit pro jednotlivé pesticidní látky. U vzorku podz. jezero Únorová propast byla nalezena pesticidní látka ze skupiny Amidové (Metolachlor ESA) a u vzorku podz. Jezera Bonzáková sluj byla nalezena pesticidní látka ze skupiny Azolové (1, 2, 4-Triazol). U dvou vzorků vody (studna u hradla Tetín a vývěr nad klášterem) byl překročen limit u dusičnanů.

U vzorku skapové vody v Nové propasti na Zlatém koni byl překročen limit u celkového fosforu a síranu. Toto překročení je nečekané, protože se nemůže jednat o antropogenní znečištění, protože se jeskyně nachází v horní části kopce.

Severní Morava

Většina vzorků vod nebyla překročena, jen u vzorku ponor Nad Zkamenělým zámek byla překročena suma pesticidů. Vzorek byl překročen jen o 0,153 µg/l. Ve vzorku je zvýšený výskyt dusíkatých látek. Způsobuje to, že vodní tok Špraňku protéká zemědělskou krajinou, kde se aplikují hnojiva a pesticidy. Ve srovnání se vzorky z Moravského krasu je to ovšem zanedbatelné.

4. Závěr

Pro praktické využití získaných výsledků budou údaje zpracovány do podrobné závěrečné zprávy pro každou CHKO, která bude obsahovat výsledky všech ukazatelů a rozborů z jednotlivých lokalit, srovnání výsledků u jednotlivých lokalit za sledované období, tabulku nejvíce znečišťujících látek a jejich koncentrací u každého odběrného místa, pokud jsou historické údaje z rozborů v dané lokalitě, tak porovnání výsledků naměřených v minulosti, zdroj možného znečištění u jednotlivých lokalit, návrh řešení dané situace, fotodokumentaci jednotlivých odběrových míst včetně zanesení odběrových míst do mapy s určením souřadnic odběrových míst, celkové vyhodnocení jednotlivých odběrových míst a oblastí z hlediska znečištění a tabulka s pořadím nejvíce znečištěných lokalit.

SEZNAM LITERATURY:

- BALDÍK V., BALÁK I., BURIÁNEK D., DOSTALÍK M., FAIMON J., HADACZ R., HORNÁ H., JANDERKOVÁ J., KNOZOVÁ G., KOTYZOVÁ M., KRUMLOVÁ H., KRYŠTOFOVÁ E., KŮRKOVÁ I., KYCL P., LEJŠKA S., MALÍK J., MÜLLER P., NEČAS J., NOVOTNÁ J., NOVOTNÝ R., ROHÁČ J., SEDLÁČEK J., TŮMA A. (2020): Aktuální negativní vlivy/procesy v CHKO Moravský kras. 202 s. MS ČGS Praha.
- BALDÍK V., BALÁK I., BURIÁNEK D., DOSTALÍK M., FAKTOROVÁ K., FAIMON J., HORNÁ H., JANDERKOVÁ J., KNOZOVÁ G., KOTYZOVÁ M., KRUMLOVÁ H., KRYŠTOFOVÁ E., KŮRKOVÁ I., KYCL P., LEJŠKA S., MALÍK J., MÜLLER P., NEČAS J., NOVOTNÁ J., NOVOTNÝ R., ROHÁČ J., SEDLÁČEK J. MGR., TŮMA A. (2019): Aktuální negativní vlivy/procesy v CHKO Moravský kras. 113 s. MS ČGS Praha.
- HALEŠOVÁ T., KOTYZOVÁ M. (2018): Výskyt pesticidních látek ve vybraných lokalitách CHKO Moravský kras s dopadem na skapové vody. Časopis Ochrana přírody. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky 2018, č. 1/2018, ISSN 1210-258X.
- HALEŠOVÁ T., KOTYZOVÁ M. (2021): Zatravnění I. zóny v CHKO Moravský kras. Časopis Ochrana přírody. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky 2021, č. 1/2021, ISSN 1210-258X.
- CHALUPKA F., STANZELOVÁ Z. (2021): Ochrana vybraných jeskyní a krasových jevů. Časopis Veronika. Brno: ZO ČSOP Veronika, 2021, roč. XXXV, č. 3/2021, s. 21-23. ISSN 1213-0699.

