

HYDROTERMÁLNÍ MINERALIZACE NA LOKALITĚ PINDULA U FRENŠTÁTU POD RADHOŠTĚM (SLEZSKÁ JEDNOTKA, VNĚJŠÍ ZÁPADNÍ KARPATY)

HYDROTHERMAL MINERALIZATION AT THE LOCALITY PINDULA
NEAR FRENŠTÁT POD RADHOŠTĚM (SILESIAN UNIT, OUTER WEST CARPATHIANS)

MARTIN POLÁCH, ZDENĚK DOLNÍČEK, KAREL MALÝ

Abstract

Polách, M., Dolníček, Z., Malý, K., 2008: Hydrotermální mineralizace na lokalitě Pindula u Frenštátu pod Radhoštěm (slezská jednotka, Vnější Západní Karpaty). *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 93, 127-135.

Hydrothermal mineralization at the locality Pindula near Frenštát pod Radhoštěm (Silesian Unit, Outer West Carpathians)

Studied locality Pindula is situated in the Beskydy Mts. which are formed by the Silesian Unit. Dark clayey siderite (i.e., pelosiderite) concretions present in Lower Cretaceous grey claystones belonging to the Lhotka Formation host the hydrothermal mineralization. Occurrence of hydrothermal minerals is restricted only to "desiccation fissures" within the pelosiderite. The hydrothermal assemblage is very simple, composed of older siderite (showing identical chemical composition as the siderite in host pelosiderite) and younger brown calcite. Homogenization temperatures (T_h) of primary fluid inclusions hosted by calcite are between 54 and 105 °C and fluids have low salinities (0.9-1.9 wt. % NaCl equiv.). Chondrite-normalized REE pattern of calcite shows negative Eu anomaly indicating crystallization in reducing environment. Both siderite and calcite are characterized by positive calculated fluid $\delta^{18}\text{O}$ values (ca. +4 to +8 ‰ SMOW) and negative fluid $\delta^{13}\text{C}$ values (-18 to -21 ‰ PDB). The origin of the mineralization is evidently related to the diagenetic processes that took place in the host rocks.

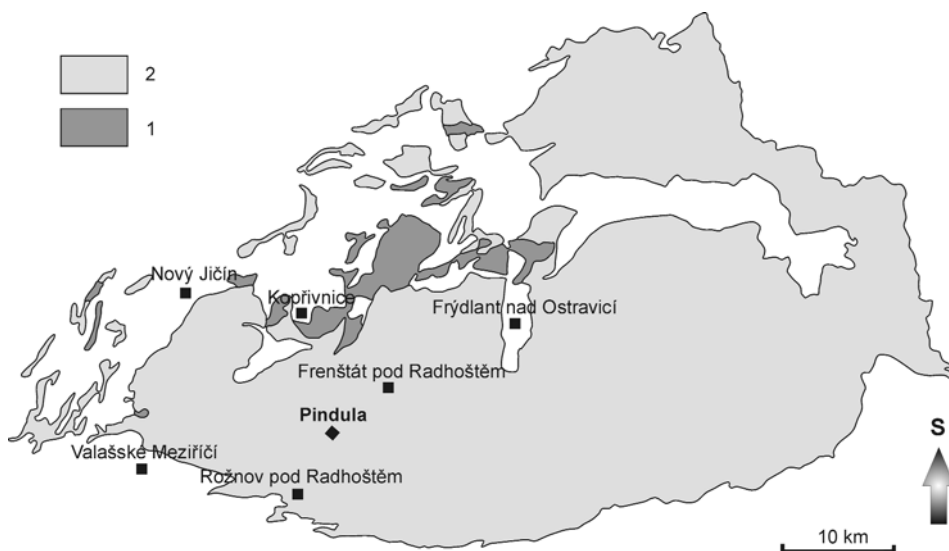
Key words: Silesian Unit, diagenetic mineralization, calcite, siderite, fluid inclusions, stable isotopes, REE
Martin Polách, Zdeněk Dolníček, Department of Geology, Faculty of Science, Palacký University, tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc, e-mail: Giraffe@seznam.cz; dolnicek@prfnw.upol.cz

