

KONTRASTNÍ TYPY FLUID V INKLUZÍCH KŘEMENŮ Z ALPSKÉ PARAGENEZE Z OBLASTI SOBOTÍNSKÉHO MASIVU

Contrast types of fluids in inclusions of the quartz from the Alpine paragenesis of the Sobotín Massif

Martin Kontár

Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: 175787@mail.muni.cz

(14-42 Rýmařov)

Key words: Silesicum, quartz, fluid inclusions, fluids

Abstract

Vernířovice and Krásné u Hraběšic as famous sites with quartz crystals are located in the Silesicum, in close proximity, respectively inside the Sobotín Massif. Occurrences of low-temperature mineral association, connected with metamorphism of the Late Variscan age, are known at the both sites. Quartz crystals were studied using fluid inclusions. Complex aqueous systems up to 5 mass % NaCl with CO₂ were recorded at both locations. Due to the petrography – distinct ratios of aqueous solution and CO₂ of fluid inclusions can be assumed that the crystals were formed from a heterogeneous fluid. The temperature and pressure of crystal forming were estimated at cca 240–310 °C and 40–110 MPa with respect to the $T_{h,tot}$ in the range 220–315 °C. The presence of high saline solution with CaCl₂ in inclusions is most likely interpreted as secondary fluids trapped in quartz. This type of fluids is defined as Post Variscan in the region.

Úvod

Studované lokality leží v sileziku, spadají do desenské skupiny, jež patří k předdevonskému patru silezika. V okolí sobotínského bazického masivu jsou známé výskyty s „alpskou paragenézou“. Horninové prostředí v okolí těchto výskytů je tvořeno převážně monotónními biotitickými a dvojslídnyými rulami, místy s pestřejšími vložkami, např. amfibolity, kvarcity, popř. erlány.

Vernířovice

Místo odběru vzorků je situováno cca 3 km vsv. od kostela ve Vernířovicích, na z. svahu Břidličné hory (1 358 m n. m.), v místě nazývaném Mísečky. Sládek (1973) popisuje až 15 cm velké krystaly křišťálů, jež se nejčastěji vyskytovaly v puklinách na chloritických rulách a horninách sobotínského bazického masivu. Tento se většinou stýká s předdevonskými faciemi silezika, a tak nelze vyloučit větší než paleozoické stáří některých jeho členů.

Při průzkumu roku 1895 zde Kretschmer odkryl puklinu porostlou křišťály 2–7 cm velkými. Na spodu pukliny pak ležely volné krystaly křišťálů až 14 cm dlouhé. Křišťály jsou doprovázeny převážně albitem, periklinovými srostlicemi, tabulkovitým černozeleým chloritem a světle žlutými krystaly titanitu až 0,5 cm velkými (Sládek 1973).

Krásné u Hraběšic

Minerály se nachází v lomu ležícím na sv. okraji osady Krásné, cca 4,5 km v. od Šumperka. Nej kvalitnější vzorky jsou spjaté převážně s polohami amfibolitů, případně jejich kontakty s biotitickými rulami. Tato lokalita je známá bohatším společenstvím minerálů alpské paragenéze (Staněk 1997).

Základní mineralogická charakteristika byla zpracována Sládkem (1973). Minerální asociace je tvořena především povlakem epidotu, titanitem, pyritem, chalkopyritem,

kalcitem, žilným křemenem a drobnými křišťalovými krystaly. Menší hnízda, jež se vyskytují v amfibolitu, pak bývají zcela vyplněna živcem a křemenem s epidotem, tmavozeleným až černým chloritem. Mezi významné nálezy se řadí např. až 16 cm dlouhé a 4 cm silné krystaly křišťálu, z nichž měly některé povlak z chloritu, případně chlorit vrostlý. Bohatší asociace, vázané na pukliny a menší dutiny, byly v lomu v Krásném nalezeny v první polovině 60. let 20. století. V nedávné době byly spolu se zeolity nalezeny rovněž velké krystaly křemene, s oboustranným ukončením, porušené naleptáním či zvětráváním (Morávek – ústní sdělení).

Dat ze studia fluidních inkluzí na těchto mineralizacích je poměrně málo. Vlastnosti fluidních inkluzí v blízkosti této lokality studoval P. Dobeš (Novotný – Zimák 2003). Fluidní inkluze studoval na šesti vzorcích tří lokalit, konkrétně se jednalo o dva vzorky z lokality Mísečky–„Hackschüssel“, dva vzorky z lokality Mísečky–sever a dva vzorky z lokality Schwarzgraben–Černý důl. Závěr této studie poukazuje na přítomnost fluidních inkluzí typu H₂O-CO₂-NaCl s T_h 330 až 380 °C a relativně nízkou salinitou vodné fáze, v rozmezí 1–5 hmot. % NaCl ekv. Stejní autoři studovali rovněž vzorky z kalcitu, v němž pozorovali inkluze s vodným roztokem a vysokou salinitou, jež se pohybovala mezi 17–19 hmot. % NaCl ekv.