Železný kras

Ondřej Merta

Technické muzeum v Brně, Purkyňova 105, 612 00 Brno, e-mail: merta@tmbrno.cz

Abstrakt:

Pojem Moravský kras je obvykle spojován s přírodním bohatstvím, zejména podzemním – speleologickým. Podzemní bohatství poněkud jiného druhu – železné rudy – sem však před více než tisíci lety přilákalo prospektory a hutníky. Ti zde našli ideální podmínky k výrobě železa, a dali tak základ jeho produkci trvající do konce 19. století. Cílem příspěvku je připomenutí železářské výroby tvořící významnou součást historie Moravského krasu.

Klíčová slova: Moravský kras, železářství, středověk, novověk

Střední část Moravského krasu je starým a významným železářským centrem s tradicí sahající snad až do halštatského období, do šestého století před naším letopočtem. Do tohoto období jsou datovány nálezy pocházející z Býčí skály. Mezi mnoha dalšími předměty zde bylo Jindřichem Wanklem v sedmdesátých letech 19. století nalezeno i kovářské nářadí, kovadliny i železné hřivny. Pro toto období, stejně jako následující laténské a římské, však z území krasu doposud neznáme přímé doklady výroby železa.

1. Středověk

Cílem prospektorů pátrajících po železných rudách a následně i hutníků zpracovávajících nalezenou surovinu se krajina střední části Moravského krasu prokazatelně stala až v osmém století (raném středověku). Oblast rozkládající se na katastrech obcí Babice nad Svitavou, Habrůvka, Olomučany a Rudice poskytla v minulosti četné doklady hutnění železné rudy a je v současnosti považována za jedno z nejvýznamnějších středověkých železářských výrobních center na našem území.

Archeologové prozkoumali šestnáct míst, na nichž mezi 8. a 11. stoletím pracovaly dílny zásobující slovanské obyvatelstvo žádaným kovem. Jedná se však bezpochyby o pouhý zlomek, neboť v poslední době se podařilo lokalizovat reliktů dalších dílen a určitý počet byl nepochybně poničen v průběhu intenzivní novověké těžby železných rud a hlinek i rozrůstání vsí. Nejprve nejspíše docházelo k těžbě rud na místech, kde ložiska vycházela na povrch, po jejich vyčerpání pak horníci získávali nezbytnou surovinu pomocí nehlubokých jam. Několik takovýchto těžebních polí středověkého stáří se podařilo v okolí Olomučan identifikovat.

Další nezbytnou surovinou k redukci železných rud je dřevěné uhlí, pálené v nejstarších obdobích v jámách, později v milířích. Dřevěné uhlí zůstalo nepostradatelným palivem pro nejrůznější výrobní procesy až do rozšíření užívání uhlí minerálního, tedy až do druhé poloviny 19. století. V lesích střední části Moravského krasu se nachází velké množství takzvaných milířišť, na nichž byly opakovaně stavěny a páleny milíře.

Vlastní zařízení, za jejichž pomoci získávali staří hutníci žádaný kov, jsou v krajině rozpoznatelná hůře. Železářské kusové pece, v nichž se zde tzv. přímým způsobem získávalo v raném středověku kujné železo, tvořily totiž maximálně 90 cm vysoké konstrukce, volně stojící, ale i částečně či zcela zapuštěné do vhodné zemní lavice. Nadzemní části, jež se do současnosti dochovaly pouze ve zlomcích, zhotovovali hutníci z jílu a pracovní prostory pecí opatřovali žáruvzdornými výmazy. V pecích docházelo během několikahodinového procesu k redukci rudy a vzniku tzv. železné houby. V průběhu tavby musel být do pece neustále ručními měchy dmýchán vzduch a vsazována na vhodnou velikost nadrcená a pražením upravená železná ruda a dřevěné uhlí. Houbu obsahující nečistoty tvořené nespáleným dřevěným uhlím a struskou upravovali staří hutníci ihned po vytažení z nitra pece kováním v kompaktní železný kus nazývaný lupa. Známé nálezy zelených lup z období raného středověku z území Moravy (několik jich bylo nalezeno i na olomučanském katastru) vážily mezi 1–10 kilogramy a vznikaly zpracováním přibližně tří až čtyřnásobného množství rudy. Mimo vlastního železného kusu produkovala pec množství odpadu, železářské strusky. Právě nálezy strusek, lišících se od strusek vysokopecních, produkovaných v podstatně větších množstvích pozdějšími železářskými podniky, jsou nejčastějším a spolu s hliněnými dmýchacími trubicemi (dyzami) typickým dokladem práce raně středověkých hutí a mohou nás na jejich přítomnost upozornit. Důležitým faktorem

