

Rozlišení vod Hranického krasu na základě archivních analýz

Discrimination of the Hranice Karst waters (Czech Republic) based on the archival data

MILAN GERŠL

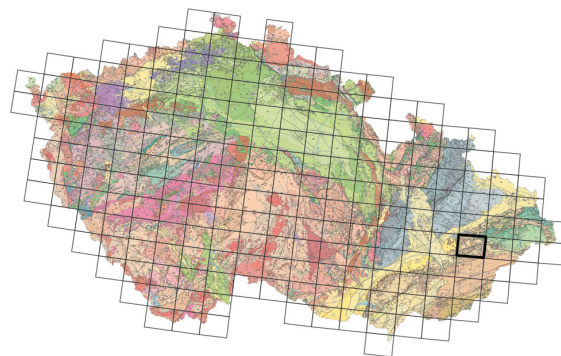
Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky,
Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1,
613 00 Brno; gersl@mendelu.cz

Key words: Hranice Karst, Hranice Abyss, Zbrašov aragonite caves, Teplice nad Bečvou spa, mineral water hydrochemistry

Summary: This study is intended to evaluate and interpret the results of water analyses from a broader area of the Hranice Karst (Czech Republic) stored in archives. This interpretation provides the first hydrogeochemical characterization of hydrogeological system of the Hranice Karst from a period 20 years ago. The area of the Hranice Karst lies about 40 km east of the city of Olomouc being bordered by the municipalities of Hranice, Teplice nad Bečvou and Černotín. There are two unique geological features – The Zbrašov Aragonite Caves (ZAC) and the Hranice Abyss (HRA). The area studied is located along an important line at the contact between the Bohemian Massif and the West Carpathians. The opening of deep structures was due to the contact of these two geological units, and is accompanied by fluids rising from the Earth's mantle. The carbon dioxide migrates to the surface and dissolves in infiltrated meteoric water or creates gas accumulations in caves. Analyses of stable carbon isotopes in CO₂, and isotopic ratios of ³He and ⁴He indicate that the gas is of juvenile (mantle) origin.

A series of provided water analyses from the Hranice Karst was completed in 1997–1998. These analyses were aimed at assessing the degree of microbial contamination of the Zbrašov Aragonite Caves (ZAC) by seepage from the sewerage system. Samples of water were collected each time at nine sampling points at five different localities (Hranice Abyss, Zbrašov Aragonite Caves, in a cave found at the Na Kučách quarry (JVLNK), Opatovice borehole and the Bečva River). A total of 109 samples were available for further processing (Table 1, Fig. 1).

Based on the proportion of major anions and cations, and using the Geochemist's Workbench Version 8.0 software, altogether five types of water were established (the mineral water,



(25-14 Valašské Meziříčí)

cave groundwater, borehole groundwater, river water and drip water). The average and median values of the composition and their standard deviations are shown in Table 1. The contents of major cations and anions were graphically displayed using a Piper diagram (Figs 2 and 3). The Piper diagram shows a clear link between mineral waters from the Hranice Abyss and that of Zbrašov Aragonite Caves – lakes in the caves named Jeskyně smrti, Bezejmenná jeskyně, Běčko and Alfa. A little variance was also demonstrated on chemical composition during a evaluated time span at individual sites. Groundwater from the JVLNK – Hluboká site shows a great similarity to surface water in the River Bečva. The drip water of sites ZAC – Křtitelnice, Opona and Turecký hřbitov, with a distinct difference of seepage water from Opona, show a greater variability in chemical composition with time. Surface water of the River Bečva is a separate case; the slightly mineralized water from the Opatovice borehole is also a distinct phenomenon.

The statistical analysis of principal components (PCA) divide the evaluated analytes into three factors, which on the whole represent 93.4 % of the variance of the given data set. In terms of data variance, a factor mostly (74.45 %) involved corresponds to the content of bicarbonates, sodium, calcium and magnesium, while sulfates form the analyte exhibiting the smallest variance.

