

CHEMIZMUS PODZEMNÝCH VÔD VYBRANÝCH JASKÝŇ DEMÄNOVSKEJ DOLINY – PREDBEŽNÉ VÝSLEDKY

Dagmar Haviarová¹ – Mariusz Czop² – Michał Gradziński³ – Jacek Motyka²

¹ Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; haviarova@ssj.sk

² Faculty of Mining and Geoengineering, AGH University of Science and Technology, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland; motyka@uci.agh.edu.pl

³ Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, Oleandry 2a, 30-063 Kraków, Poland; gradzinm@ing.uj.edu.pl

D. Haviarová, M. Czop, M. Gradziński & J. Motyka: Chemistry of underground waters of selected caves in the Demänová Valley – preliminary results

Abstract: The caves represent significant places for the research of groundwater chemical composition in the vadose zone. This article presents the research task that was carried out in the Demänová Cave System. The general goal is to characterize the chemical composition of water in this cave system. During the time period of the year 2005 water samples were collected from 39 varied sampling places. They comprised dripping water, pool water and stream water. The preliminary results are from 75 chemical analyses.

Key words: cave, water chemistry, groundwater, Demänovka Stream, Demänová Cave System

ÚVOD

Jaskyne predstavujú unikátne miesta pre výskum podzemných vôd nachádzajúcich sa vo vadóznej zóne krasových masívov. Výsledky takýchto výskumných prác prinášajú cenné poznatky a informácie, ktoré sú dôležité pri riešení rôznorodých problémov z oblasti geológie a hydrochémie krasu, ako aj celkovej ochrany krasového prostredia.

Záujem o výskum chemizmu jaskynných vôd výrazne stúpol v poslednej dekáde 20. storočia. Predchádzajúce výskumy boli skôr sporadické. Zamerali sa predovšetkým na sledovanie rýchlosti presakovania zrážkových vôd cez vadóznu zónu, metamorfózu ich chemického zloženia v závislosti od procesov rozpúšťania skalného podložja a tvorby sintrových nátekov (Mayer, 1999; Vokal et al., 1999; Fairchild et al., 2000; Motyka et al., 2000; Tooth – Fairchild, 2003; Musgrove – Banner, 2004). Ďalšie výskumy sa sústredili na identifikáciu vplyvu rôznorodých zdrojov znečistenia na kvalitu podzemných vôd vadóznej zóny (Kogovšek, 1987; Bolner – Tardy 1989; Motyka et al., 1999, 2002, 2005b; Goc et al., 2000; Neill et al., 2004).

Napriek tomu, že jaskyne na Slovensku predstavujú dokonalý objekt pre výskum chemizmu podzemných vôd, s komplexnejšími výskumami tohto typu sa tu začalo len nedávno (Tereková, 1987; Peško, 2000; Peško, 2001; Haviarová – Peško, 2004; Motyka et al., 2005a a iní). Príspevok prezentuje vznik a prvotné výsledky širšej výskumnej úlohy, ktorej cieľom je komplexná hydrochemická charakteristika krasových vôd Demänovského jaskynného systému. Úloha svojím zameraním nadväzuje na niektoré staršie práce zrealizované v území Demänovskej doliny, ktoré sa venovali problematike chemizmu krasových vôd (Tereková, 1983, 1993; Droppa – Klaučo, 1985, 1986).

ZÁKLADNÁ CHARAKTERISTIKA LOKALITY

Demänovský jaskynný systém sa nachádza vo východných svahoch Demänovskej doliny ležiacej na severnej strane Nízkych Tatier. V súčasnosti ide o najdlhší a najrozsiahlejší jaskynný systém na Slovensku. Pozostáva z deviatich speleologicky prepojených jaskýň (Pustá jaskyňa, Demänovská jaskyňa slobody, Jaskyňa trosiek, Údolná jaskyňa, Jaskyňa pod útesom, Vyvieranie, Demänovská jaskyňa mieru, Pavúčia jaskyňa a Demänovská ľadová jaskyňa). Celková dĺžka Demänovského jaskynného systému dosahuje v súčasnosti 35 044 m (k 31. 12. 2005). Geneticky s ním súvisia aj ďalšie jaskyne, napr. Beníková, Okno, Suchá jaskyňa a iné. Jaskynný systém je vytvorený je v strednotriasových gutensteinských vápencoch a dolomitoch (anis) krížňanského príkrovu, ktorý tektonicky leží na horninách tatrika. Tatrikum pozostáva z kryštallického jadra (granitoidné horniny) a obalu (kremence, pieskovce, bridlice). Nadložie granitoidných hornín vo veľkej miere tvoria kvartérne, prevažne glaciofluviálne sedimenty. Územie nad jaskynným systémom je z väčšej časti pokryté ihličnatým lesom, miestami sa vyskytujú aj holé skalné bralá. Celá oblasť je súčasťou Národného parku Nízke Tatry.