výběru místa umístění železářských dílen, patrně důležitějším nežli bezprostřední blízkost výchozů rud, byly zdroje vody, ať již ve formě potůčků, či pramenů. Voda byla nezbytná jak pro stavbu pecí, tak zejména pro život hutníků v lesích Moravského krasu.

Období raně středověkého železářství ve střední části Moravského krasu je možné rozdělit do tří etap, lišících se typy použitých pecí, intenzitou práce i vzhledem vlastních pracovišť, datovaných pomocí nalezené keramiky. Pro dvě starší období, předvelkomoravské a velkomoravské, spadající do 8. a 9. století, je typické plánovitě rozložení hutnických dílen a použití více pecí v tzv. baterii vedle sebe, umožňující poměrně intenzivní produkci. Po rozpadu Velkomoravské říše hutníci na několik desetiletí z lesů Moravského krasu mizí a vrací se až ve druhé polovině 10. století. Jejich hutnické dílny jsou ve srovnání s předcházejícím obdobím početnější, podstatně skromnější a uspokojovaly nejspíše pouze lokální spotřebu. Pro všechny huti je však společná pouze sezónní činnost, neboť zalesněná krajina střední části krasu zůstala až do 13. století neosídlena.

V následujícím období se doklady zpracování železných rud ze zdejší krajiny opět na určitou dobu vytrácejí. Důvodem je nejspíše změna používané technologie, či spíše její intenzifikace umožněná zavedením vodního kola rozšiřujícího se v našem prostředí v období vrcholného středověku. Nový univerzální motor nahrazující v mnoha činnostech sílu lidských a zvířecích svalů využili hutníci k pohonu mýchů a nového zařízení – hamerského kladiva. Více dostupné síly dovolilo zvětšit objem mýchů, jež do pecí hnaly více vzduchu. To dovolilo zvětšit vnitřní objem pece a získat během tavby podstatně větší kus kovu. Vodní kola také poháněla velká kladiva – hamry – jimiž bylo možné rozměrné železné lupy zpracovávat. Toto zařízení dalo tehdejšímu železářskému podnikům název. Slovo železářský hamr neoznačovalo jen vlastní kladivo, ale celý podnik s pecí, stoupami na drcení rudy a dalšími nezbytnými objekty. Hutnické dílny se z bezprostřední blízkosti ložisek rud na zalesněných náhorních plošinách přestěhovaly do blízkosti vhodných vodních toků, v našem případě Punkvy, Křtinského potoka a řeky Svitavy. Břehy vodotečí však disponovaly pouze omezeným počtem vhodných stanovišť umožňujících využít energii tekoucí vody, a tato místa bývala kontinuálně využívána po dlouhou dobu. Je tedy možné, že relikty nejstarších vodou poháněných železářských výrobních objektů mohou být skryty pod novověkými továrními stavbami.

2. Adamov a Josefov

Nejstarším doloženým železářským hamrem je Althamr (pozdější Baráčkův mlýn) v Josefovském údolí, jehož stáří dokládají dvě listiny datované k roku 1506 povolující opravu poškozeného objektu. Vznikl nepochybně nejpozději ve století předcházejícím a důvodem jeho zmiňované obnovy bylo poboření během obléhání blízkého Nového hradu uherským vojskem v letech 1469 a 1470.

Patrně již v šedesátých letech 16. století založili páni z Boskovic další hamr (tzv. „Nový hamr“) na řece Svitavě v místech dnešního Adamova, nazývaného původně Hamry. V roce 1632 pak zde již pracovala vysoká pec. Tato technická novinka se v českých zemích objevila na přelomu 16. a 17. století a znamenala zavedení nové technologie při produkci železa.