Hranický kras je výjimečnou geologickou lokalitou a laická i odborná veřejnost ho přijímá jako příklad tzv. hydrotermálního krasu v České republice. Převážná část dosavadních výzkumů se zabývala především otázkami klasické geologie, sedimentologie karbonátů a tektoniky, v souvislosti s dlouholetou tradicí výroby vápna a později cementu také ložiskové geologie. Mnoho otázek týkajících se vývoje samotného krasu však zůstává dodnes nezodpovězeno. Do velké míry je tomu tak i v problematice minerálních vod. Stále chybí posouzení jejich plošného

i prostorového výskytu, objasnění geneze, stáří a vztahu k okolním geologickým jednotkám. V letech 1997–1998 byla provedena série analýz povrchových i podzemních vod Hranického krasu s cílem posoudit hypotézu možného mikrobiálního znečištění Zbrašovských aragonitových jeskyní (ZAJ) průsaky ze splaškové kanalizace. Průsaky nebyly prokázány a výsledky práce nebyly veřejně publikovány. Logickou a nedílnou součástí mikrobiologických analýz vod byly též analýzy zahrnující základní chemické a fyzikální vlastnosti vod a analýzy vzorků z okolních,

Tabulka 1. Přehled vzorkovaných lokalit a údaje o základním chemickém složení vod Hranického krasu
Table 1. View of the sampling locations and the major elements content in the Hranice Karst water

| | Number of samples | Ca ²⁺ | | | Mg ²⁺ | | | Na ⁺ | | | K ⁺ | | |
|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------|
| | | Avg. | Median | St. dev. | Avg. | Median | St. dev. | Avg. | Median | St. dev. | Avg. | Median | St. dev. |
| | | [mg.l ⁻¹] | [mg.l ⁻¹] | | [mg.l ⁻¹] | [mg.l ⁻¹] | | [mg.l ⁻¹] | [mg.l ⁻¹] | | [mg.l ⁻¹] | [mg.l ⁻¹] | |
| Hranice Abyss | 15 | 329.6 | 360.2 | 65.02 | 43.1 | 40.2 | 5.34 | 91.1 | 99.1 | 16.79 | 8.2 | 8.15 | 0.73 |
| ZAC – J. Běčko | 8 | 335.6 | 358.1 | 59.22 | 51.9 | 53.9 | 10.61 | 112.9 | 120.7 | 20.37 | 10.1 | 10.55 | 1.37 |
| ZAC – J. smrti | 4 | 244.8 | 228.9 | 59.86 | 16.5 | 16.5 | 1.95 | 58.4 | 59.7 | 4.16 | 3.1 | 3.1 | 0.22 |
| ZAC – Křtitelnice | 12 | 81.9 | 85.9 | 11.47 | 1.6 | 1.6 | 0.17 | 8.5 | 9.3 | 2.01 | 1.5 | 1.5 | 0.13 |
| ZAC – Opona | 13 | 104.6 | 107.0 | 14.00 | 1.3 | 1.2 | 0.22 | 11.0 | 12.9 | 3.42 | 1.4 | 1.3 | 0.18 |
| ZAC – Turecký hřbitov | 14 | 96.1 | 95.0 | 14.84 | 9.4 | 9.4 | 21.60 | 22.5 | 21.6 | 21.60 | 4.0 | 4 | 0.18 |
| JVLNK – Hluboká | 15 | 85.0 | 84.4 | 18.73 | 8.8 | 8.1 | 2.18 | 22.5 | 19.7 | 7.70 | 5.7 | 5.3 | 0.77 |
| Opatovice borehole | 13 | 115.1 | 112.9 | 17.17 | 24.2 | 23.4 | 3.65 | 20.6 | 22.1 | 4.18 | 3.2 | 3.2 | 0.22 |
| Bečva River | 15 | 45.1 | 47.8 | 9.70 | 7.2 | 7.1 | 1.92 | 15.5 | 16.4 | 4.88 | 3.7 | 3.5 | 0.69 |

srovnávacích lokalit. Z pohledu hydrochemického však nebyly výsledky těchto analýz nikdy interpretovány. Cílem této práce je zhodnocení výsledků historických analýz vod a jejich interpretace.

Hranický kras, výstupy oxidu uhličitého a minerální vody

Oblast Hranického krasu se rozkládá cca 40 km východně od Olomouce mezi obcemi Hranice, Teplice nad Bečvou a Černotín, na obou březích Bečvy, v pásu 5,5 km dlouhém a asi 4 km širokém, protaženém od JZ k SV (Geršl 2009). Jednoznačně vymezení Hranického krasu je ztíženo překrytím většiny karbonátových těles terciénními, popř. kvarténními sedimenty. Největším jeskynním systémem Hranického krasu jsou Zbrašovské aragonitové jeskyně, dalším výjimečným útvarem je Hranická propast, nejhlubší propast České republiky. Hydrologicky náleží oblast Hranického krasu povodí řeky Bečvy, která zde v hlubokém údolí proráží z Hustopečské brázd do bečevské části Moravské brány. Hranický kras se rozkládá v sv. části kry Maleníku, která je součástí moravskoslezského paleozoika. Kru Maleníku tvoří sedimenty tzv. kulmské facie spodního karbonu, v severovýchodní části vápence macošského a líšeňského souvrství svrchního devonu a spodního karbonu. Vápence jsou dlouhodobě a podrobně ložiskově i regionálně zkoumány, shrnutí provedl Dvořák (1991) a přehledný popis geologické situace prezentuje Geršl (2009).