Podľa M. Lapina et al. (2002) územie spadá do chladnej klimatickej oblasti, ktorá sa tu vyskytuje vo všetkých troch okrskoch – C1 (mierne chladnom), C2 (chladnom horskom) a C3 (studenom horskom). Oblasť je charakterizovaná ako veľmi vlhká, s júlovými priemernými teplotami vzduchu pod 16 °C. Teplota

vzduchu je nepriamo úmerná nadmorskej výške. Kým priemerná ročná teplota vzduchu za obdobie rokov 1931 – 1960 zo stanice Liptovský Mikuláš (570 m n. m.) bola 6,9 °C, za rovnaké obdobie predstavovala jej hodnota v stanici Chopok (2008 m n. m.) len -1,1 °C (Tereková, 1983). Nadmorská výška ovplyvňuje aj množstvo spadnutých zrážok v predmetnom území. Dlhodobý priemerný ročný zrážkový úhrn za obdobie rokov 1951 – 1980 v zrážkomerných staniaciach ležiacich v povodí Demänovky predstavoval 1139 mm (stanica Chopok), 1158 mm (stanica Luková) a 1327 mm (stanica Jasná). Najvyššie dlhodobé priemerné úhrny zrážok počas roka pripadajú na letné mesiace (jún – júl), najnižšie úhrny sú v rámci zimného polroka (Burgerová, 2002).

Mocnosť nadložia nad jaskynnými chodbami a ďalšími podzemnými priestormi kolíše od niekoľko metrov do 200 m, miestami aj viac. V jaskynnom systéme je vyčlenených 9 jaskynných úrovní (Droppa, 1972). Aktívny tok preteká len najnižšou úrovňou systému. Ide o podzemný fragment Demänovky (alochtonný tok), ktorá sa spolu so svojimi prítokmi podieľala na vzniku jaskynného systému. V ostatných častiach systému vystupuje voda prevažne len vo forme priesakov rôznej intenzity (miestami sa vyskytuje forma veľmi intenzívneho priesaku tzv. „podzemného dažďa“), prípadne ako súčasť jazierok rôznych veľkostí a typov. Časť Demänovského jaskynného systému – 650 m v Demänovskej ľadovej jaskyni a 1800 m v Demänovskej jaskyni slobody – je sprístupnená pre verejnosť.

VÝBER ODBERNÝCH MIEST

V rámci prvotnej etapy realizovaného výskumu sa vykonala selekcia miest vhodných na odber jednotlivých vzoriek vôd. Odborné miesta sme nakoniec sústredili do 6 jaskýň: Demänovskej jaskyne slobody, Demänovskej ľadovej jaskyne, Demänovskej jaskyne mieru, jaskyne Beníková, jaskyne Okno a Suchej jaskyne (tab. 1). V jaskyniach sa odoberali všetky typy podzemných vôd: priesakové vody (20 odborných miest), vody jazierok (14 odborných miest), vody podzemných tokov (2 odborné miesta) a voda kondenzačná (1 odborné miesto). Z početných jazierok nachádzajúcich sa v jaskyniach sa výber robil tak, aby boli do odberov zahrnuté jazierka rôznych typov, t. j. napr. jazierka, ktoré sa nachádzajú v hlinených sedimentoch vyplňujúcich jaskynné dno (napr. nevelké bezmenné jazierko v Mramorovom riečisku Demänovskej jaskyne slobody), ako aj tie, ktoré sa nachádzajú medzi sintrovými nátekmi (napr. Snehové jazierka v Demänovskej jaskyni mieru – obr. 1), prípadne v bezprostrednom kontakte so skalným dnom jaskyne (napr. Veľké jazero v Demänovskej jaskyni slobody). Pri výbere odborných miest priesakových vôd sa bralo do úvahy, či voda dopadá na aktívne rastúci stalagmit alebo nie. Tiež sa posudzovala intenzita priesaku, pričom sa vyberali miesta s vysoko intenzívnym priesakom (obr. 2), ako aj zóny s priesakom len veľmi pozvoľným.

