

*filicinum*, *Ctenidium molluscum*, *Didymodon fallax*, *D. rigidulus*, *Eucladium verticillatum*, *Eurhynchium hians*, *E. schleicheri*, *Fissidens bryoides*, *F. taxifolius*, *F. viridulus*, *Leptobryum pyriforme*, *Pohlia wahlenbergii*, *Rhynchostegium murale*, *Tortula muralis*.

b) Sinice a řasy: *Nostoc sp.*, *Leptolyngbya sp.*, *Achnanthes linearis*, *Fragillaria sp.*, *Navicula cf. radiosa*, *Nitzschia cf. palea*, *Bracteococcus sp.*, *Stichococcus bacillaris*, *Apantococcus cf. lobatus*, *Chlorella vulgaris*, *Sphaerococcomyxa simplex*.

2) Výsledky laboratorních experimentů naznačily,

že prahová koncentrace  $H_2O_2$  pro eliminaci lampenflóry se pohybuje již kolem 5 %. Pro praktické použití v jeskyním prostředí však tato koncentrace byla příliš nízká. Experimenty v prostorách Kateřinské jeskyně jasně prokázaly, že peroxid vodíku je pro eliminaci lampenflóry dostatečně účinný až v 15 % koncentraci: po opakovaných aplikacích destrukuje jak řasy, tak i mechy.

3) Komplexní studium kinetiky interakce peroxid-hornina ukázalo, že peroxid vodíku v koncentraci 15 % působí na karbonátové horniny (devonské vápence a sintry) poněkud agresivněji než běžné přírodní vody. Deset hodin před vlastní aplikací peroxidu proto doporučujeme předběžné sycení roztoku kalcitem (vápencem).

#### Literatura:

- Amrhein, C. - Suarez, D. L. (1992): Some factor affecting the dissolution kinetics of anorthite at 25°C. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 1815-1826.
- Eggleston, C. M. - Hochella, M. F., Jr. - Parks, G. A. (1989): Sample preparation and aging effects on the dissolution rate and surface composition of diopside. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 797-804.
- Gažo, J. - Kohout, J. - Serátor, M. - Šramko, T. - Zikmund, M. (1974): *Všeobecná a anorganická chemia*. - Alfa Bratislava, SNTL Praha.
- Parks, G. A. (1990): Surface energy and adsorption at mineral-water interfaces: An introduction. In: *Mineral-water interface geochemistry*. Eds.: Hochella M. F. & White A. F. - Review in mineralogy, 23, 133-175. Mineral. Soc. America, BookCrafters, Inc., Chelsea, Michigan.
- Staub, R. (1961): Ehnährungsphysiologisch-autökologische Untersuchung an den planktonischen Blaualge *Oscillatoria rubescens* DC. - *Schweiz. Z. Hydrol.* 23: 82-198.

# STUDIUM SAMOVOLNÉ DESTRUKCE "JEMNÝCH SINTROVÝCH FOREM"

The study of spontaneous destruction of fine speleothems

Jiří Faimon<sup>1</sup>, Petr Zajíček<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra mineralogie, petrologie a geochemie, PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno, e-mail: faimon@sci.muni.cz

<sup>2</sup>Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Sekce ochrany a provozu jeskyní, oddělení ochrany jeskyní, Svitavská 11/13, 678 25 Blansko, e-mail: cavemk@cavemk.cz

(24-23 Protivanov)

**Key words:** cave atmosphere, corrosion, dripping water, equilibrium, saturation

## Abstract:

*A spontaneous destruction (a corrosion followed by falling) of fine speleothems was studied in the Punkevní Cave (the Moravian Karst) from geochemical point of view. During eight months of the year 2000, the cave atmosphere and dripping waters were monitored. All inner waters (waters from limestone fissures as far as to "mouth of hollow sinters") were found to be close to equilibrium with calcite ( $SI \sim 0.08$  to  $0.15$ ). Not being undersaturated, these waters cannot dissolve calcite sinters. The same waters become supersaturated with respect to calcite ( $SI \sim 0.85$  to  $2.20$ ) at a contact with cave atmosphere ( $p_{CO_2} \sim 3,0 \cdot 10^{-4}$  to  $4,1 \cdot 10^{-3}$  atm). Thus, during the monitored period, there was not proved any corrosion of the sinters by dripping waters.*