Karel Malý, Muzeum Vysočiny, Masarykovo nám. 55, 586 01 Jihlava, Czech Republic, e-mail: maly-karel@post.cz

Úvod

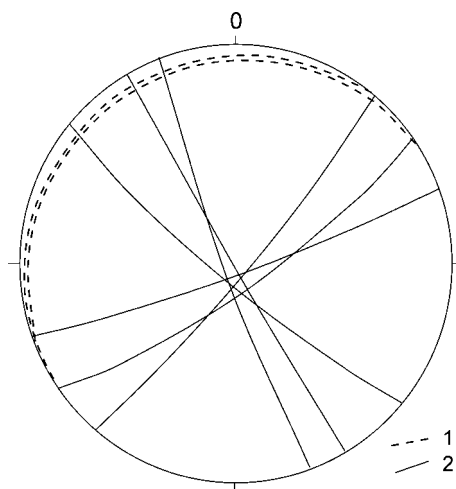
Studovaná lokalita se nachází ve východní části Moravskoslezských Beskyd poblíž Frenštátu pod Radhoštěm. Geologicky patří toto území do vnější skupiny příkrovů, konkrétně jde o slezskou jednotku. Na typické flyšové stavbě širšího okolí se podílí godulský vývoj, který je nejrozšířenějším vývojem v Moravskoslezských Beskydech a obsahuje kompletní vrstevní sled sedimentů od svrchní jury až po oligocén (ELIÁŠ 1998). Studovaná lokalita náleží do lhoteckého souvrství. Stáří hornin odpovídá spodnímu až svrchnímu albu (ELIÁŠ 2003).

Lokalita leží v sedle Pindula, asi 4 km jižně od Frenštátu pod Radhoštěm po státní silnici směrem do Rožnova pod Radhoštěm (obr. 1). Lokalitou je zářez bezejmenného po-



Obr. 1. Schématická geologická mapa slezské jednotky s vyznačenou lokalitou. Upraveno podle STRÁNÍKA *et al.* (1993). Vysvětlivky: 1 - bašský vývoj, 2 - godulský vývoj

Fig. 1. Schematic geological map of Silesian unit with marked studied locality. Modified from STRÁNÍK *et al.* (1993). Explanations: 1 - Baška Development, 2 - Godula Development.



Obr. 2. Obloukový diagram orientace vrstevnatosti (1) a nemineralizovaných puklin (2) pelosideritové čočky (spodní polokoule Lambertovy projekce).

Fig. 2. Arc diagram of orientation of strata (1) and non-mineralized cracks (2) of pelosiderite lens (lower hemisphere of Lambert's projection).

toka v jílovcích lhoteckého souvrství (GPS souřadnice lokality: N49° 30,401' E18° 11,391'). Plošný rozsah výchozu je max. 1,5×0,7 m. Převažují zde šedé jílovce, které jsou silně rozpukány. Ve dně potoka ojedinelé vystupují vůči erozi odolnější čočky tmavošedých pelosideritů, které jsou orientované paralelně s vrstevnatostí jílovců. Mocnost pelosideritových čoček se pohybuje od 8 do 11 cm. Směr pelosideritových čoček je SV-JZ a uklání se pod úhlem cca 8° k SZ. Charakteristický je kostkovitý rozpad pelosideritu podle systémů strmých puklin směru SV-JZ a SZ-JV (obr. 2).

Metodika

Materiál pro laboratorní výzkum byl získán v průběhu terénních prací. Níže uvedené údaje o chemismu minerálů se opírají o výsledky, které byly stanoveny elektronovou mikroskopií Cameca SX 100 na PřF MU v Brně. Analýzy byly provedeny ve WDX modu za použití urychlovacího napětí 15 kV a proudu 10 nA (operátor Mgr. M. Dosbaba). Jako standardy byly použity syntetické fáze a dobře definované minerály. Fluidní inkluze byly studovány pomocí optické mikrotermometrie na přístroji