Všetky odborné miesta sa zároveň vyberali tak, aby ich rozmiestnenie korešpondovalo s rozličnými hĺbkami pod povrchom terénu, vďaka čomu boli zachytené rozdielne migračné cesty jednotlivých priesakových vôd. S cieľom zistenia eventuálneho vplyvu turistov v rámci sprístupnených častí jaskýň na chemizmus podzemných vôd sme vybrali aj niektoré odborné miesta v bezprostrednej blízkosti turistickej trasy. Odbery podzemných vôd boli nakoniec doplnené aj o vzorky povrchovej Demänovky pred vstupom a na výstupe z podzemného systému.

Tab. 1. Rozmiestnenie odborných miest a charakter vzoriek v jednotlivých jaskyniach (tabuľkový prehľad)
Table 1. Position of sampling places and types of water samples in studied caves (tabular overview)

Názov jaskyne / Name of cave	Počet odborných miest / The amount of collection places				
	Podzemný tok (Underground stream)	Priesak (Dripping water)	Jazierko (Lake)	Kondenzačná voda (Condensation water)	Spolu (Total)
Demänovská jaskyňa slobody (Demänová Cave of Liberty)	2	7	7		16
Demänovská ľadová jaskyňa (Demänová Ice Cave)		4	1	1	6
Demänovská jaskyňa mieru (Demänová Cave of Peace)		2	2		4
Beníková (Beníková Cave)		4	1		5
Okno (Window Cave)		2	1		3
Suchá jaskyňa (Dry Cave)		2	1		3
Spolu (Total)	2	21	13	1	37



Obr. 1. Snehové jazierko v Demänovskej jaskyni mieru.
Foto: D. Haviarová
Fig. 1. Snow lake in the Demänová Cave of Peace.
Photo: D. Haviarová



Obr. 2. Priesaková voda – Večný dážď v Hlbokom dome,
Demänovská jaskyňa slobody. Foto: R. Jach
Fig. 2. Dripping water – „Permanent rain“ in the Deep
Dome, Demänová Cave of Liberty. Photo: R. Jach



Obr. 3. Mapa Demänovského jaskynného systému podľa A. Droppu (1957) s lokalizáciou odberných miest:
1 – priesaková voda, 2 – voda z jazierok, 3 – kondenzačná voda, 4 – vodný tok
Fig. 3. The Demänová Cave System according to A. Droppa (1957) with localization of the sampling places:
1 – dripping water, 2 – lake water, 3 – condensation water, 4 – stream water

METODIKA

Vzorky vody z jednotlivých stanovišť sme odobrali do jednorazových polyetylénových nádobiek a následne sa doručili do príslušného chemického laboratória. Celkovo sa z každého stanovišťa odobrali tri vzorky vody, pričom jedna z nich bola stabilizovaná kyselinou dusičnou (HNO_3). Priamo v teréne sa pri každej vzorke merala merná elektrická vodivosť vody (EC), jej teplota a pH s použitím štandardných prístrojov určených na meranie uvedených parametrov vody. V teréne sa zároveň vykonali merania celkovej alkality vody titračnou metódou, použitím 0,05 molárnej kyseliny chlorovodíkovej (HCl). Z takto získanej hodnoty celkovej alkality sa následne prepočítalo množstvo hydrogénuhličitanových iónov (HCO_3^-) vo vzorke.

V chemickom laboratóriu boli analyzované množstvá ďalších základných iónov, ako aj niektorých stopových prvkov. Obsah chloridových iónov (Cl^-) sa stanovil Mohrovou metódou (argentometrické stanovenie chrómanovým indikátorom), použitím 0,01 molárneho roztoku dusičnanu strieborného (AgNO_3). Dusičnany (NO_3^-) sa stanovili fotometricky vždy na druhý deň po odbere v chemickom laboratóriu Severoslovenskej vodárenskej spoločnosti v Liptovskom Mikuláši. Obsahy ostatných prvkov sa analyzovali v laboratóriu Hydrogeológie a ochrany vôd Ústavu geológie, geofyziky a ochrany prostredia Akadémie baníctva a hutníctva v Krakove.

Stanovenie vápnika (Ca), horčíka (Mg), sodíka (Na), draslíka (K), stroncia (Sr), železa (Fe), bária (Ba), SiO₂, ako aj celkovej síry (S), ktorej obsah sa prepočítal na množstvo síranov (SO₄⁻), sa vykonalo metódou ICP-AES (emisná atómová spektrometria s indukčne viazanou plazmou) prístrojom PLASMA-40 firmy Perkin-Elmer. Obsahy zvyšných mikroelementov: Al, Mn, Zn, Cu, Li, Pb, Ni, Co, As, Be, V, Hg, Tl, Se, Mo, Sb, Ag, Cd, Br, I, P, Y, Bi, Ga, Te, Sn, W, Zr, Rb, U, Cr a v niektorých prípadoch aj Ti, sa analyzovali metódou ICP-MS (hmotnostná spektrometria s indukčne viazanou plazmou) prístrojom firmy Perkin-Elmer.

