

## Fluidní inkluze v žilných mineralizacích z lomu Zámčisko (Hrubý Jeseník)

### Fluid inclusions in vein mineralizations from the quarry Zámčisko (Hrubý Jeseník Mts.)

LUCIE STEINEROVÁ\* A ZDENĚK DOLNÍČEK

Katedra geologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc;

\*e-mail: luciwe@seznam.cz

STEINEROVÁ L., DOLNÍČEK Z. (2014) Fluidní inkluze v žilných mineralizacích z lomu Zámčisko (Hrubý Jeseník). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 22, 2, 376-384. ISSN 1211-0329.*

#### Abstract

Fluid inclusions were studied in quartz-calcite-barite vein, "Alpine-type" vein, and metamorphic intrafolial quartz vein from the Desná gneisses in the quarry Zámčisko. Based on the measured microthermometric parameters the following fluid systems were distinguished: low-salinity H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-salt fluids, low-salinity to medium-salinity H<sub>2</sub>O-NaCl, and H<sub>2</sub>O-NaCl-CaCl<sub>2</sub> fluids. The H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-salt fluids were found only in primary fluid inclusions from the sample of gneiss-hosted quartz intrafolial vein and their trapping P-T conditions were estimated at 300 - 400 °C and 1.8 - 2.4 kbar; the fluids were probably generated during the retrograde phase of the Variscan metamorphism. The H<sub>2</sub>O-NaCl fluids were observed in all studied samples and were generated during the late stage of the Variscan metamorphism. The H<sub>2</sub>O-NaCl-CaCl<sub>2</sub> fluids occurring only in primary fluid inclusions in barite from the quartz-calcite-barite vein are probably pre-Variscan in age and their origin may be associated with sedimentary brines.

**Key words:** Silesicum, Desná unit, Zámčisko, vein barite mineralization, "Alpine-type" vein, fluid inclusions, microthermometry, P-T conditions

Obdrženo: 4. 4. 2014; přijato: 13. 10. 2014

#### Úvod

Lom Zámčisko se nachází v oblasti pohoří Hrubý Jeseník, nedaleko jeho nejvyššího vrcholu Praděd. Lom je budován především desenskými rulami a je pronikán bazickými žilnými horninami různých typů. Mineralogicky je lom znám výskytem několika typů žilných mineralizací včetně žil „alpské parageneze“, ložních žilek tvořených křemenem a žil křemen-karbonát-barytových (Fišera, Žáček 1989; Fojt et al. 1997; Steinerová 2013). Křemen-karbonát-barytová mineralizace není v této oblasti Hrubého Jeseníku příliš hojná, navíc mineralizace na Zámčisku má v porovnání s ostatními barytovými mineralizacemi v okolí neobvyklé minerální složení, a to zejména díky přítomnosti amfibolu, chloritu, stílnomelanu a ilvaitu. O podmínkách jejího vzniku dosud není příliš známo. Zdejší barytovou mineralizací se zabývali například Fojt et al. (1997). Popisují tuto mineralizaci jako žilý křemene a kalcitu, v mocnějších centrálních partiích s barytem, v jejichž okolí je bazická žilná hornina alterována. Morfologie žil a mikroskopická charakteristika minerálních agregátů podporuje názor o dílčím metamorfním přepracování (Fojt et al. 1997). Také Fišera, Žáček (1989) uvádějí, že mineralizace je svázána s procesy regionální metamorfózy, s metamorfní sekrecí a segregací. Fojt et al. (1997) předpokládají, že mineralizace má svůj zdroj v okolním horninovém prostředí (metasedimenty) a přijmeme-li hypotézu o mořském původu síry barytu, mineralizace je nejspíše mladší než střední silur.

Hojně jsou v lomu i postdeformační sekreční žilky „alpské mineralizace“ pronikající zdejšími desenskými

rulami i přítomným pegmatitem. Žilky jsou tvořeny především karbonátem a křemenem s hojnými povlaky chloritu po karbonátu (Fojt et al. 1997).

Cílem předložené práce je přinést prvotní genetická data na základě studia fluidních inkluzí v barytu, karbonátu (kalcitu) a křemeni a získaná data interpretovat směrem ke stanovení chemického složení fluid a podmínek jejich zachycení.

#### Geologické poměry

Okolí lokality Zámčisko, jež spadá pod geologickou jednotku desenské skupiny silezika (obr. 1), je tvořeno horninami desenské skupiny - biotitickou rulou s bazickými žilami (Fišera, Žáček 1989). Desenská skupina je tvořena krystalinickým prevariským fundamentem a devonskými metasedimentárními a metavulkanickými obaly (Krejzlíková et al. 2001). Je zde doložena existence tří obalů - tonalitového, granitového a leukogranitového (Hanžl et al. 2007). Signifikantním litologickým členem jsou i páskované magnetitové rudy uložené v biotitických pararulách (Kropáč et al. 2012). Horniny desenské skupiny byly metamorfovány původně v amfibolitové facii, během variské retrogradní metamorfózy byly původní minerální asociace ve velké míře odstraněny a nahrazeny minerálními asociacemi facie zelených břidlic (Cháb et al. 1984). Horninové prostředí studované lokality Zámčisko je tvořeno desenskými rulami s páskovanou i okatou texturou (Fojt, Kopa 1995) a pegmatitem. Rulami hojně pronikají křemenné ložní žilky. Směr foliačních ploch rul je Z - V s úklonem 19 - 30° k S (Fojt et al. 1997; Steinerová

vá 2013). Na lokalitě Zámčisko byly vyčleněny tři typy bazických žilných hornin - amfibolické, amfibol-biotitické a biotitické. Mocnost bazických žil je až 16.8 m, vůči rulám je bazická žíla mírně diskordantní (směr žíly je JJZ - SSV, úhel sklonu 35 - 70° k VJV). V bazickém žilném tělese je uložena křemen-karbonát-barytová mineralizace, směr i sklon bazické žilné horniny a křemen-karbonát-barytové mineralizace je obdobný. Hydrotermální žíla vykazuje zonálnost - baryt se kumuluje ve středních partiích žíly, zatímco křemen a karbonát v partiích okrajových. Okrajové partie žíly (karbonát, křemen) jsou postiženy pyritizací a kalcifikací. Další mineralizací v lomu Zámčisko jsou „alpské žilky“, jež jsou tvořeny převážně kalcitem, křemenem, chloritem a pyritem. Prostorová orientace žil alpského typu je shodná s barytovou mineralizací a bazickou žílou (Fojt et al. 1997).