LINKAM THMSG 600 na katedře geologie PrF UP Olomouc. Salinita fluid byla vypočítána dle BODNARA (1993). Stopové prvky byly analyzovány v laboratoři ACME ve Vancouveru v Kanadě metodami ICP-MS a ICP-AES. Materiál pro tuto analýzu byl vybrán ručně pod binokulární lupou. Velikost Eu anomálie byla vypočítána podle vzorce $Eu/Eu^* = Eu_{CN}/\sqrt{(Sm_{CN} * Gd_{CN})}$. Stanovení izotopového složení uhlíku a kyslíku karbonátů bylo provedeno v laboratoři ČGS v Praze pomocí hmotnostního spektrometru Finnigan MAT 251 (analytik Mgr. I. Jačková, RNDr. K. Malý, Ph.D.).

Charakteristika mineralizace

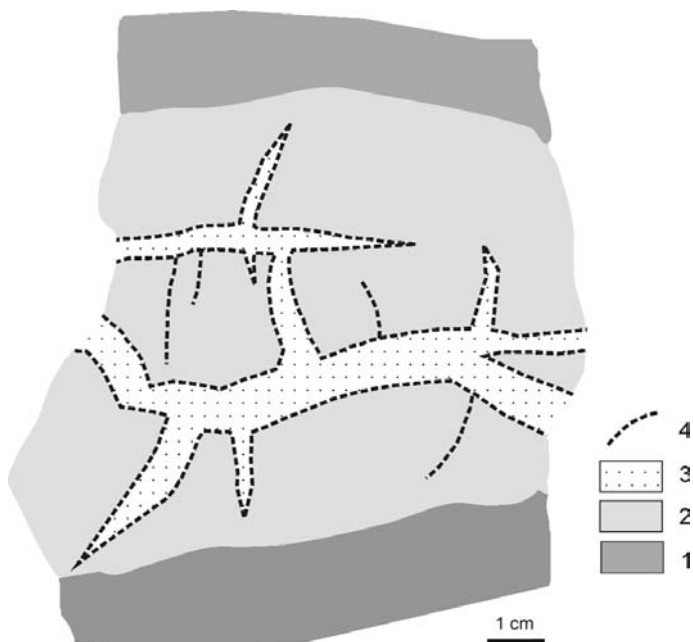
Na lokalitě jsou makroskopicky pozorovatelné hydrotermální žilky, které vyplňují tvarově velmi nepravidelné trhliny uvnitř pelosideritové čočky. Minerální výplně trhlín dosahují největších mocností uprostřed pelosideritové konkrce, směrem k jejímu okraji se postupně ztenčují a vyklíňují. Nikdy nepokračují až do okolních jílovců (obr. 3). Makroskopicky je pozorovatelný žlutý jemnozrný siderit, který je na okraji žilky, a hnědý hrubozrný kalcit, který tvoří zbylou podstatnou část žiloviny.

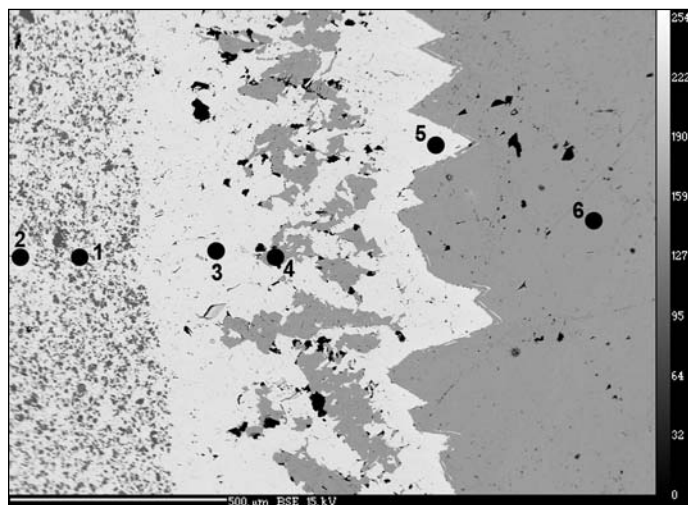
Mikroskopický popis

Okolní horninou je jemnozrný šedohnědý pelosiderit. Ve hmotě pelosideritu zcela převažuje siderit v podobě xenomorfně omezených izometrických žlutohnědých zrnků o velikosti do 0,02 mm. Místy dochází ke shlukování zrn sideritu do průhlednějších kulovitých struktur. Kromě toho obsahuje pelosiderit v menší míře i detritický křemen a jílové minerály. Ze sulfidů je přítomen pyrit, který je volně roztroušen v podobě xenomorfních zrn o velikosti max. 0,1 mm.