PREDBEŽNÉ VÝSLEDKY

Charakteristika chemického zloženia vôd pochádzajúcich z Demänovského jaskynného systému, ako aj vôd odobraných v jeho bezprostrednom okolí, je založená na interpretácii originálnych výsledkov výskumu vychádzajúcich z dvoch sérií odberov, zrealizovaných v apríli a júni 2005. Vzorky odobrané v septembri toho istého roku sa zatiaľ neanalyzovali. Predbežné výsledky vychádzajú z výsledkov chemizmu 75 odobraných vzoriek z 39 samostatných stanovišť. Zatiaľ analyzované vzorky sa z jednotlivých vytypovaných miest odobrali 2-krát, len z troch sa odber vykonal jednorazovo (D16 – Mojžišov prameň, D28 – priesaková voda vo Vstupnej chodbe jaskyne Beníková a vzorka vody z povrchovej Demänovky – označená symbolom D39). Najlepšiu reprezentatívnu skupinu tvorili priesakové vody (39 analýz), následne vody z jazierok (28 analýz). Odobrali sa aj dve vzorky kondenzačnej vody a tri vzorky z podzemného toku (1 analýza z Mojžišovho prameňa a dve analýzy z podzemnej Demänovky), ako aj vody z Vyvierania (podzemný výver Demänovky na povrch – 2 analýzy) a povrchového toku Demänovky nad jaskynným systémom (1 analýza).

Všetky analýzy, zapísané v programe Excel, zostali uložené v databáze, pripravené pre použitie programu AquaChem, firmy Waterloo Hydrogeologic. Jeho aplikácia hodnotí zo stránky hydrochemickej zložky z interaktívnej databázy modernými nástrojmi grafickej a štatistickej interpretácie. Poskytuje aj dodatočnú možnosť spolupráce s programom Phreeqc, slúžiacim napr. na prepočty chemických rovnováh vodných roztokov, ako aj pokročilého modelovania v hydrochémií.

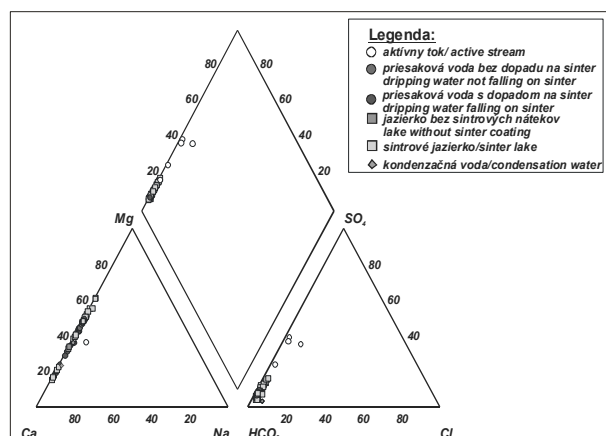
Hlavná črta charakteristická pre sledované vody je dominancia vápenatých kationov (Ca²⁺) a hydrogénuhličitanového aniónu (HCO₃⁻). Z ďalších hlavných iónov vo väčšom množstve vystupuje už len horčík (Mg²⁺) (obr. 4).

Vzhľadom na vyššie uvedené okolnosti najčastejšie vystupujúcim typom chemizmu vôd je Ca-Mg-HCO₃ typ (43 analýz) alebo Mg-Ca-HCO₃ (16 analýz) a Ca-HCO₃ (10 analýz) typ. V šiestich chemických analýzach boli zvýšené obsahy síranov (SO₄²⁻) a v jednom prípade obsahy dusičnanov (NO₃⁻), na základe čoho sa uvedené ióny v rámci typu hydrochemizmu vôd v uvedených prípadoch objavili na druhom mieste, hneď za hydrogénuhličitanovými aniónmi.

Pri analýze chemizmu skúmaných vzoriek sa nepotvrdila výraznejšia korelácia medzi obsahmi dusičnanov a fosforu vo vode.