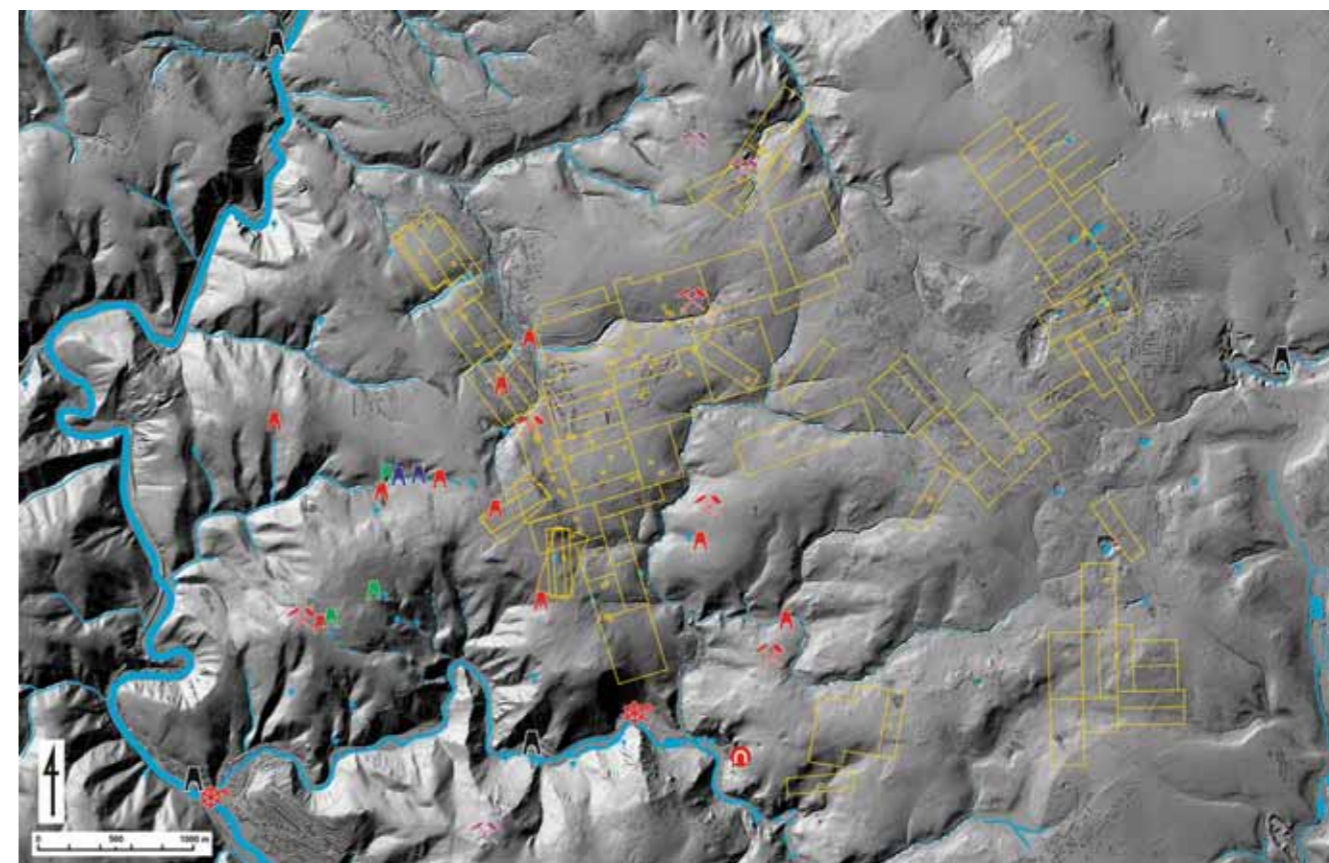
Roku 1637 získal panství i se železárnami do majetku významný rod Lichtenštejnů, s nímž zůstal adamovský podnik spjat až do roku 1905. Od roku 1680 zde pracovaly dvě vysoké pece a také dvojice zkujňovacích výhni. Zvýšená potřeba litiny vedla k reorganizaci hutní výroby a nejspíše roku 1746 došlo k přesunutí vysokopeční výroby do Josefského údolí (nynější Stará huť u Adamova). V osmdesátých letech 18. století vyráběl adamovský lichtenštejnský podnik 7,5 % moravské produkce železa. Produkce železa byla stále rozdělena do dvou lokalit. V Josefově se nacházela vlastní huť s vysokou pecí, nazývaná též Františčinou hutí a v Adamově zkujňovací výhň, nářaďový hamr a další pomocné provozy. V letech 1846 a 1847 došlo k radikální přestavbě vysoké pece umožňující zhotovovat větší odlitky a předehtřívat dmýchaný vzduch. Stavba železnice vedené od roku 1849 nedalekým údolím řeky Svitavy sice příznivě ovlivnila další rozvoj výroby, podnik však měl stále větší potíže s opatřováním dřevěného uhlí nezbytného k výrobě, takže ceny vyrobeného železa narůstaly, zatímco některé konkurenční podniky, jež začaly využívat k produkci železa kamenného uhlí, mohly prodávat levněji. To společně se snížením cen dopravy na železnici a propuknutím všeobecné hospodářské krize vedlo k tomu, že na jaře 1872 již nebyla josefovská vysoká pec uvedena do provozu a o pět let později rozhodl majitel o jejím zrušení.