Hydrotermální žíly protínající pelosiderit jsou zpravidla tvořeny malým množstvím parageneticky staršího sideritu a objemově dominantním mladším kalcitem. Stěny žil jsou

Obr. 3. Schématický náčrt pozice hydrotermální mineralizace v pelosideritu. Řez kolmý k plochám vrstevnatosti. Vysvětlivky: 1 - jílovec, 2 - pelosiderit, 3 - kalcit, 4 - siderit.
Fig. 3. Schematic drawing of position of hydrothermal mineralization in pelosiderite. Section perpendicular to bedding. Explanations: 1 - claystone, 2 - pelosiderite, 3 - calcite, 4 - siderite.





Obr. 4. Analyzovaná místa na obrázku z elektronového mikroskopu (BSE). Zleva: matrix pelosideritu (1, 2), starší siderit ze žilky (3), inkluze kalcitu v sideritu (4), mladší siderit (5), kalcit v centrální části žilky (6). Foto M. Dosbaba.

Fig. 4. Analysed points on picture from electron microscope (BSE). From the left: matrix of pelosiderite (1, 2), older siderite from veinlet (3), inclusion of calcite in siderite (4), younger siderite (5), calcite from central part of the vein (6). Photo M. Dosbaba.

lemovány žlutohnědým sideritem, který roste směrem do středu žilky (obr. 4). Velikost protáhlých zrn sideritu je nejčastěji 0,5 mm (max. 0,7 mm). Na styku s okolní horninou jsou zrna podstatně menší – maximálně 0,1 mm. Směrem do středu žilky je siderit omezen vlastními krystalovými plochami. Siderity nezdávka obsahují četné drobné nepravidelné inkluze kalcitu. Mladší kalcitová výplň je tvořena xenomorfně až hypautomorfně omezenými zrny kalcitu. Zrna dosahují velikosti až 1 cm a mají typické dvojčatné lamelování. Větší zrna undulózně zhášeji.

Kromě siderit-kalcitových žilek jsou v pelosideritu přítomny i menší žilky, tvořené jen zrny sideritu. Mocnost těchto žilek se pohybuje do 0,35 mm.

Chemické složení karbonátů

Chemické složení karbonátů bylo studováno pomocí elektronové mikrosondy (tab. 1). Analyzovaná místa jsou vyznačena na fotografii obr. 4.

V sideritu základní hmoty pelosideritu jednoznačně převažuje sideritová komponenta nad ostatními karbonáty (v mol. %: siderit 74, kalcit 8, magnezit 10, rodochrozit 6). Siderity v žilkách vykazují velmi podobné složení jako mají siderity v základní hmotě pelosideritu (v mol. %: siderit 79, kalcit 7, magnezit 10, rodochrozit 4), což naznačuje možnou genetickou souvislost. Jediným rozdílem je mírně snížený obsah Mn u nejstaršího sideritu v žilce. Kalcity mají mírně zvýšené obsahy železa (1,28 hm. % FeO) a zejména manganu (2,80–3,06 hm. % MnO).

Fluidní inkluze

Siderity z pelosideritu ani siderity ze žilky neobsahovaly měřitelné fluidní inkluze.

Hnědý kalcit z výplně žilky obsahuje primární i sekundární fluidní inkluze. Primární inkluze mají oválně protáhlý, víceméně pravidelný tvar. Sekundární inkluze mají spíše ne-

Tabulka 1. Chemické složení karbonátů (analýzy v hm. %, vzorce přepočteny na 1 atom kyslíku). Čísla analýz odpovídají analyzovaným místům na obr. 5.

Table 1. Carbonate chemical composition (analyses in wt. %, formulas recalculated on 1 atom of oxygen). Analyse numbers refer to points in Fig. 5.