Celková mineralizácia vzoriek sa pohybovala v pomerne širokých hraniciach od 38,2 do 432,8 mg/l, pričom najnižšie hodnoty celkovej mineralizácie – nižšie ako 200 mg/l – boli prepojené s vodami pochádzajúcimi z Vyvierania a toku Demänovky. V zvyšnej skupine vzoriek sa celková mineralizácia pohybovala v hodnotách od 206,8 do 432,8 mg/l. Spomedzi jednotlivých typov vôd najnižšia priemerná mineralizácia bola spojená so stagnujúcou vodou v jazierkach. Len o niečo vyššia priemerná hodnota 281,2 mg/l bola pri vzorkách priesakovej vody s vyššou intenzitou priesaku, naopak výrazne vyššia priemerná hodnota, na úrovni 313,1 mg/l, bola pri priesakových vodách s nižšou intenzitou priesaku. Vzorky kondenzačnej vody charakterizovali nižšie hodnoty mineralizácie, ktoré zodpovedali z dvoch analýz hodnotám 213,7 a 256,0 mg/l (priemerná hodnota 234,8 mg/l). Zistila sa výrazná korelácia medzi celkovou mineralizáciou a koncentráciou HCO₃⁻.

Väčšina skúmaných vzoriek bola presýtená voči kalcitu, dolomitu a aragonitu, značná časť zvyšných vzoriek bola v rovnováhe s týmito minerálmi. Len málo vzoriek, hlavne tie, ktoré pochádzajú z toku Demänovky, bolo voči nim agresívnych.



Obr. 4. Piperov diagram charakterizujúci základný chemizmus odobratých vzoriek vôd

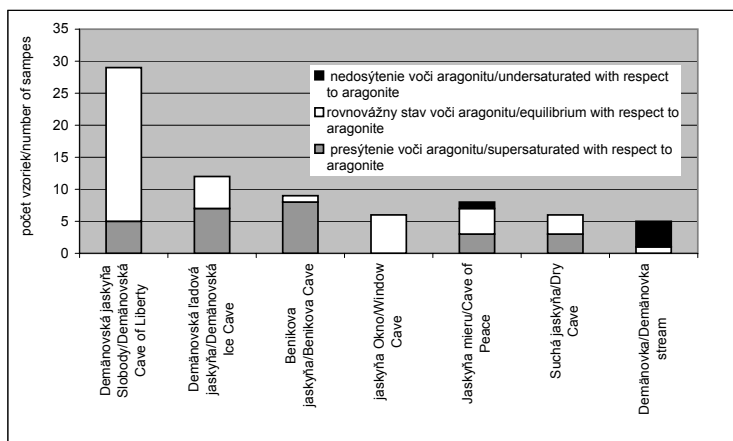
Fig. 4. Piper's diagram describing the basic chemical composition of collected samples

Vo výsledkoch chemických analýz z obidvoch sérií odberov sa zaznamenali určité rozdiely v obsahoch niektorých stanovených mikroelementov pre jednotlivé stanovišťa. V časti vzoriek boli výrazne vyššie koncentrácie stroncia, hlavne zo vzoriek z Demänovskej ľadovej jaskyne a Demänovskej jaskyne mieru. Najvyššia nameraná hodnota 1,427 mg/l bola zistená v priesakovej vode Demänovskej jaskyne mieru. Zaznamenala sa tiež zvýšená koncentrácia stroncia, vyjadrená molárnym pomerom mSr/mCa , vo vzorkách z povrchového aj podzemného toku Demänovky, čo potvrdzuje predošlé zistenia Motyku et al. (2005) o vplyve nekrasových kryštalických hornín budujúcich tatrikum Nízkych Tatier na chemizmus vôd v jaskynnom systéme.

Zistila sa takisto zvýšená koncentrácia uránu v niektorých vzorkách odobraných v strednej časti Demänovskej jaskyne slobody, dosahujúca maximálne 0,006 mg/l. Vyššie koncentrácie boli potvrdené v obidvoch sériách zrealizovaných odberov. Charakteristické boli nevýrazné korelácie medzi množstvom U od takých iónov, ako sú SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- a P (obr. 6). Naproti tomu sa zaznamenala priestorová závislosť rozmiestnenia odberných miest, v ktorých boli potvrdené zvýšené obsahy U, s pásmami vyznačujúcimi sa vyššou prirodzenou rádioaktivitou horninového prostredia potvrdeného v častiach Demänovskej jaskyne slobody (Zimák et al., 2001).