Území Hranického krasu se nachází na styku Českého masivu a Západních Karpat. Otevření, resp. reaktivace, hlubokých struktur bylo podminěno přítomností styku těchto dvou velkých geologických celků a je doprovázeno výstupy fluid ze zemského pláště k povrchu (např. Kodým 1960 a Panoš 1964). Oxid uhličitý migruje až na povrch a rozpouští se v infiltrovaných vodách, nebo vytváří akumulace suchého plynu, tzv. plynová jezera v podzemních dutinách. Přirozené výskyty oxidu uhličitého jsou lokalizovány ve Zbrašovských aragonitových jeskyních a v Hra-

nické propasti. Výstupy oxidu uhličitého jsou patrné i v okolním terénu a velmi dobře také v podobě bublin v korytě řeky Bečvy. Analýzy poměru stabilních izotopů uhlíku v oxidu uhličitém ($\delta^{13}\text{C}$ okolo -5‰) naznačují plášťový původ tohoto plynu. Izotopové analýzy poměrů ^3He a ^4H ve vodě rozpuštěných plynů toto potvrzují a upřesňují původ alespoň části plynu ve svrchním pláští Země (Meyberg – Rinne 1995). Minerální voda se přirozeně vyskytuje v různých částech Hranické propasti a Zbrašovských aragonitových jeskyní – v jezerech Jeskyně smrti, Bezejmenné jeskyni a v jeskyni Běčko (Bosák – Geršl 2003, Geršl et al. 2004). Pro lázeňské účely je minerální voda jímána prostřednictvím balneologických vrtů v lázních Teplice nad Bečvou. Spontánní výstupy minerálních vod na povrch dnes známy nejsou.

Geneze minerálních vod Hranického krasu je obvykle vysvětlována podle hypotézy Řezníčka (1977), který předpokládá infiltrační oblast minerálních vod v území asi 1 km v. od Černotína, kde se nachází výchozy zkrasovělých a tektonicky porušených vápenců. Možnosti jiné infiltrace srážkových vod do vápenců jsou omezené, neboť vápence jsou z převážné části kryty nepropustnými neogenními jíly. Po infiltraci říční vody je uvažován sestup vody po hluboké tektonické zóně (tritiovou metodou byla stanovena doba zdržení minerálních vod na 17–18 let, někdy udáváno stáří jen obecněji „po roce 1950“ – Michalíček et al. 1994). Sestupem vody do hloubky cca 700 m, kde je předpokládána báze vápencového komplexu, se voda ohřívá a obohacuje hlubinným CO_2 a v důsledku 8metrového hydraulického spádu mezi infiltrační a vývěrovou oblastí je přivedena opět k povrchu, kde volně vyvěrá do koryta řeky.