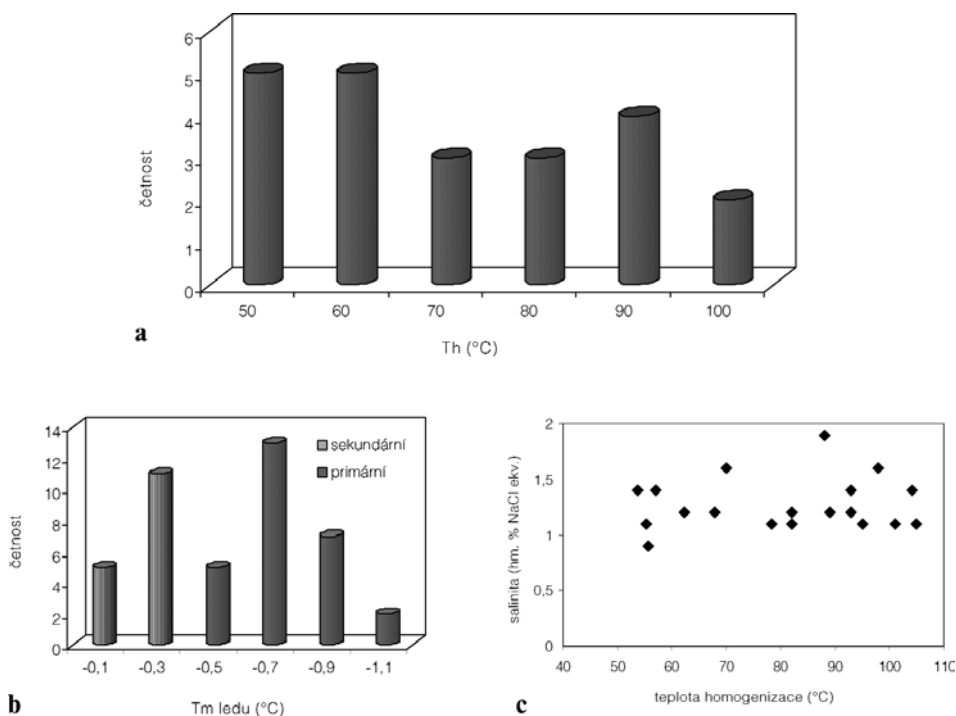
č. anal.	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	0,25	0,11	0,01	0,01	0,02	0,01
P ₂ O ₅	0,19	0,15	0,16	0,04	0,01	0,03
SO ₂	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00
CaO	4,12	4,03	3,69	53,36	3,97	51,56
FeO	47,80	49,06	51,41	1,28	50,18	1,29
MgO	3,76	3,75	3,68	0,14	3,50	0,30
MnO	4,22	3,55	2,22	2,80	3,64	3,06
SrO	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,08
ZnO	0,00	0,08	0,06	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
celkem	60,35	60,74	61,26	57,67	61,34	56,35
P ⁵⁺	0,003	0,002	0,002			
Ca ²⁺	0,081	0,079	0,072	0,938	0,078	0,928
Fe ²⁺	0,736	0,752	0,785	0,018	0,786	0,018
Mg ²⁺	0,103	0,102	0,100	0,003	0,096	0,008
Mn ²⁺	0,066	0,055	0,034	0,039	0,056	0,044
Sr ²⁺						0,001
Zn ²⁺		0,001	0,001			
celkem	0,989	0,991	0,996	0,998	1,016	0,999