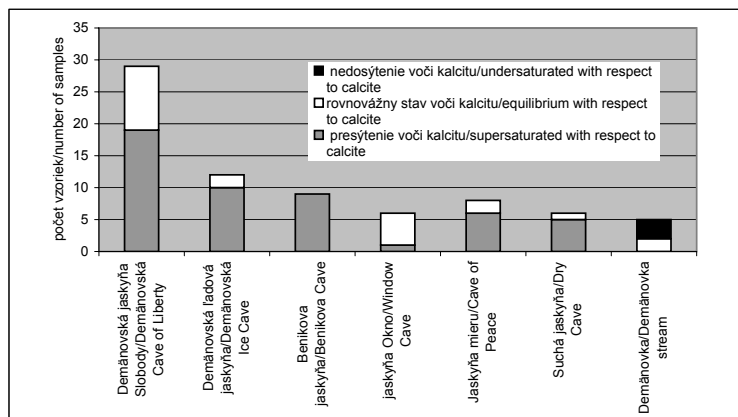
STRATÉGIA ĎALŠÍCH VÝSKUMNÝCH PRÁČ

Pri súčasnom stupni poznatkov z výskumu zatiaľ nemožno vysloviť a zovšeobecniť hypotézy týkajúce sa činiteľov formujúcich chemizmus podzemných vôd v jaskyniach Demänovskej doliny. V blízkej budúcnosti sa vykonajú ešte ďalšie terénne práce zamerané na zhromaždenie reprezentatívneho počtu vzoriek vody. Dôležité budú odbery v zimnom období, v čase extrémne nízkeho objemu všetkých typov krasových vôd. Z týchto výsledkov bude možné potvrdenie eventuálnych závislostí chemického zloženia sledovaných vôd od množstva vody vstupujúcej do systému, od času, počas ktorého pre-



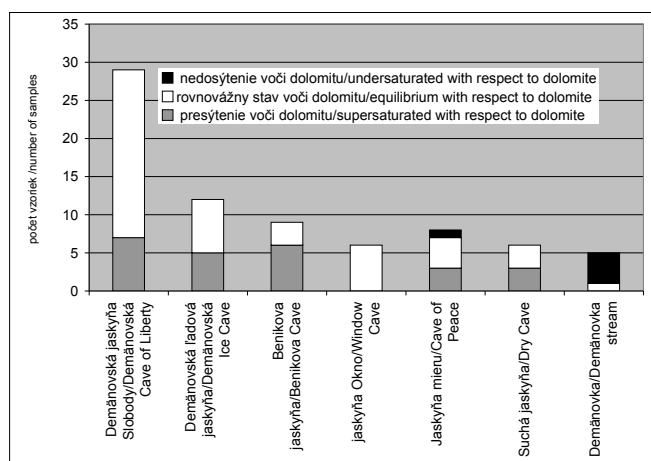
Obr. 5. Stav nasýtenia vzoriek vody voči aragonitu – početnosť vzoriek v jaskyniach a toku Demänovky pre jednotlivé stupne nasýtenia

Fig. 5. Saturation state of water samples with respect to aragonite – number of samples in the caves and in the Demänovka Stream for individual phases of saturation



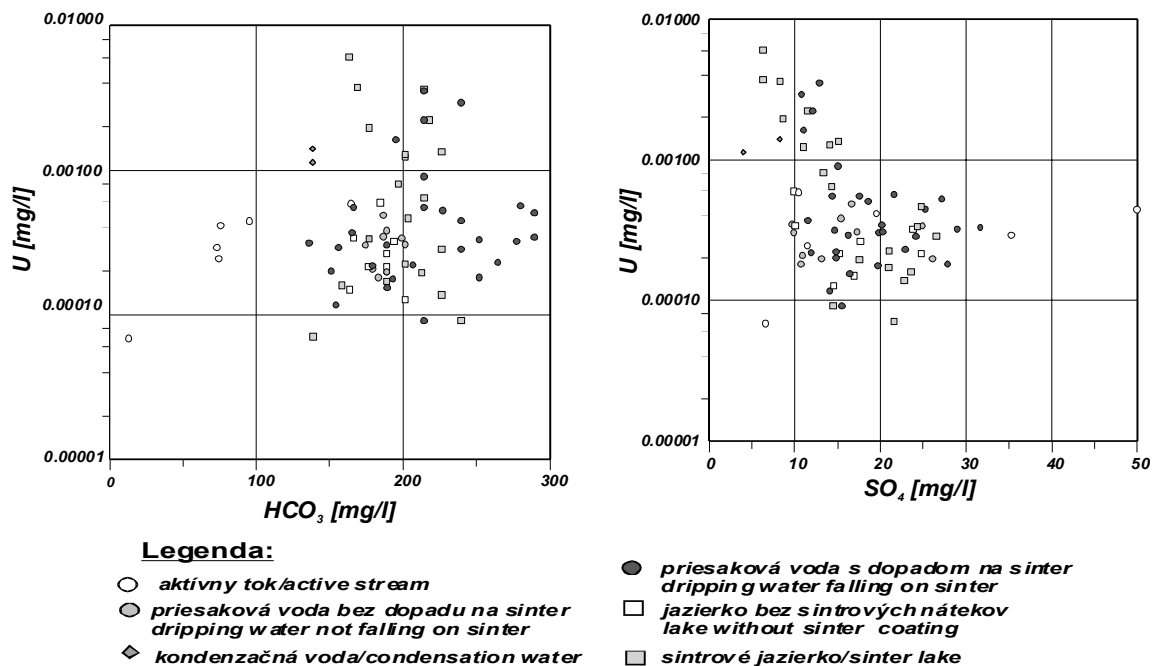
Obr. 6. Stav nasýtenia vzoriek vody voči kalcitu – početnosť vzoriek v jaskyniach a toku Demänovky pre jednotlivé stupne nasýtenia