Metodika

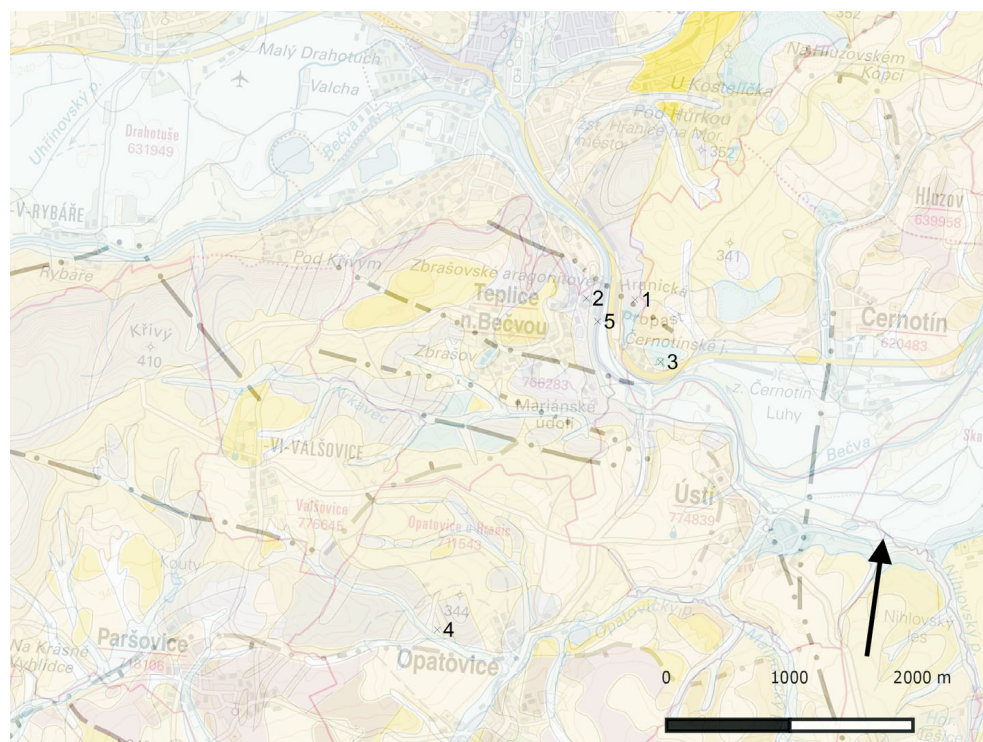
V práci jsou hodnocena analytická data z monitoringu vod Zbrašovských aragonitových jeskyní a jejich okolí z období let 1997 a 1998. Vzorky vod byly odebírány na jedenácti místech pěti různých lokalit, jejich přehled uvádí

Tabulka 1 – pokračování
Table 1 – continued

| | Number of samples | HCO ₃ ⁻ | | | SO ₄ ²⁻ | | | Cl ⁻ | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------|----------|-------------------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------|
| | | Avg. | Median | St. dev. | Avg. | Median | St. dev. | Avg. | Median | St. dev. |
| | | [mg.l ⁻¹] | [mg.l ⁻¹] | | [mg.l ⁻¹] | [mg.l ⁻¹] | | [mg.l ⁻¹] | [mg.l ⁻¹] | |
| Hranice Abyss | 15 | 2014.9 | 2135.0 | 522.75 | 58.9 | 59.5 | 4.47 | 35.4 | 35.5 | 1.76 |
| ZAC – J. Běčko | 8 | 1936.1 | 2059.0 | 340.74 | 42.6 | 41.5 | 12.51 | 44.8 | 44.2 | 1.16 |
| ZAC – J. smrti | 4 | 890.4 | 899.7 | 56.51 | 66.3 | 65.5 | 2.28 | 41.8 | 43.0 | 8.78 |
| ZAC – Křtitelnice | 12 | 210.7 | 216.3 | 13.55 | 48.0 | 48.0 | 3.72 | 7.9 | 7.6 | 1.19 |
| ZAC – Opona | 13 | 155.7 | 185.4 | 48.78 | 107.8 | 109.0 | 4.63 | 12.7 | 12.7 | 0.70 |
| ZAC – Turecký hřbitov | 14 | 270.1 | 278.1 | 22.79 | 72.9 | 73.0 | 6.53 | 18.4 | 18.6 | 4.24 |
| JVLNK – Hluboká | 15 | 217.7 | 207.1 | 34.52 | 68.3 | 64.0 | 12.89 | 23.0 | 18.8 | 8.83 |
| Opatovice borehole | 13 | 422.2 | 426.5 | 7.41 | 85.5 | 86.0 | 2.87 | 5.5 | 5.4 | 0.38 |
| Bečva River | 15 | 146.1 | 149.9 | 34.34 | 39.6 | 41.0 | 7.05 | 10.3 | 10.5 | 3.43 |

Obr. 1. Lokalizace vzorkovacích míst. 1 – Hranická propast, 2 – Zbrašovské aragonitové jeskyně (zahrnující lokality J. Běčko, J. Smrti, Opona, Turecký hřbitov), 3 – JVLNK Hluboká, 4 – Opatovice vrt, 5 – řeka Bečva.

Fig. 1. Location of sampling points. 1 – Hranická propast, 2 – Zbrašovské aragonite caves (J. Běčko, J. Smrti, Opona, Turecký hřbitov include), 3 – JVLNK Hluboká, 4 – Opatovice borehole, 5 – Bečva River.