Díky zvětšujícímu se důrazu na produkci litinových součástí nejrůznějších strojů a zařízení se však mohl adamovský podnik zcela přeorientovat na strojírenskou výrobu a zajistit tak svoji další existenci, od roku 1880 však již v režii soukromých firem.

Z opuštěných objektů huti v Josefovském údolí se do dnešních dnů se dochovala pouze část původních budov, ale i tak bylo roku 1971 rozhodnuto vyhlásit zde technickou památkovou rezervaci, první a jedinou

v tehdejší Československu (v současné době je Stará huť u Adamova souborem národních kulturních památek a kulturních památek umístěných v památkové rezervaci) s železářskou expozicí Technického muzea v Brně.

Areál Staré huti u Adamova také již více než dvacet let slouží jako místo experimentálních a ukázkových taveb v rekonstrukcích raně středověkých kusových železářských pecí a dalších tradičních řemesel, realizovaných Technickým muzeem v Brně.



Obr. 1. Lidarový snímek krajiny ohraničený řekou Svitavou (západ), Křtinským potokem (jih), Baráčkým potokem (sever) a Hugovou hutí u Jedovnic (východ). Černé pece značí lokality s vysokými pecemi (hutě v údolí Punkvy jsou mimo výřez), červené pece zkoumané doklady železářství z 10.-11. století (lokalita u Babické hájovny je na jih mimo výřez), zelené z 9. a modré z 8. století. Značka kombinující vodní kolo a kladivo označuje stanoviště hamrů, červená kladívka předpokládají raně středověké dolování Fe rud, fialové raně novověké, žluté důlní míry a jámy využívané v 19. století. Dále je vyznačena poloha Býčí skály, vodoteče a prameny. Podklad: VÚKOZ, grant TAČR TL02000160 „Úloha milířišť z hlediska kulturního dědictví a ochrany krajiny“.

3. Blansko

Pravděpodobně více nežli středověká a adamovsko-josefovská část železářské historie Moravského krasu je známá železářská tradice blanenská, spojená zejména s hrabaty ze Salmu a uměleckou litinou. Počátky železářské výroby na původně biskupském blanenském panství jsou svázány s činností hrabat Gellhornů, kteří získali panství roku 1694. Ti založili v údolí říčky Punkvy roku 1702 hamr a huť, k nimž přibyl záhy další hamr. Rozvoj železářské výroby a podnikání je svázán s novými majiteli panství, starohraběcí rodinou Salmů (od roku 1766). Ti získali kromě horního a dolního hamru na říčce Punkvě i hamr v Doubravici a vystavěli huť v Jedovnici (Hugova huť na Jedovnickém potoce nad Rudickým propadáním). Asi nejvýznamnější člen rodu Hugo František Salm se zajímal o přírodní vědy a byl v osobním kontaktu s mnoha významnými osobnostmi vědy a průmyslu, s nimiž se setkal při svých studijních cestách po Evropě. Svých znalostí využil i pro rozvoj železářské výroby na blanenském (rájeckém) panství. Blanenské železářny se orientovaly především na výrobu litiny. Rozmach výroby spojený s budováním nových podniků nastal ve dvacátých letech devatenáctého století, kdy byly železářny největším producentem litiny na Moravě. Roku