Fig. 6. Saturation state of water samples with respect to calcite – number of samples in the caves and in the Demänovka Stream for individual phases of saturation



Obr. 7. Stav nasýtenia vzoriek vody voči dolomitu – početnosť vzoriek v jaskyniach a toku Demänovky pre jednotlivé stupne nasýtenia

Fig. 7. Saturation state of water samples with respect to dolomite – number of samples in the caves and in the Demänovka Stream for individual phases of saturation



Obr. 8. Porovnanie koncentrácií U a HCO_3^- , SO_4^{2-} v odobraných vzorkách vody
 Fig. 8. Comparison of U and HCO_3^- , SO_4^{2-} concentration in water samples

trváva voda v skalnom masíve, a od jej migračnej rýchlosti. Disponujúc väčším počtom chemických analýz sa bude tiež môcť opísať eventúrna stálosť doteraz zistených hydrochemických anomálií. Až po ukončení celého cyklu pozorovaní bude možné sformulovať konkrétne závery z prebiehajúceho výskumného projektu.

Pod'akovanie: Úloha sa realizuje na základe dohody podpísanej medzi Správou slovenských jaskýň a Geologickým inštitútom Jagiellonskej univerzity (č. 93/2005), vo vedeckej spolupráci Geologického inštitútu UJ a Katedry Górnictwa Odkrywkowego AGH. Výskum bol čiastočne financovaný z CRBW (Centrálne rezerva vlastných výskumov Univerzity Jagiellonskej) v roku 2005.

LITERATÚRA

- BIELY, A. – BEŇUŠKA, P. – BEZÁK, V. – BUJNOVSKÝ, A. – HALOUZKA, R. – IVANIČKA, A. – KOHÚT, M. – KLINEC, A. – LUKÁČIK, E. – MAGLAY, J. – MIKO, O. – PULEC, M. – PUTIŠ, M. – VOZÁR, J. 1992. Geologická mapa Nízkych Tatier. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava.
- BOLNER, K. – TARDY, J. 1989. Bacteriological and chemical investigations of dripping waters in the caves of Budapest. International Symposium on Physical, Chemical and Hydrological Research of Karst. Slovenská speleologická spoločnosť, Liptovský Mikuláš, 102–111.
- BURGEROVÁ, M. 2002. Určenie ochranných pásiem vodárenského zdroja v Demänovskej doline – prameňa Štôla (Dzúrov prameň) – doplnok k elaborátu „Demänovská dolina, spracovanie odbornej časti PHO“. Manuskript, SeVaK Žilina.
- DROPPA, A. 1957. Demänovské jaskyne. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava.
- DROPPA, A. 1972. Geomorfologické pomery Demänovskej doliny. Slovenský kras, 10, 9–46.
- DROPPA, V. – KLAUČO, S. 1985. Mezozoikum SZ svahov Nízkych Tatier – hgp. Etapová správa čiastkovej úlohy za rok 1984, SGÚ Bratislava, IGHP Žilina – závod Bratislava.
- DROPPA, V. – KLAUČO, S. 1986. K problematike tvorby chemického zloženia krasovej vody (Nízke Tatry – Demänovská dolina). Mineralia slovacica, 18, 5, Bratislava, 451–458.
- FAIRCHILD, I. J. – BORSATO, A. – TOOTH, A. F. – FRISIA, S. – HAWKESWORTH, CH. J. – HUANG, Y. – MCDERMOTT, F. – SPIRO, B. 2000. Controls on trace element (Sr–Mg) composition of carbonate cave waters: implications for speleothem climatic records. Chemical Geology, 166, 255–269.
- GOC, P. – GÓRNY, A. – KŁOJZY-KARCZMARCYK, B. – MOTYKA, J. 2000. Nitrates in cave waters of southern part of Cracow Upland. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego 1922. Kras i Speleologia, 10, 67–83 (In Polish, English summary).