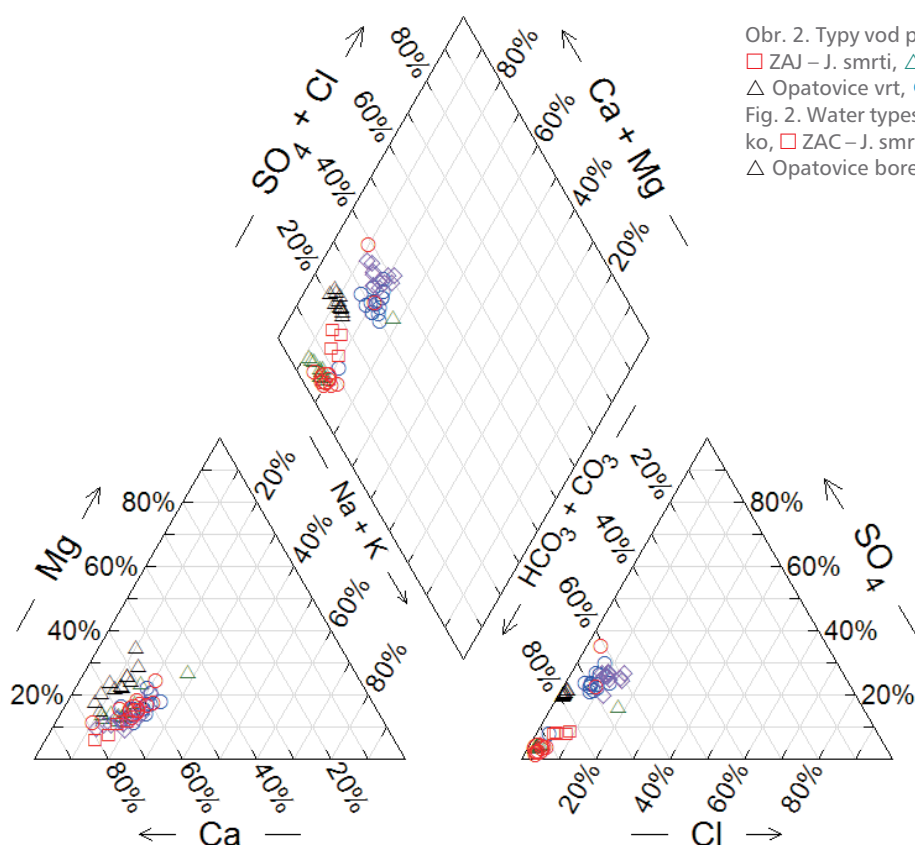
tab. 1 a obr. 1. Součástí hodnocené sady je také povrchová voda z koryta řeky Bečvy. Vzorky vod byly analyzovány v laboratořích Agentury ochrany přírody a krajiny ČR, laboratoře Brno.

Charakteristika odběrových lokalit

Hranická propast (HRP) na pravém břehu řeky Bečvy je nejhlubší propastí a současně nejhlubším jezerem České republiky (v únoru 2016 celková ověřená hloubka 453,5 m). Vzorky vod byly odbírány z Jezírka v Hranické propasti v hloubce cca 0,3 m.

Zbrašovské aragonitové jeskyně (ZAJ) na levém břehu řeky Bečvy jsou s délkou 1435 m největším jeskynním systémem Hranického krasu. Vzorky vod byly odebírány v jezerech Jeskyně smrti, Bezejmenné jeskyně, v jeskyni Běčko a sporadicky v jezeře Alfa. Vzorky skapových vod byly odebírány na lokalitách Křtitelnice, Opona a Turecký hřbitov.

Jeskyně v lomu Na Kučách (JVLNK) jsou systémem menších kaveren a chodeb o celkové délce 130 m, často mylně nazývaným Černotínské jeskyně (původní Černotínské jeskyně byly objeveny r. 1866, od r. 1899 již není možno lokalizaci dohledat, pravděpodobně byly zničeny těžbou vápence). Jde o systém nevelkých jeskyní postupně



Obr. 2. Typy vod podle Piperova diagramu. ○ ZAJ – Běčko, □ ZAJ – J. smrti, △ Hranická propast, ◇ JVLNK – Hluboká, △ Opatovice vrt, ○ řeka Bečva.

Fig. 2. Water types after the Piper's diagram. ○ ZAC – Běčko, □ ZAC – J. smrti, △ Hranice Abyss, ◇ JVLNK – Hluboká, △ Opatovice borehole, ○ Bečva River.

objevených při ražbě prospekční štoly v lomu Na Kučách. Ražbu prováděl v padesátých letech Geologický průzkum, n. p., Ostrava. Vzorky vod byly odebírány z lokality Hluboká z hloubky cca 0,3 m.