pravidelné tvary. V kalcitu převládají jednofázové inkluze s kapalnou fází. V nevelikém počtu se vyskytují i dvoufázové inkluze typu L+V. Kapalná fáze v nich dominuje a zaujímá více než 95 % objemu inkluze. Velikost primárních inkluzí se pohybuje od 5 do 14 μm (nejčastěji kolem 10 μm). Sekundární inkluze jsou větší, velikost dosahuje až 22 μm. Teploty homogenizací (Th) se pohybují v rozmezí od 54 do 105 °C pro primární FI (obr. 5a). Při teplotách od -31,2 do -40,8 °C inkluze zamrzají (Tf). K tání posledního ledu (Tm) dochází při teplotách od -0,5 do -1,1 °C u primárních inkluzí. U sekundárních se hodnota Tm pohybuje od 0,0 do -0,4 °C (obr. 5b). Měřené hodnoty Tm ledu odpovídají salinitě mezi 0,9 a 1,9 hm. % NaCl ekv. u primárních inkluzí a 0,0–0,7 hm. % NaCl ekv. u sekundárních fluidních inkluzí (BODNAR 1993). V Th–Tm diagramu (obr. 5c) je patrný subhorizontální trend, typický pro (i) inkluze zachycené za proměnlivých teplotních podmínek; (ii) inkluze zachycené za proměnlivých tlakových podmínek; (iii) hydrotermální systémy, v nichž docházelo k mísení dvou fluid se stejnou salinitou a rozdílnou teplotou.

Stabilní izotopy uhlíku a kyslíku karbonátů

Izotopové analýzy byly provedeny u jednoho kalcitu a tří sideritů (tab. 2).

Hnědý kalcit pocházel ze stejného vzorku, v němž byly studovány i fluidní inkluze. Izotopová analýza stanovila hodnoty $\delta^{18}\text{O} = -8,6 \text{ ‰ PDB}$ a $\delta^{13}\text{C} = -18,5 \text{ ‰ PDB}$. Použí-



Obr. 5. Výsledky studia fluidních inkluzí v kalcitu z Pinduly. a - histogram homogenizačních teplot primárních L+V inkluzí, b - histogram teplot posledního tání ledu primárních a sekundárních FI, c - graf Th - salinita pro L+V inkluze.

Fig. 5. Results of microthermometry of fluid inclusions in calcite from Pindula. a - histogram of homogenization temperatures of primary L+V FI, b - histogram of melting temperature of the last ice in primary and secondary FI, c - Th - salinity plot for L+V FI.

tím homogenizačních teplot fluidních inkluzí a rovnice O'NEILA *et al.* (1969) vychází hodnota $\delta^{18}\text{O}$ matečných fluid mezi -0,5 a +6,0 ‰ SMOW. Hodnoty blízké 0 ‰ SMOW jsou charakteristické pro mořskou vodu, zatímco pozitivní hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ jsou obecně typické pro vody, které prodělaly významnější izotopovou výměnu kyslíku během interakcí s horninami (vody magmatické, metamorfní, diagenetické; SHEPPARD 1986). Vypočítané hodnoty $\delta^{13}\text{C}$ (HCO_3^-) fluida jsou velmi nízké, kolem -21 ‰ PDB, a jednoznačně indikují původ převážné části uhlíku v organické hmotě (s hodnotami $\delta^{13}\text{C}$ nejčastěji mezi -20 a -35 ‰ PDB).

Všechny tři analyzované siderity mají navzájem dosti podobné stanovené hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ (tab. 2). Mírně nižší hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ u sideritu z žilky mohou být zapříčiněny příměsí kalcitu v neodseparovatelných inkluzích (viz výše), případně mírně vyšší teplotou krystalizace (o cca 15 °C). U sideritů nejsou známy teploty krystalizace; pro orientační výpočet izotopového složení uhlíku a kyslíku fluida byl proto použit modelový teplotní interval 50–100 °C. Vypočtená hodnota $\delta^{18}\text{O}$ fluida (s použitím rovnice CAROTHERSE *et al.* 1988) se pohybuje podobně jako u kalcitu v pozitivních hodnotách, mezi +2 a +14 ‰ SMOW. Izotopové složení uhlíku (H_2CO_3) fluida pro teplotu 100 °C vychází mezi -18 a -20 ‰ PDB (s použitím grafu podle GOLYŠEVA *et al.* 1981 in ŽÁK a DOBEŠ 1991). Podobně jako u kalcitu, i u sideritu nasvědčují velmi nízké hodnoty $\delta^{13}\text{C}$ převaze uhlíku odvozeného z organické hmoty.

Tabulka 2. Izotopické složení uhlíku a kyslíku kalcitu a sideritu a jejich fluid z lokality Pindula. Analyzované vzorky: siderit 1 - střední část pelosideritové konkrce, siderit 2 - okraj pelosideritové konkrce, siderit 3 - drobné krystaly sideritu v žilce, kalcit - hnědý kalcit z centrální části žilky.