1850 bylo vyrobeno plných 46,5% moravské produkce. Uznání získaly výrobky salmovských železáren zejména na výstavě ve Vídni roku 1835, a to jak umělecké, tak komerční odlitky a nově odlitky strojní. Majitel hutí, starohrabě Salm získal exkluzivní císařské privilegium k výrobě litých vodních trub velkých průměrů. Znamenité pověsti se těšily umělecké litinové odlitky kopií antických soch, sloupů a kašen. Byla založena řada hutních podniků vybavených vysokými dřevouhelnými pecemi. Vystaveny byly: Mariánská huť v údolí Punkvy, Posoldina huť ve Vranové Lhotě a přestavěna Hugova huť u Jedovnice. Ve slévárnách byly zbudovány kuplovný pro tzv. druhé tavení a při vysokých pecích pracovala celá řada zkujňovacích výhni (Robertova huť, huť Paulínka, Kněžnina a Karlova huť, celkem 14 výhni s 10 hamerskými kladivý). V roce 1847 byly železářny rozšířeny o další, Starohraběcí, huť v údolí Punkvy a naposled byla v údolí řeky Svitavy vystavěna roku 1855 Klamova huť. Chloubou železáren byl v šedesátých letech strojírenský závod, vyrábějící všechny druhy strojů pro hornické a hutnické provozy, cukrovary a výrobní oleje, pro mlýny a pily. Ve druhé polovině 19. století patřily blanenské železářny k nejvýznamnějším podnikům monarchie.

S měnícími se ekonomickými podmínkami konce století se však železářny nedokázaly vyrovnat. S blížícím se závěrem 19. století byla omezována hutní výroba, která nebyla schopná odolat konkurenci nově vznikajících hutí, situovaných v blízkosti uhelných dolů a při železnici. Vyhašením vysoké pece v Mariánské huti roku 1896 končí železářská etapa, kterou nahrazuje etapa strojírenská a slévárenská vedoucí k mohutným vodním turbínám vyráběným firmou ČKD. Té se však již věnovat nebudeme.

SEZNAM LITERATURY:

- KREPS, M. 1978: Dějiny blanenských železáren a strojíren 1. a 2. díl, Brno.
 SOUCHOPOVÁ, V. 1995: Počátky západoslovanského hutnictví železa ve světle pramenů z Moravy. Studie Archeologického ústavu Akademie věd ČR v Brně XV/1. Brno.
 SOUCHOPOVÁ, V. – STRÁNSKÝ, K. 2008: Tajemství dávného železa. Archeometalurgie objektivem mikroskopu. Brno.
 SOUCHOPOVÁ, V. – MERTA, J. – TRUHLÁŘ, J. – BALÁK, I. – ŠTEFKA, L. 2002: Cesta železa Moravským krasem. Blansko.

Voda v krasových oblastech. Antropogenní rizika a nové vymezení infiltračních zázemí

Roman Novotný¹, Jitka Novotná¹, Eva Kryštofová¹, Vít Baldík, Jana Janderková¹, Pavel Müller¹, Jan Sedláček¹, Jiří Faimon¹, Jiří Rez¹

¹ Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno, roman.novotny@geology.cz

Abstrakt:

V rámci projektu SS02030023 Horninové prostředí a nerostné suroviny „RENS“ – Podzemní vody v krasovém systému řeší Česká geologická služba dopady antropogenní činnosti a klimatické změny na krasové hydrogeologické struktury v systému krasových území a jejich infiltračních oblastí.

Klíčová slova: Kras, voda, kontaminace, geochemie, pedologie, hydrogeologie

Projekt SS02030023 Horninové prostředí a nerostné suroviny „RENS“ - Podzemní vody v krasovém systému je zaměřen převážně na stanovení dopadů antropogenní činnosti a klimatické změny na krasové hydrogeologické struktury v systému krasových území a také jejich infiltračních oblastí. Projekt řeší tuto problematiku v rámci čtyř vybraných krasových oblastí ČR (Moravský kras, Hranický kras, Javoříčsko-Mladečský kras a Chýnovský kras) a dále definuje rozsah infiltračního zázemí a rizikových faktorů pro kvalitu a množství podzemní vody jak v oblasti krasu, tak i v infiltrační oblasti.