Opatovice-1 vrt – geologický vrt převážně ve spodně karbonických drobách se spontánním přelivem podzemní vody, lokalizovaným západně od obce Opatovice.

Bečva – řeka protékající Hranickým krasem, vzorek byl odebírán v korytě řeky v prostoru lázní Teplice nad Bečvou.

Výsledky laboratorních analýz vod byly převedeny do digitální podoby a zpracovány v programu Microsoft Excel. Lokality vzorkované sporadicky, s nižší četností než většina lokalit, byly ze souboru dat odstraněny. Po této úpravě bylo z původních 112 analýz detailně posuzováno 109 pomocí geochemického modelovacího softwaru Geochemist's Workbench 8.0, ve kterém byly provedeny hydrochemické výpočty a konstruovány např. Piperovy diagramy (Piper 1944) s cílem rozdělit typy vod podle hydrogeologických klasifikací a zjistit podobnost vod na jednotlivých lokalitách. Ověření získaných výsledků bylo provedeno vícerozměrnými statistickými procedurami (Analýzou hlavních komponent – PCA a Sdružovací analýzou – CLU) v prostředí softwaru Statistica 10 StatSoft Inc.

Výsledky a diskuse

Na základě dostupných historických analýz byly posouzeny hydrochemické vlastnosti vod devíti vzorkovacích míst v Hranickém krasu (109 vzorků) zahrnující vody minerální, podzemní prosté a jeskynní skapové a vodu povrchovou

(tab. 1) v letech 1997–1998. Zhodnocením obsahu hlavních aniontů a kationů (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) byly rozlišeny typy jednotlivých vod.

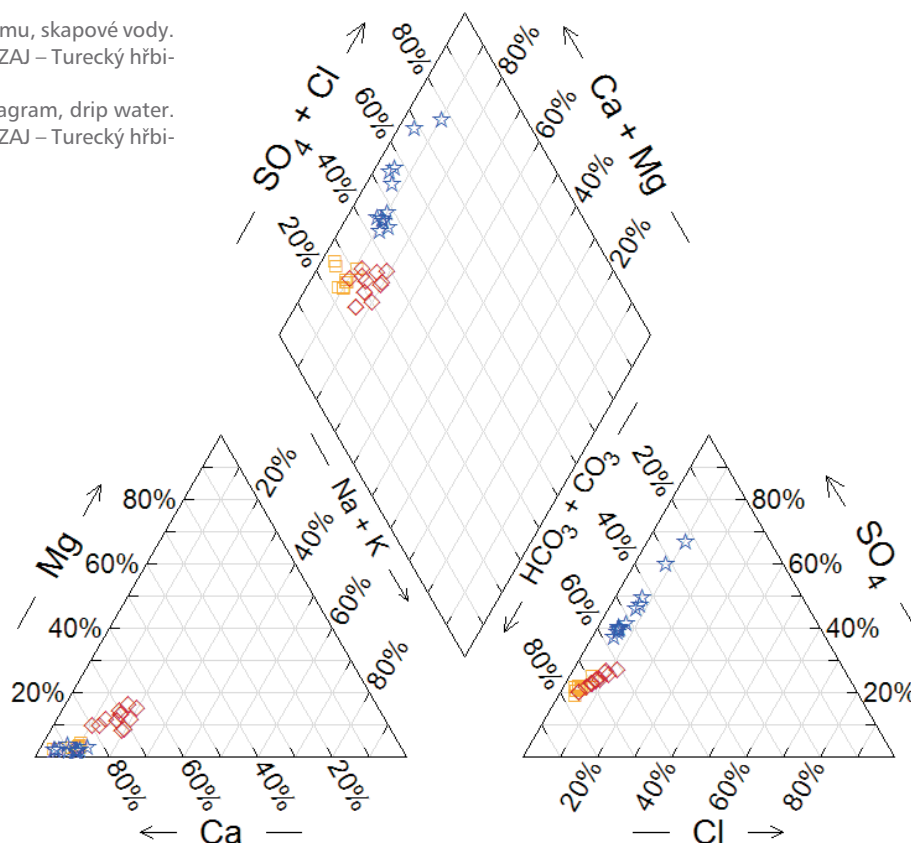
V případě podzemních vod minerálních, podzemních vod prostých a vod z řeky Bečvy se vždy jednalo o typ Ca-HCO_3 . V případě vod skapových vzorkovaných ve Zbrašovských aragonitových jeskyních se jednalo o typ Ca-HCO_3 , ve dvou případech (květen 1997, duben 1998) byl na lokalitě Opona zjištěn typ Ca-SO_4 . Průměrné a střední (medián) hodnoty složení a jejich směrodatné odchylky jsou uvedeny v tab. 1.