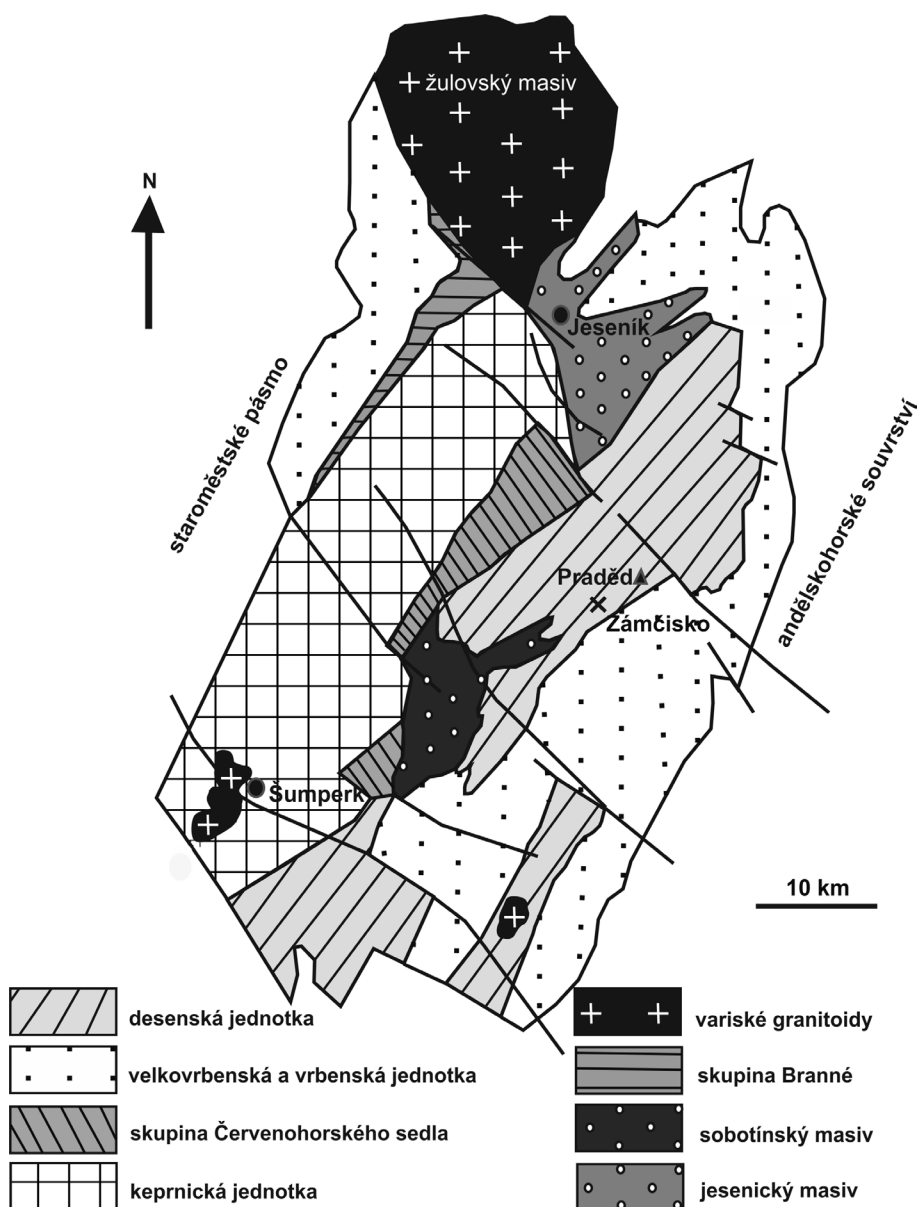
### Studované vzorky

Mikrotermometricky byly studovány tři vzorky - křemen-karbonát-barytová mineralizace (vzorek Z1), ložní křemenná žilka z desenské ruly (vzorek Z2) a žilka „alpské parageneze“ s křemenem a karbonátem (vzorek Z3).

Vzorek křemen-karbonát-barytové mineralizace byl odebrán ve druhé etáži lomu Zámčisko ze žíly o mocnosti až 60 cm. Tabulkovité agregáty hrubozrnného barytu jsou bílé barvy se skelným až perleťovým leskem a dosahují velikosti až 6 cm. Štěpné plochy barytu jsou mírně zprohýbané. Individua barytu jsou často obklopována krystaly karbonátu. Křemen je šedobílé barvy a zrna dosahují velikosti jednotek cm. Křemen se vyskytuje porůznu v podobě nepravidelných hnízd. Karbonát je zastoupen v mineralizaci nejhojněji, je bělavý, zakalený a jeho zrna dosahují velikosti do 1 cm. Baryt se soustřeďuje v centrálních partiích žíly, zatímco křemen a karbonát zejména v partiích okrajových, kde jsou hojně karbonátem uzavírány i krychle pyritu o velikosti až 1 cm a až 2 cm dlouhé jehlice a sloupečky aktinolitů.

Křemenná ložní žilka (vzorek Z2) pochází z desenské ruly. Křemen je našedlý, mocnost odebrané žilky je cca 1 cm. Textura žilné výplně je všesměrně zrnitá, kompaktní.

Vzorek žilky „alpské parageneze“ prorážející desenskou rulu (Z3) byl odebrán ze sutí pod stěnou lomu. Žilka je tvořena zejména křemenem a karbonátem. Křemen je šedobílé barvy, zakalený karbonát je bělavý až našedlý a narůstá na křemen. Karbonát se kumuluje pře-



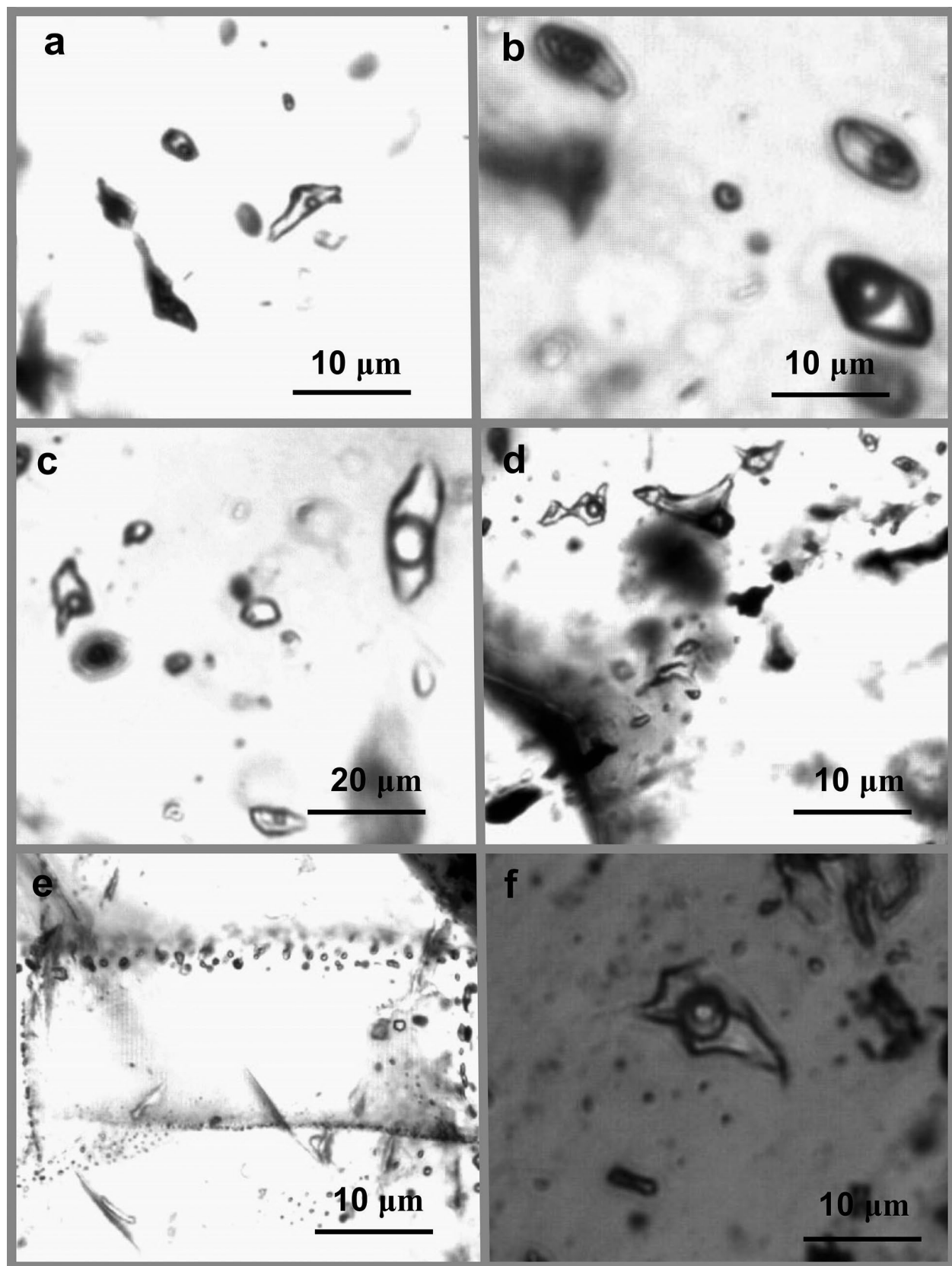
Obr. 1 Geologická pozice studované lokality v rámci slezicka (Svoboda et al. 1964, zjednodušeno).

vážně v centrálních částech žilek a křemen spíše v částech periferních. Chlorit tvoří nápadné jemnozrné povlaky tmavozelené až černé barvy. Hojná jsou i individua pyritu, která dosahují velikosti až 1 cm.