Obr.1. a) odběr vzorku z kopané půdní sondy; b) vrtání mělkého vrtu pro vzorkování půdního vzduchu na Harbešské plošině. V pozadí příprava RERT profilu.

Pro výše uvedená krasová území byly definovány hypotézy dotace podzemních vod jako přímé a nepřímé dotační zázemí. Pro Moravský a Chýnovský kras bylo definováno přímé dotační zázemí. Za přímé dotační zázemí jsou považovány horninové komplexy těsně sousedící s vlastním krasovým kolektorem. Srážková voda infiltrovaná na ploše přímého dotačního zázemí přestupuje přes geologickou hranici ve formě skrytých přítoků podzemní vody. Podzemní přítoky mohou být soustředěné a projevit se jako podzemní vývěry v jeskynních systémech, nebo rozptýlené přímo do vlastního krasového kolektoru. Z hlediska charakteru dotující hydrogeologické struktury jde o hydrogeologický masív. Pro Moravský kras jde především o horniny kulmu, pro chýnovský kras jde o horniny moldanubika.

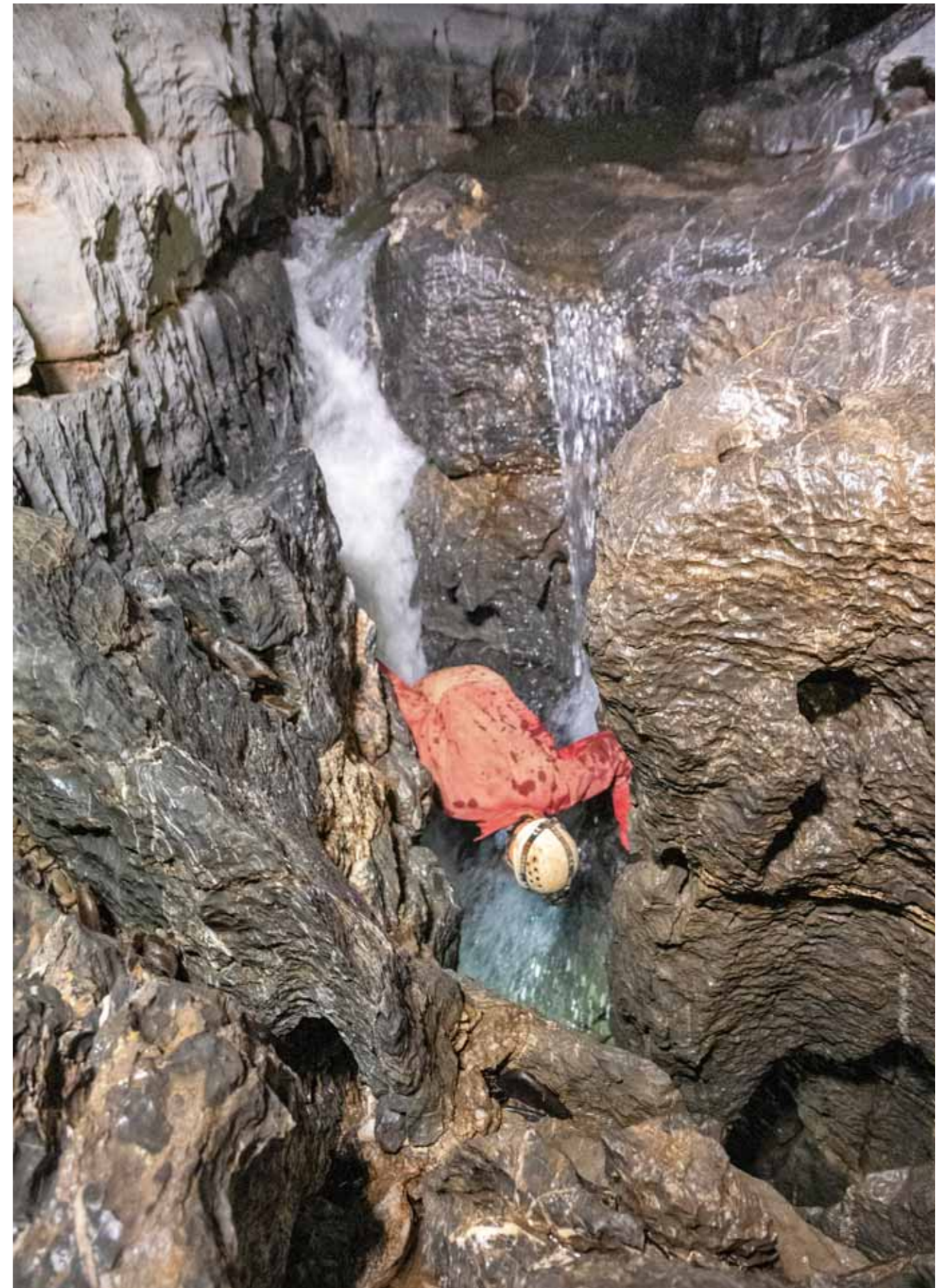
Pro Mladečský a Javoříčský kras a pro Hranický kras bylo definováno nepřímé dotační zázemí. Za nepřímé (vzdálené) dotační zázemí jsou považovány infiltrační oblasti dalších hydrogeologických struktur, nejčastěji hydrogeologických pánví, jejichž prostřednictvím dochází k dotaci vody do krasových zvodněných systémů. Voda infiltrovaná na těchto dotačních zázemích je drénována klastickou výplní hydrogeologické pánve, kterou poté dále proudí a za vhodných podmínek přestupuje do kolektoru vázaného na krasové vápence.