V posledních 20-30 letech byly zaznamenány některé procesy, které negativně ovlivňují jeskynní systémy Moravského krasu. V centru pozornosti speleologů, ekologů a geologů je zejména samovolná "destrukce jemných sintrových forem", představující opadávání drobných dutých stropních sintrů, tzv. "brček", či korozi tenkých "záclonových" útvarů. Přestože se již objevila celá řada různých hypotéz, dohadů a spekulací o příčinách tohoto jevu, nebyla tomuto fenoménu zatím věnována systematická pozornost. Od května roku 2000 probíhá ve spolupráci s Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR (oddělení ochrany jeskyní, středisko Brno) studium geochemických aspektů tohoto problému. Pro experimenty byl vytipován Masarykův dóm (Punkevní jeskyně, Moravský kras). Jak dokládají dobové fotografie, ještě před několika málo desítkami let zde byly jemné sintrové formy velmi hojné a jednotlivá brčka dosahovala délky až dvou metrů. Do dnešních dnů byly tyto sintry zredukovány samovolným opadem na několik desítek jedinců, dlouhých 20 - 30 cm. Podle průběžného sledování probíhá tato destrukce i nadále.

Vlastní výzkum se zaměřil na monitorování jeskynní atmosféry a tzv. "skapových vod". V atmosféře se sledoval spektrometricky  $p_{CO_2}$  (Dräger Multiwarn), u skapových vod (5 odběrových míst) se sledoval průtok, a přímo v jeskynních prostorách se měřilo pH (Multiline P4) a alkalita (granova titrace, např. Morgan a Stumm, 1981, pp. 226-229). Po okyselení byly následující den stanoveny další komponenty ( $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , a  $PO_4^{3-}$ ) v akreditované laboratoři (Agentura ochrany přírody a krajiny, středisko Brno). Výpočty a modelování byly prováděny v prostředí MS Excel 2000.

Parciální tlak  $CO_2$  vykazoval během roku (od března

do října) systematicky rostoucí trend (od  $3,0 \cdot 10^{-4}$  až po  $4,1 \cdot 10^{-3}$  atm), což je konzistentní s představou zvýšené biologické aktivity a následného zvýšení koncentrací  $CO_2$  v půdách nadloží (např. White, 1988 nebo Appelo a Postma, 1994. Další odkazy lze nalézt tamtéž).

pH skapových vod se měnilo v rozmezí 7,57 až 8,23. Látkové bilance kationů a anionů byly přibližně vyrovnané, s relativní chybou od - 3,1 % (ve prospěch anionů) až po + 2,9 % (ve prospěch kationů), což naznačovalo kompletní a poměrně přesné analýzy. V několika málo případech však chyba dosáhla až 10 %. Koncentrace vápníku se pohybovala typicky od  $3,0 \cdot 10^{-3}$  do  $4,6 \cdot 10^{-3}$  mol  $l^{-1}$  a stanovená alkalita od  $5,0 \cdot 10^{-3}$  do  $7,4 \cdot 10^{-3}$  ekv  $l^{-1}$ . Koncentrace kationů  $Na^+$ ,  $K^+$  a  $Mg^{2+}$  byla o dva řády nižší, vše v rozmezí  $1 \cdot 10^{-5}$  až  $9 \cdot 10^{-5}$  mol  $l^{-1}$ . Koncentrace  $NH_4^+$  ionů nepřesáhla hodnotu  $3 \cdot 10^{-6}$  molu, koncentrace  $NO_3^-$  a  $Cl^-$  byly v rozsahu  $3 \cdot 10^{-5}$  až  $8 \cdot 10^{-5}$  mol  $l^{-1}$ . Koncentrace  $PO_4^{3-}$  a  $NO_2^-$  ionů se pohybovaly kolem  $10^{-6}$ , respektive  $10^{-7}$  mol  $l^{-1}$ . Naproti tomu koncentrace síranů byly vyšší, v rozmezí  $3,6 \cdot 10^{-4}$  až  $5,8 \cdot 10^{-4}$  mol  $l^{-1}$ .

Průtoky (rychlosti skapu) se velmi lišily v závislosti na odběrových místech. Nejrychlejší skap (117 až 1300 ml/hod) ale i jeden skap pomalý (9 až 143 ml/hod) byly velmi proměnlivé - těsně závislé na "vnějších" (povrchových) podmínkách. Ostatní skapy již tak výrazně průtok neměnily (18 až 67, 15 až 19 a 52 až 120, vše v ml/hod).