### Metodika

Pro studium fluidních inkluzí byly ze vzorků zhotoveny oboustranně leštěné destičky. U vzorků barytu byly navíc použity i štěpné úlomky. Oboustranně leštěné destičky byly pozorovány v polarizačním mikroskopu Olympus BX 50 v procházejícím světle. Při pozorování v mikroskopu byly sledovány následující vlastnosti fluidních inkluzí - tvar, velikost, distribuce a fázové složení. Byly odlišeny inkluze primární (P), pseudosekundární (PS) a sekundární (S) dle kritérií Zachariáše (2000). U všech studovaných fluidních inkluzí (dále též FI) byla detekována kapalná fáze (L - liquid), u většiny i plynná fáze (V - vapour).

Fluidní inkluze byly následně studovány mikrotermometricky. Mikrotermometrické parametry byly měřeny na



**Obr. 2** Příklady fluidních inkluzí ze studovaných mineralizací. a - dvoufázové primární FI v barytu z křemen-karbonát-barytové žíly, vzorek Z1; b - dvoufázové primární FI tvaru „negativního krystalu“ v křemeni z žíly „alpské parageneze“, vzorek Z3; c - primární FI tvořící shluk v křemeni „alpské žilky“, vzorek Z3; d - nepravidelné pseudosekundární FI tvořící řádky v křemeni z žilky „alpské parageneze“, vzorek Z3; e - sekundární FI tvořící protínající se řady v barytu z křemen-karbonát-barytové žíly, vzorek Z1; f - trojfázová primární FI v žilném křemeni v rule, vzorek Z2.

Katedře geologie PřF UP v Olomouci v termokomoře Linkam THMSG 600. Při kryometrických měřeních byly detekovány  $T_f$  - teplota zamrznutí FI,  $T_e$  - teplota iniciálního tání,  $T_{mHh}$  - teplota tání hydrohalitu,  $T_{mice}$  - teplota tání ledu,  $T_{mCO_2}$  - teplota tání  $CO_2$ ,  $T_{mcla}$  - teplota tání klatrátu. Metodou homogenizace byly měřeny  $T_h/T_{htot}$  - teploty totální homogenizace FI a  $T_{hcar}$  - teplota parciální homogenizace  $CO_2$ . U FI s malými plynovými bublinkami byla provedena jako první homogenizační měření a následně měření kryometrická. K interpretaci mikrotermometrických dat byl použit program Flincor (Brown 1989), pro vodné roztoky s kalibrací podle Zhanga a Frantze (1987) a pro fluida s  $CO_2$  podle Bowersa a Helgesona (1983). Salinity vodných FI byly vypočítány podle Bodnara (1993).

## Výsledky

### Petrografie fluidních inkluzí

Vzorky Z1, Z2 a Z3 byly studovány petrograficky v polarizačním mikroskopu. Z genetického hlediska byly rozlišeny všechny tři genetické typy fluidních inkluzí, a to primární (P), pseudosekundární (PS) i sekundární (S). Ve vzorku Z1 v barytu převažovaly inkluze P (obr. 2a) nad inkluzemi PS a S, v karbonátu tohoto vzorku převládaly jen pravděpodobně PS inkluze a v křemenu se vyskytovaly jen S inkluze. Ve vzorcích křemene Z2 a Z3 převládaly inkluze P. Vzorek karbonátu z žilky „alpské parageneze“ obsahoval převážně S inkluze malých rozměrů (1 - 4  $\mu m$ ). Průměrná velikost FI byla cca 10  $\mu m$ .

Primární FI studovaných vzorků byly nepravidelných tvarů, tvarů podlouhlých, místy měly tyto inkluze zašpičatělé výběžky na okrajích. Ve vzorcích křemenů (Z1, Z2)

se místy vyskytovaly primární FI tvaru „negativního krystalu“ (obr. 2b). Primární inkluze se vyskytovaly většinou soliterně a nahodile nebo se koncentrovaly ve shlucích často ve středech zrn (obr. 2c). Pseudosekundární FI byly situovány v krátkých a neprůběžných řádcích a jejich tvar byl plochý, oválný či nepravidelný s ostrými nebo nerovnými výběžky (obr. 2d). Sekundární inkluze tvořily různé dlouhé řady a řádky, které se často i protínaly navzájem nebo protínaly sousední zrna (obr. 2e). S inkluze byly hojně protažené paralelně se směrem mikrotrhlin, jejich tvar byl plochý a oválný.

Za laboratorní teploty se vyskytovaly FI jednofázové (kapalně, L), dvoufázové (plynokapalně, L+V) a ve vzorku Z2 v žilném křemenu i trojfázové (plynokapalně se dvěma kapalinami, L1+L2+V) (obr. 2f). Stupeň zaplnění (F) u vícefázových inkluzí byl v rozmezí 0.50 - 0.95, přičemž ve dvoufázových inkluzích byl F relativně stálý, zatímco u inkluzí trojfázových F kolísal. Nejčtenější hodnotou byl  $F = 0.90$ .

### Mikrotermometrie fluidních inkluzí

Celkem bylo provedeno mikrotermometrické studium 174 fluidních inkluzí. Naměřené mikrotermometrické parametry jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.

### Inkluze vodných roztoků

Fluidní inkluze zamrzaly v širokém intervalu teplot (-99.6 °C až -34.1 °C). Vymrznutí FI se projevovalo náhlým ztmavnutím obsahu inkluze a vznikem granulární struktury, u inkluzí dvoufázových i deformací nebo vymizením plynové bublinky. Teplota iniciálního tání (-60.1 °C až -20.1 °C) se vedle objevení se první kapalně fáze projevovала i zesvětlením a rekrystalizací obsahu FI.

**Tabulka 1** Výsledky mikrotermometrických měření pro fluidní inkluze vodných roztoků

vzorek	minerál	Geneze	fázové složení	$T_h$ (L) (°C)	$T_e$ (°C)	$T_{mice}$ ( $T_{mHh}$ ) (°C)
Z1	baryt	P	L+V	78/ 231	-60.1/ -48.9	-11.5 /-0.2 (-32.0/ -22.4)
Z1	baryt	PS-S(?)	L+V	99/ 226	-28.0/ -22.1	-12.2 /-1.3
Z1	baryt	S	L	n.a.	-25.1/ -21.9	-6.0/ -0.6
Z1	křemen	S	L/ L+V	160/ 191	-26.1/ -21.8	-8.4/ -1.3
Z1	karbonát	PS	L/ L+V	170/ 189	-27.4	-2.9/ -0.8
Z2	křemen	P	L+V	222/ 299	-28.7/ -20.9	-5.1/ -0.1
Z2	křemen	PS	L+V	261/ 270	-30.6/ -20.4	-5.0/ -0.1
Z2	křemen	S	L	n.a.	n.d.	-3.1/ -2.0
Z3	křemen	P	L+V	122/ 326	-32.0/ -20.1	-6.1/ -0.1
Z3	křemen	PS	L+V	218/ 236	-38.0/ -22.6	-3.1/ -0.1
Z3	křemen	S	L	n.a.	-26.6/ -26.0	-3.6/ -0.3
Z3	karbonát	P-PS(?)	L+V	179/ 182	n.d.	-4.1/ -0.1
Z3	karbonát	S	L/ L+V	168/ 180	-25.3/ -22.8	-2.2/ -0.1

Vysvětlivky: P - primární inkluze, PS - pseudosekundární inkluze, S - sekundární inkluze, L - kapalná fáze, V - plynná fáze, Th (L) - teplota homogenizace na kapalinu, n.a. - nelze aplikovat, n.d. - nestanoveno.