Obsahy hlavních kationů a aniontů byly graficky zobrazeny pomocí Piperova diagramu (obr. 2 a 3). Piperův diagram ukazuje jednoznačnou příbuznost minerálních vod ze všech pěti vzorkovacích míst dvou lokalit, resp. příbuznost vod Hranické propasti a vod Zbrašovských aragonitových jeskyní – v jezerech Jeskyně smrti, jeskyni Běčko. Rovněž byl prokázán malý rozptyl chemického složení v čase na jednotlivých lokalitách. Podzemní voda z lokality JVLNK – Hluboká vykazuje vysokou podobnost vodě povrchové v řece Bečvě. Její konduktivita i celková mineralizace je však vyšší a lze ji rozpoznat od vody povrchové.

Vody skapové z lokalit ZAJ-Křtitelnice, Opona a Turecký hřbitov, se zřetelnou odlišností skapové vody z Opony, disponují větší variabilitou v chemickém složení v čase. Přes lehkou odlišnost vod z Opony jsou vlastnosti těchto vod podobné. Povrchová voda řeky Bečvy tvoří samostatný soubor, který se podobá vodě prosté z lokality JVLNK – Hluboká a v některých vlastnostech skapovým vodám. Samostatným fenoménem je málo mineralizovaná voda z vrtu Opatovice.

Obr. 3. Typy vod podle Piperova diagramu, skapové vody.
 ☆ ZAJ – Opona, □ ZAJ – Křtitelnice, ◇ ZAJ – Turecký hřbitov.

Fig. 3. Water types after the Piper's diagram, drip water.
 ☆ ZAJ – Opona, □ ZAJ – Křtitelnice, ◇ ZAJ – Turecký hřbitov.



Piperovými diagramy byly potvrzeny a upřesněny typy vod zjištěné v programu Geochemist's Workbench 8.0. V případě vod minerálních, podzemních vod prostých a vod z řeky Bečvy šlo vždy shodně o typ Ca-HCO₃, v případě vod skapových vzorkovaných ve Zbrašovských aragonitových jeskyních shodně o typ Ca-HCO₃, ale na lokalitě Opona byl typ ve dvou případech identifikován SO₄ typ vod.

V případě ojedinělých odlišných typů vod na lokalitách, kde se obvykle vyskytuje typ Ca-HCO₃, lze předběžně uvažovat o třech možných interpretacích tohoto jevu. Nadloží lokality se částečně nachází v zatím ne zcela prozkoumaných a zdokumentovaných pokračováních Zbrašovských aragonitových jeskyní, kde je možno uvažovat o klastických jeskynních výplních např. miocenního stáří, které by vodu mohly obohatit o sírany. Rovněž je potřeba zohlednit dobu několika hodin, po kterou trvá odběr skapové vody, tedy dobu, po kterou může docházet ke změně koncentrací hydrogenuhličitanů a následně ke zkreslení výsledků analýz. Jako nejpravděpodobnější se jeví kombinace všech tří uvedených možností, ovlivněná dále roční dobou, resp. množstvím oxidu uhličitého a srážkových vod.

Statistickou analýzou hlavních komponent (PCA) byly hodnocené analyty rozděleny na tři faktory, které celkem vyjadřují 93,4 % rozptylu datového souboru. Na rozptylu dat v souboru se nejvíce, a to 74,45 %, podílí faktor 1, který koresponduje s obsahem hydrogenuhličitanů, sodíku, vápníku a hořčíku. Síranem se projevují specifickým chováním, bez významných vazeb na ostatní ionty. Použitím sdružovací analýzy (CLU) bylo dosaženo velmi podobných výsledků jako při použití analýzy hlavních komponent. Přestože hodnocený datový soubor není svým rozsahem

pro posouzení vícerozměrnými statistickými procedurami nejvhodnější, lze přijmout hypotézu o vysokém obsahu hydrogenuhličitanů, sodíku, vápníku a hořčíku jako prokazatelném kritériu pro rozlišení jednotlivých typů vod.