Table 2. Carbon and oxygen isotope composition of calcite and siderite and their fluids from locality Pindula. Samples analyzed: siderit 1 - central part of the pelosiderite concretion, siderit 2 - marginal part of the pelosiderite concretion, siderit 3 - small crystals of the siderite from vein, kalcit - brown calcite from central part of the vein.

	minerál			roztok		
	$\delta^{13}\text{C}$ (‰ PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW)	teplota (°C)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰ PDB)
siderit 1	-11,3	-0,3	30,6	50-100?	+4,1/+14,0	~19 (100 °C)
siderit 2	-12,5	-0,7	30,2	50-100?	+3,7/+13,6	~20 (100 °C)
siderit 3	-9,9	-2,4	28,5	50-100?	+2,0/+11,9	~18 (100 °C)
kalcit	-18,5	-8,6	22,1	54-105	-0,5/+6,0	-20,5/-21,7

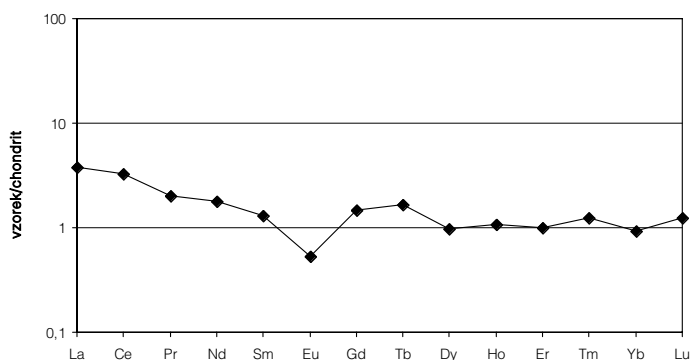
Stopové prvky

V hnědém kalcitu byly detekovány jen některé ze 45 analyzovaných stopových prvků (tab. 3). Výsledek ukazuje zvýšenou koncentraci pouze u Sr, méně potom u Ba, Y a REE. Ostatní prvky, zahrnující alkalické kovy, vzácné kovy i těžké kovy, jsou většinou pod detekčním limitem (v rozsahu 0,01 až 5 ppm) nebo jej jen o něco málo převyšují.

Distribuce prvků vzácných zemin normalizovaná na chondrit (obr. 6) má plochý průběh (nevyznačuje znaky obohacení). Zřetelná je negativní europiová anomálie ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,39$), která s největší pravděpodobností indikuje krystalizaci v redukčních podmínkách (HOVORKA a SUK 1988).

Tabulka 3. Obsahy stopových prvků v kalcitu. Všechny hodnoty jsou uvedeny v ppm, kromě Au, které je v ppb.
Table 3. Trace elements abundances in calcite. All values in ppm except Au in ppb.

Ba	42,1	Mo	0,1	Y	3,5
Be	<1	Cu	0,3	La	0,9
Co	<0,5	Pb	5,9	Ce	2,0
Cs	<0,1	Zn	2,0	Pr	0,18
Ga	0,5	Ni	0,3	Nd	0,80
Hf	<0,5	As	<0,5	Sm	0,19
Nb	<0,5	Cd	<0,1	Eu	0,03
Rb	<0,5	Sb	<0,1	Gd	0,29
Sr	244	Bi	<0,1	Tb	0,06
Ta	<0,1	Ag	<0,1	Dy	0,24
Th	0,1	Au	1,0	Ho	0,06
U	<0,1	Hg	<0,01	Er	0,16
V	<5	Tl	<0,1	Tm	0,03
W	<0,1	Se	<0,5	Yb	0,15
Zr	<0,5	Sn	<1	Lu	0,03



Obr. 6. Distribuce prvků REE v kalcitu (normalizováno na chondrit C1, ANDERS a GREVESSE 1989).
Fig. 6. Chondrite-normalized REE pattern of calcite (normalized by C1-chondrite, ANDERS and GREVESSE 1989).