**Tabulka 2** Výsledky mikrotermometrických měření pro fluidní inkluze s  $CO_2$ , vzorek Z2, křemen, primární inkluze

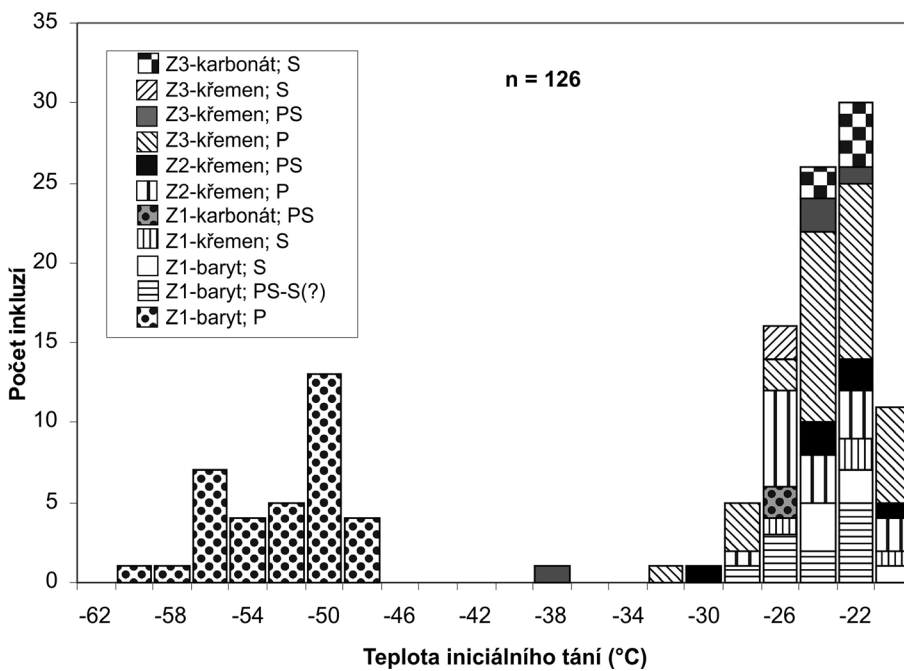
fázové složení	$T_{htot}$ (°C)	$T_{hcar}$ (°C)	$T_{mCO_2}$ (°C)	$T_e$ (°C)	$T_{mice}$ (°C)	$T_{mcla}$ (°C)
L+V/ L1+L2+V	305/ 399 (L)	29.9/31.2 (V)	-58.3/-56.6	-29.7/-21.9	-9.0/-1.9	+7.7/+9.4
L+V	386 (V)	30.9 (V)	-56.7	n.d.	n.d.	+7.1

Vysvětlivky: L - kapalná fáze, V - plynná fáze, (V) - homogenizace na plyn, (L) - homogenizace na kapalinu, n.d. - nestanoveno.

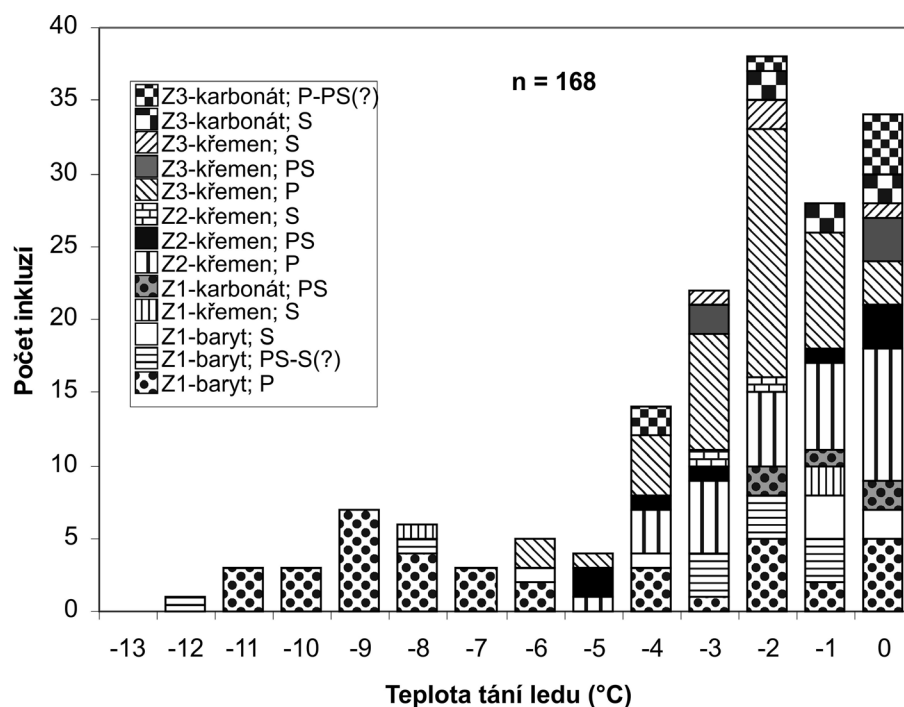
Teplota tání poslední pevné fáze (-12.2 °C až -0.1 °C) představuje vždy tání ledu. U některých dvoufázových FI bylo tání posledního krystalku ledu doprovázeno chaotickým „poskakováním“ plynné bubliny, která se při nižších hodnotách uchylovala k oválným bílým krystalkům ledu. Nejčtenější hodnoty  $T_{m_{ice}}$  byly zaznamenány od -3 °C do 0 °C. U pěti FI v barytu ze vzorku Z1 bylo změřeno tání hydrohalitu (-32 °C až -22.4 °C). Teplota homogenizace, při níž dochází k homogenizaci fází v jedinou, je v širokém intervalu (78 °C až 326 °C). V případě dvou FI došlo v křemenu ze vzorku Z2 k dekrepitaci inkluze před dosažením homogenizace.

### Inkluze s CO<sub>2</sub>

Vymrznutí dvoufázových a trojfázových P inkluzí ve vzorku křemene Z2 (-106.3 °C až -90.9 °C) se projevilo ztmavnutím obsahu inkluze a deformací plynné bublinky. Při zahřívání zamrznutých FI bylo sledováno  $T_{m_{CO_2}}$  (-58.3 °C až -56.6 °C) a  $T_e$  (-29.7 °C až -21.9 °C), kdy se obsah FI zjevně prosvětliil. Led tál jako předposlední fáze (-9.0 °C až -1.9 °C). Jako poslední fáze tál klatrát (7.1 °C až 9.4 °C). Při teplotě parciální homogenizace CO<sub>2</sub>, homogenizuje CO<sub>2</sub> fáze u všech FI na plyn (29.9 °C až 31.2 °C). Při měření teploty totální homogenizace homogenizovaly FI většinou na kapalinu (305 °C až 399 °C), v jednom případě i na plyn (386 °C).



Obr. 3 Histogram naměřených teplot iniciálního tání.



Obr. 4 Histogram naměřených teplot tání ledu.