Závěr

Na základě numericky zjištěných (Analýza hlavních komponent) a graficky vyjádřených podobností (Piperovy diagramy) lze vyčlenit 5 typů posuzovaných vod. Jsou to:

1. vody minerální – Hranická propast, Zbrašovské aragonitové jeskyně (jezera Jeskyně smrti a Běčko),
2. voda podzemní prostá – lokalita JVLNK – Hluboká,
3. vody skapové – Zbrašovské aragonitové jeskyně (Křtitelnice, Opona a Turecký hřbitov, se zřetelnou odlišností vody z Opony),
4. voda povrchová – řeka Bečva,
5. voda podzemní prostá – vrt Opatovice-1.

Mezi nejpodstatnější zjištění této práce patří prokázání vysokého stupně chemické příbuznosti minerálních vod (tzv. kyselek, někdy nazývaných hydrotermální vody) na obou březích řeky Bečvy, tedy v Hranické propasti i ve Zbrašovských aragonitových jeskyních a stálost jejich složení ve sledovaném čase.

Byla zjištěna chemická příbuznost skapových vod v různých částech Zbrašovských aragonitových jeskyní, s výjimkou případu lokality Opona, kde byl zjištěn zřetelný rozptyl chemického složení vody v čase způsobený především různou koncentrací síranů. S ohledem na původ historických analýz a jejich nízkou četnost, která nepostihla všechny

hydrologické situace ovlivňující skapové vody, nelze v tuto chvíli zjištěný rozptyl vysvětlit. Jako pravděpodobná se jeví hypotéza pomalého pronikání skapových vod v sušších obdobích roku, a tím větší možnost rozpouštění hornin a naopak rychlejší pronikání vod do podzemí s omezenou možností rozpouštění horniny v obdobích s vydatnými srážkami.

Poděkování. Tato práce byla podpořena grantem Grantové agentury České republiky č. 16-13231S Vodní prostředí v krasu: dopad lidských aktivit na „geomykobakteriologii““. Zvláštní poděkování za spolupráci patří pracovníkům Správy jeskyní České republiky – Správy Zbrašovských aragonitových jeskyní, paní Barboře Šimečkové a panu Slavomíru Černému.

Literatura

- BOSÁK, P. – GERŠL, M. (2003): Excursion Guide. Hranice Karst. – 22nd Speleological School Cieszyn (Poland), 17 str. Inst. Geol., Acad. Sci. Czech Rep. Prague.
- DVOŘÁK, J. (1991): Geology of the carbonate evolution of the Devonian and the Lower Carboniferous near Grygov, Přerov, Sobíšky and Hranice (Northern Moravia). – *Scripta Geol.* 21, 37–62.
- GERŠL, M. (2009): Hranický kras. In: HROMAS, J., ed.: *Jeskyně. Chráněná území ČR*. Sv. 15, 362. – Agentura ochr. přír. a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. Praha.
- GERŠL, M. – HLADIL, J. – HYPR, D. – STEPIŠNIK, U. (2004): Variability of carbon dioxide concentrations in Zbrašov Aragonite Caves and its assessment on the base of nineyear monitoring research. 3rd. Nat. speleol. congress Sloup, Abstracts, 15–19. – Czech speleol. soc. Kuřim.
- KODYM, O. (1960): O genesi Hranického krasu. – *Čas. Mineral. Geol.* 5, 3, 262–264.
- MEYBERG, M. – RINNE, B. (1995): Messung des $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Isotopenverhältnisses im Hranicka Propast (Tschechische Republik). Die Höhle. – *Z. Karst- und Höhlenkunde* 46, 1, 5–8. Wien.
- MICHALÍČEK, M. – MANÍK, R. – PROCHÁZKOVÁ, V. (1994): Geochemie vybraných přírodních léčivých a stolních minerálních vod České republiky. Ověřovací etapa, rok 1992. 1–39. – MS Čes. geol. služba. Brno.
- PANOŠ, V. (1964): Der Urkarst im Ostflügel der Böhmischen Masse. – *Z. Geomorphol., Neue F.* 8, 2, 105–162. Göttingen.
- PIPER, A. M. (1944): A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. – *Transact. Amer. Geophys. Union* 25, 6, 914–928. Doi: 10.1029/TR025i006p00914.
- ŘEZNÍČEK, V. (1977): Teplíce nad Bečvou. Ochranná pásma. – MS Geotest. Brno.