Z hlediska charakteru dotující hydrogeologické struktury jde o hydrogeologickou pánev nebo složitý systém několika navazujících pánví. Pro Hranický kras byla vyslovena hypotéza dotace vody z oblasti Oderské kotliny přes klastika Moravské brány, pro Mladečský a Javoříčský kras probíhá dotace z hluboce uložených sedimentů Mohelnické brázdy.

V rámci dílčích cílů tohoto projektu probíhají další intenzivní práce. Dílčí výsledky některých dílčích cílů jsou prezentovány v ostatních příspěvcích v tomto sborníku (např. *Kryštofová et al. Původ vody ve vybraných krasových oblastech* nebo *Rez et al. Role tektoniky při tvorbě jeskyní a migraci vody*). Další práce zahrnují geochemické a pedologické zpracování krasových území za účelem uchopení všech hlavních aspektů komplexního systému vody v krasových územích a zejména pak antropogenní vlivy (převážně znečištění) na celý systém. V oblastech Moravského, Javoříčského, Mladečského, Hranického a Chýnovského krasu byly na lokalitách, s potenciální komunikací s podzemními krasovými komplexy, odebrány vzorky půd pro následné analýzy (PAH, OCP, PCB, rizikové kovy, pesticidy a produkty jejich rozkladu, hnojiva atd.; obr. 1a). Cílem těchto odběrů a výzkumných prací je provést odhad potenciálních rizik kontaminace krasových vod. V rámci těchto prací probíhá také průzkum paleokrasového povrchu a tvorba půdního CO₂ a jeho infiltrace do podzemních prostor. Za tímto účelem jsou měřeny podrobné odporové profily (ERT) a vrtány mělké vrty, ve kterých je měřena koncentrace CO₂ (obr.1b).

poznámky:

poznámky:



Vodopád za vyšších vodních stavů v Bludišti Milana Šlechty, Nová Amatérská jeskyně

SBORNÍK REFERÁTŮ 1. ROČNÍKU KONFERENCE KRAS, JESKYNE A LIDÉ

Editor: Vít Baldík

Ediční rada: Vít Baldík, Jiří Rez, Jiří Nečas, Roman Hadacz, Jiří Otava, Eva Kryštofová,
Roman Novotný, Jitka Novotná

Koncepce obálky: Petr Zajíček, návrh obálky: Jiří Rez

Foto na obálce: Roman Hadacz

Grafická úprava a DTP příprava: Milan Hladký-Stein

Vydala: Správa jeskyní České republiky, Květnové náměstí 3, 252 43 Průhonice
v edici ACTA SPELEOLOGICA,
svazek 11/2022.

1. vydání – Průhonice, prosinec 2022

Tisk: Česká geologická služba, Klárov 3,
118 21 Praha 1,
IČO: 00025798

ISBN: 978-80-87309-52-0

ISSN: 1804-3313