### Diskuse - chemické složení fluid

#### Inkluze vodných roztoků

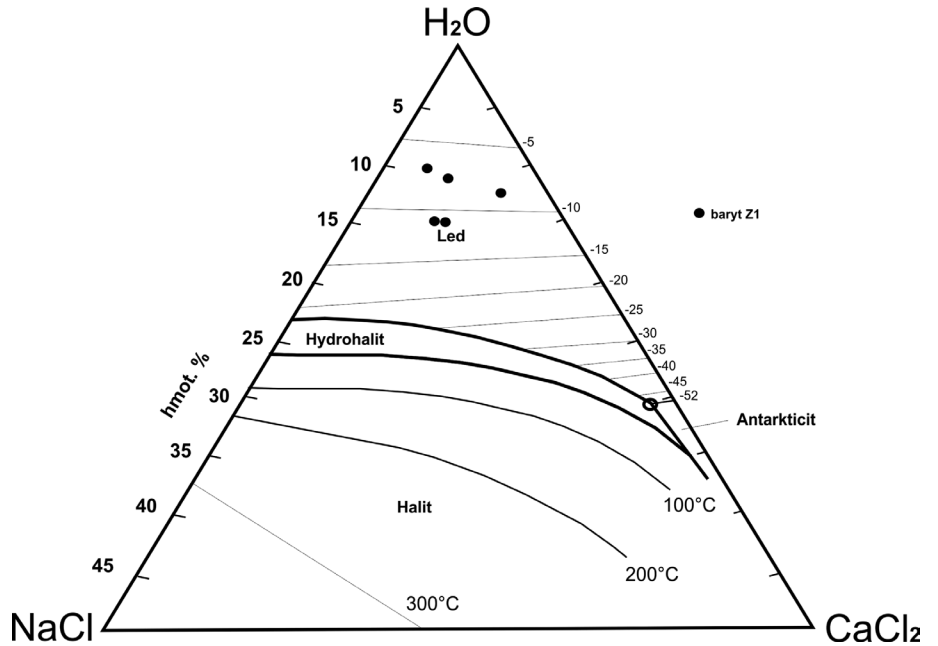
Dle teplot iniciálního tání lze v inkluzích identifikovat minimálně tři druhy vodných roztoků - roztoky s NaCl [ $T_e$  = -28.0/ -21.8 °C (vzorek Z1), -30.6/ -20.4 °C (vzorek Z2) a -29.8/ -20.1 °C (vzorek Z3)], dále roztoky s NaCl a CaCl<sub>2</sub> s  $T_e$  = -60.1/ -48.9 °C (vzorek Z1) a pravděpodobně roztoky s chloridy Fe či Mg s  $T_e$  = -32 °C a -38 °C (vzorek Z3) (Zachariáš 2000). Systém H<sub>2</sub>O-NaCl-CaCl<sub>2</sub> byl identifikován jen ve dvoufázových P inkluzích v barytu (vzorek Z1). Tento systém nebyl zaznamenán ani v ostatních genetických typech FI v barytu této mineralizace, ani v ostatních studovaných minerálech (vzorky Z1, Z2, Z3). Systém H<sub>2</sub>O-NaCl byl naproti tomu zaznamenán ve všech vzorcích (obr. 3).

Podle naměřených  $T_{m_{ice}}$  (obr. 4) je možno vypočítat salinitu FI. Zjištěný široký rozptyl hodnot  $T_{m_{ice}}$  nasvědčuje variabilitě salinit inkudovaných roztoků se systémem H<sub>2</sub>O-NaCl mezi 0.2 až 16.1 hmot. % NaCl ekv. U FI se systémem H<sub>2</sub>O-NaCl-CaCl<sub>2</sub> je salinita mezi 0.3 až 15.5 hmot. % NaCl ekv. Roztoky mají tedy nízkou až střední salinitu. S naměřenými hodnotami  $T_{m_{ice}}$  a  $T_{m_{Hh}}$  je možno vyjádřit vzájemné poměry NaCl a CaCl<sub>2</sub>. Projekce mikrotermometrických údajů do diagramu H<sub>2</sub>O-NaCl-CaCl<sub>2</sub> ukazuje, že poměry chloridů Na a Ca vykazují širší rozptyl. V jednom případě mírně převažuje CaCl<sub>2</sub>, v ostatních případech převažuje NaCl (obr. 5).

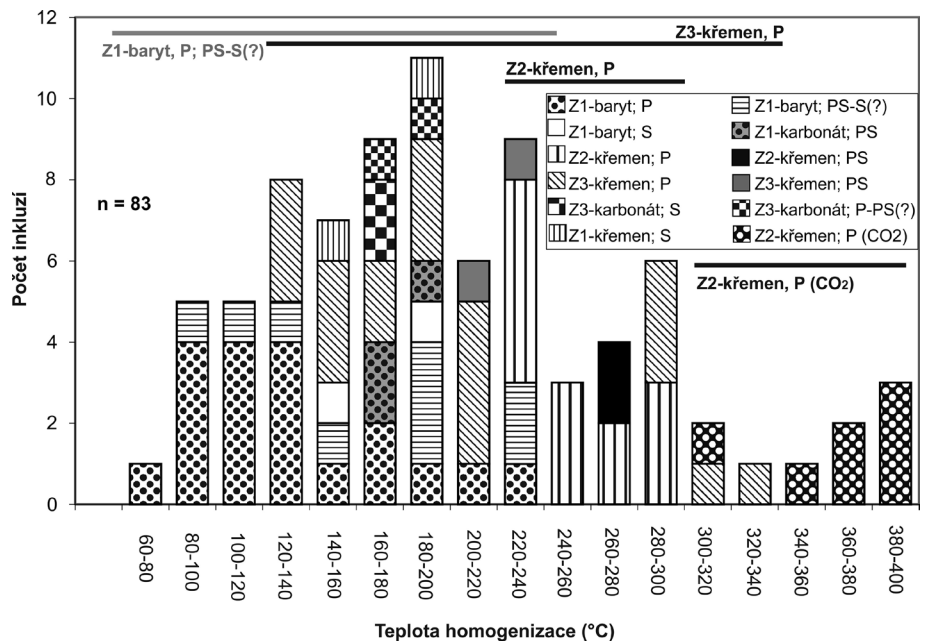
Teploty homogenizace vykazují široký rozptyl hodnot (obr. 6), což může být způsobeno volným chladnutím hydrotermálních roztoků v místě krystalizace vzorků, zachycením inkluzí z heterogenního fluida, změnou fázových poměrů v důsledku zaškrvcování inkluzí, porušením hermetičnosti inkluzí nebo zachycením inkluzí za proměnlivých tlakových podmínek (Zachariáš 2000).

Naměřené hodnoty  $T_h$  a  $T_{m_{ice}}$  byly vyneseny do diagramu (obr. 7), který umožňuje interpretovat trendy v mísení fluid. U P inkluzí v křemenu (vzorek Z2) a P inkluzí v barytu (vzorek Z1) je zřejmý trend izotermálního mísení různých salinálních fluid. Náznak shodného trendu lze pozorovat i u PS-S (?) inkluzí v barytu (vzorek Z1), S inkluzí v křemenu (vzorek Z1) a P-PS (?) inkluzí v karbonátu (vzorek Z3). U PS inkluzí (vzorky Z1, Z2, Z3) a S inkluzí v karbonátu (vzorek Z3) je patrné mísení fluid o obdobných salinitách i teplotách. U P inkluzí v křemenu (vzorek Z3) lze uvažovat o mísení fluid s variabilními salinitami i teplotami. Vlivem širokého rozptylu zjištěných salinit (hodnoty  $T_{m_{ice}}$  klesají až k 0 °C) je možno usuzovat na míchání solanek a meteorických vod.