Pro potřeby modelování byly vertikálně tekoucí (prosakuující) krasové (skapové) vody formálně rozděleny na vody v uzavřeném a otevřeném systému. Krasová voda v puklinách vápencového nadloží - daleko od atmosférického a půdního zdroje  $CO_2$  - byla až po ústí brčka chápána jako vnitřní (uzavřený) systém, jehož stav je určen

původním složením vody na povrchu (v půdách) a pokročilostí interakce voda/kalcit. Krasová voda s volnou hladinou (od povrchu kapky v ústí brčka až po vodné filmy na podlahových sintrech po odkápnutí) byla chápána jako vnější (otevřený) systém. Jeho stav závisel - kromě počátečního složení a pokročilostí interakce voda/kalcit - také na pokročilosti výměny CO<sub>2</sub> mezi vodou a jeskynní atmosférou. Na základě rovnovážných i dynamických modelů (Faimon 2000, nepublikovaná práce) byl vypočítán index nasycení skapových vod ( $SI = \log[Q/K]$ , kde Q je reakční kvocient a K rovnovážná konstanta), jak z pohledu vnitřního, tak vnějšího systému. Voda vnitřního systému se ve všech případech blížila rovnováze s kalcitem; index nasycení SI se pohyboval od 0,08 do 0,16. Skapová voda ve vnějších podmínkách, tedy "v konfrontaci" s jeskynní atmosférou, byla vesměs značně přesycená ke kalcitu. Index nasycení SI se pohyboval od 0,85 do 2,20.

Na základě výpočtu celkové koncentrace karbonátů ve skapových vodách a po odečtení karbonátových složek pocházejících z rozpouštění kalcitu, byl odhadnut parciální tlak CO<sub>2</sub> v půdách na 10<sup>-2</sup> až 10<sup>-1</sup> atm.

Jak je vidět z výsledků modelování, *zatím* nejsou patrna žádná fakta, která by podporovala často vyslovenou hypotézu o chemické příčině koroze "krčků brček", následované opadem. Nebyly zaznamenány žádné

"zvýšené" koncentrace "cizích ionů", které by "významně" ovlivnily chemické rovnováhy v jeskynním systému. Ani v jediném případě nebylo ve vnitřním systému zaznamenáno nenасыcení skapových vod. Nelze tedy předpokládat rozpouštění kalcitu, resp. korozi sintrů "zevnitř". Nebyly ani potvrzeny četné hypotézy o závislosti indexu nasycení vod vnitřního systému na dynamice skapových vod. Bez ohledu na rychlosti skapů, všechny "vnitřní vody" byly blízko rovnováhy.

Na druhé straně bylo zjištěno, že všechny skapové vody *ve styku s jeskynní atmosférou* (vnější systém) jsou výrazně přesyceny ke kalcitu. To je povzbudivý důkaz o pokračujícím růstu sintrů za současných podmínek. Ani mnohonásobně zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> v letních a podzimních měsících nebyly dostatečné ke zvrácení tohoto trendu.

Vzhledem k tomu, že výzkum probíhal jen krátkou dobu (osmiměsíční výsek kalendářního roku), monitoring nemohl postihnout všechny podmínky panující v nadloží v různých ročních obdobích. Z tohoto důvodu zatím nelze vyřknout *definitivní* soudy o příčinách studovaného jevu. Nicméně pokračující výzkum, popřípadě jeho rozšíření i do dalších jeskynních systémů, dává naději, že souvislost mezi vnějšími podmínkami a destrukcí jemných sintrových forem bude objasněna.

#### Literatura:

Stumm, W. - Morgan J. J. (1981): Aquatic chemistry. - Ed.: J. Wiley & Sons, New York.

White, W.B. (1988): Geomorphology and hydrology of karst terrains. - Ed.: Oxford Univ. Press, New York - Oxford.

## TEKTONICKÁ MIKROZEMĚTŘESENÍ REGISTROVANÁ NA MORAVĚ A VE SLEZSKU V ROCE 2000

Tectonic micro-earthquakes recorded in Moravia and Silesia in the year 2000

Josef Havíř, Jana Pazdírková, Zuzana Skácelová, Zdeňka Sýkorová

Ústav fyziky Země, PŘF MU, Tvrdého 12, 602 00 Brno

**Key words:** eastern part of the Bohemian Massif, earthquakes, recent tectonic activity

#### Abstract:

During the year 2000, seismological stations operated by Institute of physics of the Earth recorded 74 weak tectonic micro-earthquakes from the eastern part of the Bohemian Massif, 14 events were located by program HYPO3D. The seismic activity was observed in these regions: region northwards of Šternberk, the Hrubý Jesník region (NW of Rýmařov), vicinity of Opava, southeastern part of the Nížký Jeseník region and vicinity of Hranice, southeasternwards of Svitavy, region near Jihlava and northeasternwards of Znojmo.

Východní okraj Českého masivu se vyznačuje seismickou aktivitou, která se projevuje především v jeho severní části (Holub - Müller 1997, Kaláb et al. 1995,

Skácelová - Havíř 1999). Makroseismické projevy silnějších zemětřesení jsou z minulosti známy z okolí Opavy, Hrubého Jeseníku a na polském území z okolí Opole (např. Holub et

Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2000, Brno 2001