Závěr

Hydrotermální mineralizace na lokalitě Pindula vyplňuje nepravidelné trhliny v pelosideritové čočce, uložené ve spodnokřídových tmavých jílovcích lhoteckého souvrství. Morfologie minerálních výplní je srovnatelná s typickými pelosideritovými „septáriemi“, známými z uhelných slojí. Minerální složení hydrotermální asociace je velmi jednoduché, tvořené starším sideritem (se stejným chemickým složením, jako má siderit v okolním pelosideritu) a mladším hnědým kalcitem. Fluidní inkluze v kalcitu mají nízké homogenizační teploty (54–105 °C) i salinity (0,9–1,9 hm. % NaCl ekv.). Kalcit má vyrovnanou chondritem normalizovanou distribuci REE a vykazuje negativní Eu anomálii, patrně v důsledku redukčních podmínek panujících při krystalizaci. Nízké vypočtené hodnoty $\delta^{13}\text{C}$ fluid (-18 až -21 ‰ PDB) indikují zdroj uhlíku převážně v organické hmotě. Pozitivní hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ fluid (cca +4 až +8 ‰ SMOW) nasvědčují významné interakci fluid s horninovým prostředím. Na základě podobnosti chemického i izotopového složení sideritu z vlastní hmoty pelosideritu a sideritu z mladších žilek lze usuzovat na podobnost podmínek jejich vzniku a vazbu na jeden a týž minerogenetický proces. Původ popisované mineralizace lze jednoznačně spatřovat v hydrotermálních roztocích, které byly generovány při diagenetické konsolidaci okolního horninového prostředí.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla finančně podpořena grantem GAČR 205/07/P130. Dále bychom rádi poděkovali Mgr. M. Dosbavovi (PřF MU Brno) za stanovení chemismu minerálů na mikrosondě a Mgr. I. Jačkové (ČGS Praha) za provedení izotopických analýz.

LITERATURA:

- ANDERS, E., GREVESSE, N., 1989: Abundances of the elements: Meteoritic and solar. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 197–214.
- BODNAR, R. J., 1993: Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O–NaCl solutions. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 683–684.
- CAROTHERS, W. W., ADAMI, L. H., ROSENBAUER, R. J., 1988: Experimental oxygen isotope fractionation between siderite-water and phosphoric acid liberated CO₂-siderite. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52: 2445–2450.
- ELIÁŠ, M., 1998: Geologický vývoj slezské a podslezské jednotky – dílčí zpráva pro úkol ČGÚ 2300. ČGÚ. Praha.
- ELIÁŠ, M., 2003: Úpravy litostratigrafického členění nižší části slezské jednotky na českém území (Vnější Západní Karpaty). – In: VAŠÍČEK, Z. (ed.): Sborník vědeckých prací VŠB-TUO, řada hornicko-geologická,

- monografie 8, *Biostratigrafie a litostratigrafie vybraných křídových vrstevních členů Vnějších Záp. Karpat*, pp. 7-13. VŠB – Technická univerzita. Ostrava.
- HOVORKA, D., SUK, M., 1988: Geochemie geologických procesů. SPN Praha.
- O'NEIL, J. R., CLAYTON, R. A., MAYEDA, T. K., 1969: Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates. - *J. Chem. Phys.*, 51: 5547-5558.
- SHEPPARD S.M.F., 1986: Characterization and isotopic variations in natural waters. - *Rev. mineral.*, 16: 165-183.
- STRÁNÍK, Z., MENČÍK, E., ELIÁŠ, M., ADÁMEK, J., 1993: Flyšové pásmo Západních Karpat, autochtonní mesozoikum a paleogén na Moravě a ve Slezsku. - In: PŘICHYSTAL, A., OBSTOVÁ, V., SUK, M. (eds.): *Geologie Moravy a Slezska*, pp. 107-122. Moravské zemské muzeum a Sekce geol. věd PFF MU. Brno.
- ŽÁK, K., DOBEŠ, P., 1991: Stable isotopes and fluid inclusion in hydrothermal deposits: The Příbram ore region. - *Rozpravy Československé akademie věd.*, 101, 5: 1-109. Praha.