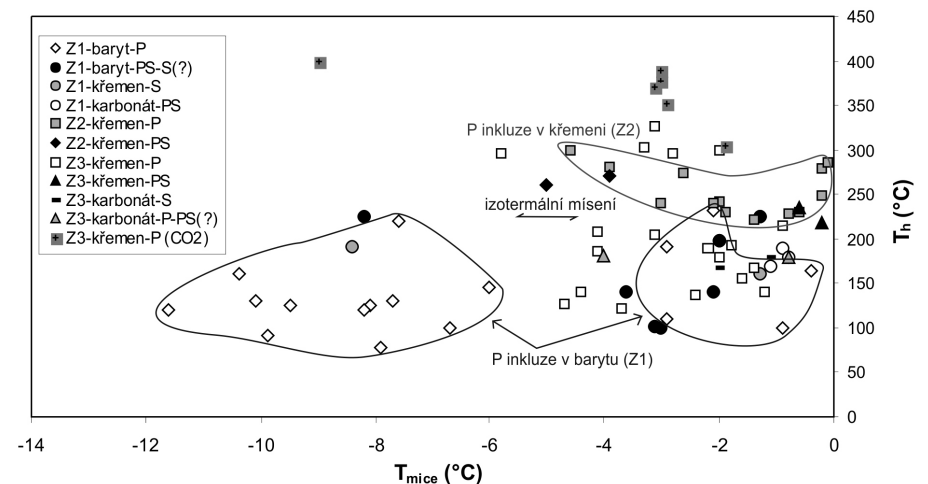
**Obr. 6** Histogram naměřených teplot homogenizace v inkluzích vodných roztoků a teplot totální homogenizace v inkluzích s CO<sub>2</sub>.



**Obr. 5** Projekce teplot tání ledu a teplot tání hydrohalitu do fázového diagramu systému H<sub>2</sub>O-NaCl-CaCl<sub>2</sub> (upraveno podle Shepherd et al. 1985 a Huraiové et al. 2002).



**Obr. 7** Diagram závislosti hodnot teplot homogenizace a teplot tání ledu.



### Inkluze s CO<sub>2</sub>

Fluidní inkluze obsahující CO<sub>2</sub> se nacházejí jen v P inkluzích v ložní žíle křemene z ruly (Z2). Zjištěné teploty iniciálního tání napovídají přítomnosti chloridu Na (-24.0 °C; -21.9 °C) a/nebo chloridu Mg (-29.7 °C) (Shepherd et al. 1985). Inkludovaná fluida jsou typu H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-soli. Výpočtem v programu Flincor, modelujeme-li složení fluida systémem H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl, bylo vypočítáno, že inkluze obsahují 84.2 - 95.1 mol. % H<sub>2</sub>O, 6.7 - 14.3 mol. % CO<sub>2</sub> a 1.5 - 1.6 mol. % NaCl. Hustota CO<sub>2</sub> fáze odpovídající naměřeným hodnotám Th<sub>car</sub> je v rozmezí 0.339 a 0.403 g/cm<sup>3</sup>.

Teplota tání CO<sub>2</sub> s hodnotou -56.6 °C indikuje čistý CO<sub>2</sub> bez příměsí jiných plynů. Snížené hodnoty Tm<sub>CO2</sub> (-58.3/ -56.7 °C) indikují přítomnost menšího množství i jiných plynů (CH<sub>4</sub> či N<sub>2</sub>) (Huraiová et al. 2002). Teploty Th<sub>car</sub> kolísají okolo hodnoty kritické teploty CO<sub>2</sub> (29.9 °C až 31.2 °C), lze tedy uvažovat i o příměsí H<sub>2</sub>S nebo vyšších uhlovodíků, které mají naopak vyšší kritickou teplotu než metan či dusík (Huraiová et al. 2002).

Salinita fluid vypočítaná na základě teplot tání klatrátu je 1.2 až 5.6 hmot. % NaCl ekv.

### Diskuse P-T podmínek

Inkluze s CO<sub>2</sub> byly patrně zachyceny za relativně vysokých teplot z heterogenního fluida, čemuž nasvědčují variabilita ve stupni zaplnění za laboratorní teploty (F = 0.50 - 0.80) i dva způsoby totální homogenizace (na kapalinu i na plyn). Tyto primární FI spolu vzájemně koexistují a tedy jsou stejně staré. Můžeme tedy usuzovat, že naměřené hodnoty totální homogenizace mohou odpovídat skutečným teplotám vzniku studované mineralizace, respektive zachycení fluid (Zachariáš 2000). Na obrázku 8 je čárkovane vymezeno pole elipsovitého tvaru pravděpodobných P-T podmínek zachycení FI s CO<sub>2</sub> v žilném

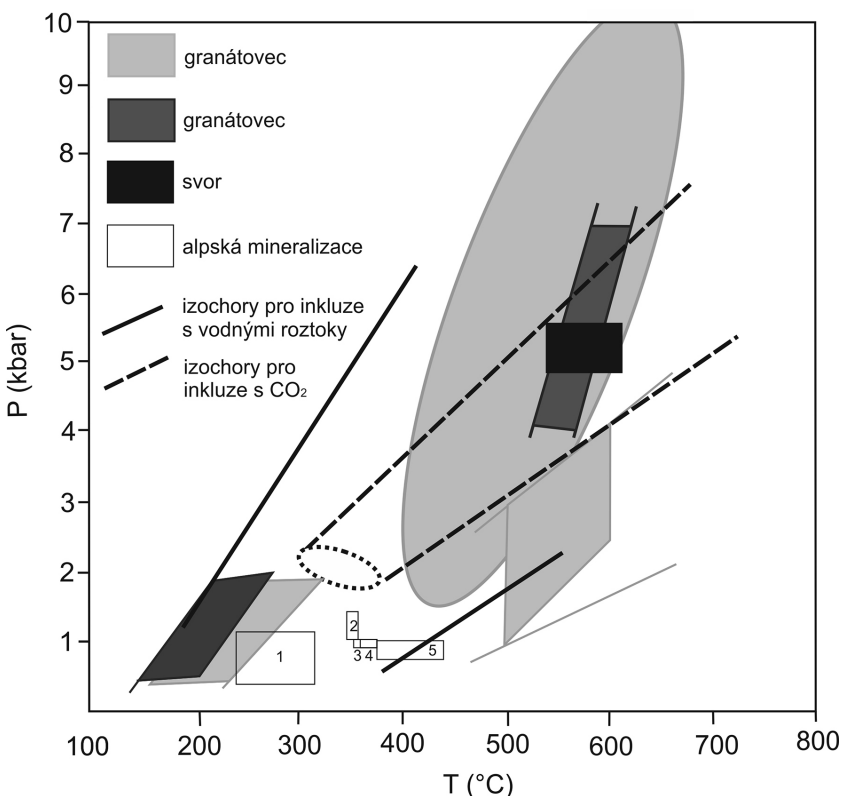
křemeni v desenské rule za teplot cca 300 až 400 °C a tlaků cca 1.8 až 2.4 kbar.

Inkluze vodných roztoků vykazují poměrně stálé fázové poměry a nejeví širokou variabilitu, byly tedy pravděpodobně zachyceny z homogenního fluida. Teploty vzniku mineralizace jsou tedy nejspíše vyšší než naměřené hodnoty Th (Huraiová et al. 2002). Pro zjištění P-T podmínek zachycení fluid by bylo nutno doplnit mikrotermometrické studium FI o další metody a použít nezávislé barometry či termometry (Zachariáš 2000).