- HAVIAROVÁ, D. – PEŠKO, M. 2004. Základná charakteristika vôd Ochtinskej aragonitovej jaskyne. Slovenský kras, 42, 99–108.
- KOGOVŠEK, J. (1987). Natural purification of sanitary sewage during the vertical percolation in Pivka Jama. Acta Carsologica, 16, 121–139 (In Slovenian, English summary).
- LAPIN, M. – FAŠKO, P. – MELO, M. – ŠĚASTNÝ, P. – TOMAIN, J. 2002. Klimatické oblasti. In Atlas krajiny Slovenskej republiky. Bratislava – Ministerstvo životného prostredia SR, Banská Bystrica – Slovenská agentúra životného prostredia (mapa č. 27, s. 95).
- MAYER, J. 1999. Spatial and temporal variation of groundwater chemistry in Pettyjohns Cave, northwest Georgia, USA. Journal of Cave and Karst Studies, 61, 131–138.
- MOTYKA, J. – GÓRNY, A. – RÓŻKOWSKI, K. 2000. Výsledky výskumu rýchlosti vodného toku v zóne vápenatej aerácie hornej jury v oblasti Zakrzówka pri Krakove. Slovenský kras, 38, 53–66.
- MOTYKA, J. – GRADZIŃSKI, M. – BELLA, P. – HOLÚBEK, P. 2005a. Chemistry of waters from selected caves in Slovakia – a reconnaissance study. Environmental Geology, 48, 682–692.
- MOTYKA, J. – GRADZIŃSKI, M. – RÓŻKOWSKI, K. – GÓRNY, A. 2005b. Chemistry of cave water in Smocza Jama, city of Kraków, Poland. Annales societatis Geologorum Poloniae, 75, 189–198.
- MOTYKA, J. – RÓŻKOWSKI, K. – SIKORA, W. – GOC, J. 2002. Influence of the unsaturated zone in Upper Jurassic limestones on the chemistry of groundwater (Ojców National Park, southern Poland). Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 404, 123–144 (In Polish, English summary).
- MUSGROVE, M. – BANNER, J. L. 2004. Controls on the spatial and temporal variability of vadose dripwater geochemistry: Edwards Aquifer, central Texas. Geochimica et Cosmochimica Acta 68, 1007–1020.
- NEILL, H. – GUTIÉRREZ, M. – ALEY, T. 2004. Influences of agricultural practices on water quality of Tumbling Creek cave stream in Taney County, Missouri. Environmental Geology, 45, 550–559.
- PEŠKO, M. 2000. Fyzikálno-chemické vlastnosti presakujúcich atmosferických vôd v Dobšinskej ľadovej jaskyni. In P. Bella, Ed. Výskum, využívanie a ochrana jaskýň, zborník referátov z 2. vedeckej konferencie. Liptovský Mikuláš, 107–111.
- PEŠKO, M. 2001. Fyzikálno-chemické vlastnosti priesakových vôd vo Važeckej jaskyni, Aragonit, 6, 19–21.
- TEREKOVÁ, V. 1983. Výskum Demänovskej doliny so zameraním na Demänovskú jaskyňu Mieru (Hydrogeologické a hydrogeochemické pomery). Záverečná správa, MSKaOP Liptovský Mikuláš.
- TEREKOVÁ, V. 1987. Chemizmus vôd v mezozoiku Plešivskej planiny. Slovenský kras, 25, 83–107.
- TEREKOVÁ, V. 1993. Geochémia vôd Demänovského jaskynného systému a jeho ochrana. Ochrana prírody, 12, Bratislava, 105–137.
- 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, 51–68.
- VOKAL, B. – OBELIC, B. – GENTY, D. – KOBAL, I. 1999. Chemistry measurements of dripping water in Postojna Cave. Acta Carsologica, 28/1, 305–321.
- ZIMÁK, J. – ZELINKA, J. – ŠTELCL, J. 2001. Výsledky gamaspektrometrických meraní v Demänovskej ľadovej jaskyni, Jaskyni mieru a Jaskyni slobody. Záverečná správa. MS. UP Olomouc – SSJ Liptovský Mikuláš – MU Brno.