Do P-T diagramu (obr. 8) byly zaneseny krajní izochory pro primární inkluze vodných roztoků vypočítané v programu Flincor dle rovnice Zhanga, Frantze (1987) a izochory pro primární inkluze s CO<sub>2</sub> vypočtené dle rovnice Bowerse, Helgesona (1983). Pro porovnání byly vyneseny P-T podmínky pro fluida inkludovaná v granátovcích z lokalit Hutisko a Hofberg (Kropáč et al. 2012) a P-T podmínky pro svory ze západní části desenské jednotky (Košuličová, Štípská 2007). Dále byly vyneseny P-T podmínky vzniku „alpské mineralizace“ na lokalitě Vernířovice a Hraběšice (Novotný, Zimák 2003; Kontár 2011). Vznik „alpských mineralizací“ je dle Novotného, Zimáka (2003) spojován s hydrotermálními procesy během retrogradní fáze variské metamorfózy. Průběh sestrojených izochor z lokality Zámčisko není v rozporu s citovanými výsledky. Vznik fluid s CO<sub>2</sub> je v dané oblasti všeobecně spojován s variskou metamorfózou (Novotný, Zimák 2003; Kontár 2011; Kropáč et al. 2012).

### Diskuse možného původu fluid

Fluida o nízké až střední salinitě systému H<sub>2</sub>O-NaCl byla popsána ve vzorcích žilných křemenů, karbonátů, barytů z řady lokalit v okolí - Zlatý Chlum, Zlaté Hory (Đurišová 1990), Žulová (Novotný, Dobeš 1999), Hraběšice (Kontár 2011), Stříbrník (Fojt et al. 1986). Fluida jsou ge-



**Obr. 8** Pozice izochor a pravděpodobných P-T podmínek na lokalitě Zámčisko. Izochory byly sestrojeny na základě výpočtu v programu Flincor, čárkovane znázorněny pravděpodobné P-T podmínky zachycení inkluzí s CO<sub>2</sub> v žilném křemeni z ruly (vzorek Z2). Srovnávací data z desenské skupiny: P-T podmínky vypočítané pro granátovce z lokalit Hutisko (tmavě šedá barva) a Hofberg (světle šedá barva) (Kropáč et al. 2012); P-T podmínky vypočítané pro svory ze západní části desenské skupiny (černá barva) (Košuličová, Štípská 2007); P-T podmínky vypočítané pro „alpské mineralizace“ z lokalit Vernířovice a Hraběšice (bílá barva) (Kontár 2011; Novotný, Zimák 2003). Pole č. 1 představuje P-T podmínky pro vznik „alpské mineralizace“ ve Vernířovicích a v Hraběšicích (Kontár 2011), pole č. 2-5 představují P-T podmínky pro vznik „alpských žil“ ve Vernířovicích (Novotný, Zimák 2003).

neticky spojována s variskou metamorfózou.

Fluida systému  $H_2O$ - $NaCl$ - $CaCl_2$  byla popsána ve vzorcích z lokalit Vidly, Černá Voda (Ďurišová 1990), Žulová (Ďurišová 1990; Kontár 2011), Vernířovice (Kontár 2011) a Horní Lipová (Dolníček et al. 2006). Fluida jsou autory interpretována jako povariská.

Fluida s  $CO_2$  byla zjištěna na řadě lokalit - Zlatý Chlum, Zlaté Hory, Vidly, Suchá Rudná (Ďurišová 1990; Fojt et al. 2012), Vernířovice (Novotný, Zimák 2003; Kontár 2011), Hraběšice (Kontár 2011), Hutisko a Jelení hřbet (Kropáč et al. 2012). Hodnoty teplot totální homogenizace se pohybují v rozpětí 250 °C až 400 °C, což je ve shodě se zkoumanou lokalitou Zámčisko (cca 300 °C až 400 °C). Největší podobnost lze konstatovat s fluidy v křemenu z lokality Vernířovice - Mísečky (Novotný, Zimák 2003), kterou autoři spojují s hydrotermálními procesy během retrogradní fáze variské metamorfózy.

Při srovnání s barytovými mineralizacemi v Českém masivu vykazuje studovaná žilná barytová mineralizace z pohledu inkluzí podobné parametry jako povariské fluorit-barytové mineralizace brněnského masivu a svratecké klenby moravika (Dolníček 2004) či pozdně variské mineralizace s barytem a fluoritem z Krkonoš (Harrachov), Podještědí (Křižany), Krušných Hor (Moldava, Mackov), Orlických Hor (Bohousová) a ze Železných Hor (Běstvína) (Žák et al. 1990). Povariské mineralizace z Drahanuské a Zábřežské vrchoviny (Halavínová 2005) či Nížkého Jeseníku (Dolníček et al. 2009; Kučera 2009) s fluidy s chloridy  $Na$  i  $Ca$  vykazují nižší homogenizační teploty a vyšší salinity roztoků. Vznik solanek je zmiňovanými autory spojován s procesy evaporace mořské vody či rozpouštěním evaporitů a následnou migrací fluid. S mořskou proveniencí fluid by byly zcela v souladu i hodnoty  $\delta^{34}S$  barytů uváděné Fojtem et al. (1997). Naměřené vyšší homogenizační teploty z lokality Zámčisko mohou být zapříčiněny křehkostí barytu a jeho náchylností k postdepozicičnímu porušení FI (Žák et al. 1990); naměřené nižší salinity mohou být ovlivněny mícháním solanek s meteorickou vodou.

Fluida v primárních inkluzích v barytu ( $H_2O$ - $NaCl$ - $CaCl_2$ ) nesou znaky povariských fluid, avšak fluida  $H_2O$ - $NaCl$  vzniklá při variské metamorfóze jsou mladší (přítomna v PS a S inkluzích). Baryt je tedy patrně prevariského až pozdně variského stáří. Toto zjištění odpovídá názoru Fojta et al. (1997), že barytová mineralizace byla částečně metamorfózně přepracována. Metamorfózní postížení mineralizace nasvědčuje i přítomnost takových minerálů, jako je aktinolit, chlorit, stilpnomelan, ilvait a barnaté živce (Fojt et al. 1997).

## Závěr

Fluidní inkluze na lokalitě Zámčisko byly studovány v barytu, karbonátu a křemenu z křemen-karbonát-barytové žilné mineralizace, v křemenu z ložní křemenné žily v desenské rule a v křemenu a karbonátu ze žil „alpské mineralizace“. Byly odlišeny fluidní systémy typu  $H_2O$ -soli a  $H_2O$ - $CO_2$ -soli. Vzorek křemen-karbonát-barytové mineralizace obsahuje fluida charakteru vodných roztoků ( $H_2O$ - $NaCl$ - $CaCl_2$ ,  $H_2O$ - $NaCl$ ); vzorek ložní křemenné žilky obsahuje inkluze vodných roztoků ( $H_2O$ - $NaCl$ ) i inkluze s  $CO_2$  ( $H_2O$ - $CO_2$ - $NaCl$ ); vzorek „alpské mineralizace“ obsahuje pouze inkluze vodných roztoků ( $H_2O$ - $NaCl$  + pravděpodobná přítomnost chloridů  $Mg$  či  $Fe$ ).

Salinita vodných fluid je nízká až střední (do cca 16 hmot. %  $NaCl$  ekv.). Minimální možné teploty zachycení inkluzí jsou 78 - 326 °C. Patrně pozdně variská fluida

$NaCl$ - $H_2O$  jsou mladší než prevariská / pozdně variská fluida  $NaCl$ - $CaCl_2$ - $H_2O$ , jejichž původ může být spojován se sedimentárními solankami.

Salinita fluid s  $CO_2$  je nízká (do cca 6 hmot. %  $NaCl$  ekv.). Fluida obsahují 84.2 - 95.1 mol. %  $H_2O$ , 6.7 - 14.3 mol. %  $CO_2$  a 1.5 - 1.6 mol. %  $NaCl$ . Hustota  $CO_2$  fáze se pohybuje mezi 0.339 a 0.403 g/cm<sup>3</sup>. Kromě  $CO_2$  jsou v malém množství přítomny i inkluzích pravděpodobně i jiné plyny, a to  $CH_4$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$  či vyšší uhlovodíky. Inkluze byly zachyceny pravděpodobně z heterogenního fluida, tudíž naměřené  $Th_{tot}$  mohou představovat skutečné teploty zachycení inkluzí (cca 300 - 400 °C, za tlaku 1.8 - 2.4 kbar). Jedná se pravděpodobně o fluida generovaná během retrogradní fáze variské metamorfózy.

## Poděkování

Autoři děkují oběma recenzentům (J. Zachariáš a P. Pauliš) za připomínky, které přispěly k vylepšení rukopisu. Studium fluidních inkluzí bylo podpořeno projektem IGA UP PŘF 2014019.

## Literatura

- Bodnar R. J. (1993) Revised equation and table for determining the freezing point depression of  $H_2O$ - $NaCl$  solutions. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57, 683-684.
- Bowers T. S., Helgeson H. C. (1983) Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the system  $H_2O$ - $CO_2$ - $NaCl$  on phase relations in geologic systems: equation of state for  $H_2O$ - $CO_2$ - $NaCl$  fluids at high pressures and temperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta* 47, 1247-1275.
- Brown Ph. E. (1989) FLINCOR: A fluid inclusion data reduction and exploration program. *Second biennial Pan-American conference on research on fluid inclusions, program with abstracts*, 14.
- Dolníček Z. (2004) Mineralogie a podmínky vzniku fluoritových a barytových mineralizací brunovistulika. *MS, disertační práce, PŘF MU Brno*.
- Dolníček Z., Fojt B., Nepejchal M., Škoda R. (2006)  $Cu$ - $Pb$  mineralizace v lomech krystalického vápence a v širším okolí obce Lipová-lázně (silezikum). *Čas. Slez. Muz. A* 55, 105-123.
- Dolníček Z., Fojt B., Prochaska W., Kučera J., Sulovský P. (2009) Origin of the Zálesí U-Ni-Co-As-Ag/Bi deposit, Bohemian Massif, Czech Republic: fluid inclusion and stable isotope constraints. *Mineral. Deposita* 44, 1, 81-97.
- Ďurišová J. (1990) Charakteristika nerostotvorného prostředí na vybraných lokalitách Jeseníků na základě studia fluidních inkluzí. *Sbor. Geol. Věd, Ložisk. geol. mineral.* 29, 167-186.
- Fišera M., Žáček V. (1989) Barytová žíla z lomu Zámčisko od Koutů nad Desnou. *Čas. Mineral. Geol.* 34, 327-328.
- Fojt B., Dolníček Z., Nepejchal M. (2012) Zlato v křemenných žilách lokalit Hlávka a Vysoká Hora - severní část revíru Andělská Hora. *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.* 97, 2, 47-67.
- Fojt B., Ďurišová J., Hladíková J., Kopa D., Skácel J., Šmejkal V., Zimák J. (1986) Paragenetická studie měďnorudného výskytu „Stříbrník“ u Nýznerova. *Čas. Slez. Muz. (A)* 35, 2, 143-169.
- Fojt B., Hladíková J., Kopa D., Krausová D., Sulovský P., Vávra V., Zeman J., Zimák J. (1997) Minerální a horninová asociace z lomu Zámčisko, Hrubý Jeseník. *Čas. Slez. Muz., Vědy přír.* 46, 235-264.



- Fojt B, Kopa D. (1995) Kalcit-barytová žíla a její horninové prostředí z lokality Zámčisko, Hrubý Jeseník. *Geol. výzk. Mor. Slez. v R. 1994, 2, 83-84.*
- Halavínová M. (2005) Genetická charakteristika hydrotermální mineralizace v klastických horninách spodního karbonu Drahanské a Zábřežské vrchoviny. *MS, diplomová práce, PřF MU Brno.*
- Hanžl P., Janoušek V., Žáček V., Wilimský D., Aichler J., Erban V., Pudilová M., Chlupáčová M., Buriánková K., Mixa P., Pecina V. (2007) Magmatic history of granite-derived mylonites from the southern Desná Unit (Silesicum, Czech republic). *Mineral. Petrol. 89, 45-75.*
- Huraiová M., Hurai V., Slobodník M. (2002) Základy štúdia fluidných inklúzií v mineráloch. *PřF MU.*
- Cháb J., Fišera M., Fediuková E., Novotný P., Opletal M., Skácelová D. (1984) Problémy tektonického a metamorfního vývoje východní části Hrubého Jeseníku. *Sbor. geol. Věd, Geol. 39, 27-72.*
- Kontár M. (2011) Kontrastní typy fluid v inkluzích křemenů z alpské parageneze z oblasti sobotínského masivu. *Geol. výzk. Mor. Slez. 2, 138-142.*
- Košuličová M., Štípská P. (2007) Variations in the transient prograde geothermal gradient from chloritoid-staurolite equilibria: a case study from the Barrovian and Buchan-type domains in the Bohemian Massif. *J. Metamorph. Geol. 25, 1, 19-36.*
- Krejzlíková L., Schulmann K., Lardeaux J.-M., Štípská P., Lexa O., Gardien V. (2001) Metamorphic zonation of the Jeseník Amphibolite Massif and its influence on deformation of amphibolites during folding. *Geolines 13, 84.*
- Kropáč K., Buriánek D., Zimák J. (2012) Origin and metamorphic evolution of Fe-Mn-rich garnetites (coticules) in the Desná Unit (Silesicum, NE Bohemian Massif). *Chem. Erde - Geochem. 17, 219-236.*
- Kučera J. (2009) Povariské paleofluidní systémy v karbonických sedimentech Moravsko-slezského paleozoika. *MS, disertační práce, PřF MU Brno.*
- Novotný P., Dobeš P. (1999) Žulová - Korálové jámy. Část II. Výzkum fluidních inkluzí. *Geol. výzk. Mor. Slez. v R. 1998, 116-119.*
- Novotný P., Zimák J. (2003) Puklinová mineralizace alpského typu na lokalitách „Mísečky“ a „Černý důl“ u Vernířovic. *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol. 88, 123-138.*
- Shepherd T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. M. (1985) A practical guide to fluid inclusion studies. *Blackie, Glasgow and London.*
- Steinerová L. (2013) Fluidní inkluze v barytové mineralizaci z lomu Zámčisko (Hrubý Jeseník). *MS, bakalářská práce, PřF UP Olomouc.*
- Svoboda J., Beneš K., Dudek A., Holubec J., Chaloupský J., Kodym O. ml., Malkovský M., Odehnal L., Polák A., Pouba Z., Sattran V., Škvor V., Weiss J. (1964) Regionální geologie ČSSR I, Český masív, Krystalinikum. *ÚÚG Praha.*
- Zachariáš J. (2000) Úvod do studia plynokapalných inkluzí. *PřF UK Praha.*
- Zhang Y. G., Frantz J. D. (1987) Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O using synthetic fluid inclusions. *Chem. Geol. 64, 335-350.*
- Žák K., Čadek J., Dobeš P., Šmejkal V., Reichmann F., Vokurka K., Sandstat J. S. (1990) Vein barite mineralization of the Bohemian Massif: Sulfur, oxygen and strontium isotopes and fluid inclusion characteristics and their genetic implications. *Proceedings of the symposium on barite and barite deposits, 35-49.*