Metodika

Pro mikrotermometrické studium byly z křišťalových křemenů zhotoveny oboustranně leštěné destičky o tloušťce 0,1–0,3 mm. Pro pozorování inkluzí byl používán mikroskop značky Nikon typového označení Eclipse 80i, jenž je opatřen pěticí objektivů Nikon LU PLAN ELWD. Mikroskop byl opatřen termometrickou komorou nesoucí označení THMSG 600. Jedná se o komoru umožňující používat teploty až do 600 °C. Aparatura byla

kalibrována pro teploty mezi -56,6 °C až 374,1 °C pomocí syntetických fluidních inkluzí. Jedná se o standardy CO₂ (T_m CO₂ = -56,6 °C), H₂O-NaCl (T_e = -21,2 °C), H₂O-KCl (T_e = -10,7 °C) a H₂O (T_m ice = 0,0 °C; T_{krit} = 374,1 °C). Přesnost měření je ± 0,2 °C při teplotách pod 0 °C a ± 1 °C při teplotách nad 0 °C.

Na vzorcích byly měřeny následující parametry: $T_{h\ tot}$ – teplota totální homogenizace, T_h – teplota homogenizace, T_m CO₂ – teplota tání CO₂, (T_m ice – teplota tání ledu, T_m hh – teplota tání hydrohalitu, T_m cla – teplota tání klatrátu CO₂, T_e – teplota eutektika, T_f – teplota finálního vymražení, F – (udává míru zaplnění inkluze, $F = L / L + V$ nebo $VCO_2 + LCO_2 / L + V$).

Salinity (uvedené v tabulkách) byly v případě systémů H₂O-NaCl a H₂O-NaCl-CaCl₂ spočítány jako ekvivalent hmotnostních % NaCl a vyšší salinity byly počítány jako extrapolace křivky ice + liquid + vapor podle Bodnara (1993) a v případě systému H₂O-CO₂-NaCl v programech ICE a BULK (Bakker 1997).

Fluidní inkluze

Vernířovice – primární inkluze

Typ V1 – H₂O-CO₂-NaCl

Tyto inkluze jsou ze všech typů této lokality největší, jejich velikost se pohybuje mezi 23 až 85 μm. Tvary mají většinou nepravidelné, občas zaoblené. Poměry jednotlivých fází jsou proměnlivé, obsah vodného roztoku se pohybuje většinou do 40 % celkového objemu inkluze, maximálně do 70 % ($F = 0,4-0,7$). Kapalná fáze CO₂ převažuje nad plynnou. Chemické složení bylo stanoveno na základě zjištěných T_h CO₂, T_m CO₂, T_m ice a T_m cla (viz tab. 1). Při homogenizaci došlo k dekrepitaci některých inkluzí a to v rozmezí hodnot 278–360 °C. Za laboratorní teploty měly inkluze složení L1 + L2 + V.

Typ V3 – CO₂

Inkluze tohoto typu byla ve vzorcích měřena jediná. Inkluze za pokojové teploty sestávala z kapalného a plynného CO₂ (L + V), měřila 20 μm a plynná fáze CO₂ zaujímala okolo 40 % objemu inkluze ($F = 0,6$). Vzhledem k předpokládanému zachycení inkluzí v prostředí heterogenního fluida se i v této inkluzi pravděpodobně nachází malé množství vodného roztoku. Během měření však fázové přechody s ním spojené nebyly pozorovány. Tyto inkluze se většinou vyskytovaly soliterně. U inkluze typu V 3 byly naměřeny pouze dva parametry – T_h CO₂ a T_m CO₂ (tab. 1).

Vernířovice – sekundární inkluze

Typ V2 – H₂O-NaCl-CaCl₂

Velikostí jsou tyto inkluze na lokalitě Vernířovice druhé největší, s hodnotami mezi 15 a 57 μm. Tvarově se jedná o nepravidelné inkluze. Vodný roztok zaujímá naprostou většinu objemu inkluze, většinou kolem 90 % či více, vyskytují se i jednofázové (L) inkluze ($F = 0,9-1$). Některé inkluze obsahují malé pevné fáze. Jedná se o inkluze většinou uspořádané v řadách. Chemický systém byl stanoven vzhledem k naměřeným hodnotám T_e okolo -52 °C. Fázové složení za pokojové teploty bylo L + V ± S.

Krásné u Hraběšic – primární inkluze

Typ K1: H₂O-NaCl

Jedná se o největší a nejčastější inkluze lokality, s velikostí mezi 15 a 130 μm. Tyto inkluze mají často pravidelné tvary odpovídající krystalografickým prvkům křišťálu. Nepravidelně omezena je menší část inkluzí tohoto typu. Nepatrná část inkluzí K 1 má v sobě uzavřenu i pevnou fázi (jedná se o jehličkovité útvary, případně o nazelenalé, hypautomorfně omezené minerální fáze). Některé inkluze postrádají plynnou fázi a jsou pouze jednofázové (L). Inkluze mají proměnlivé poměry fází ($F = 0,8-1$). Lépe ohraničené inkluze byly uspořádány ve skupinkách či jednotlivě, v liniích byly uspořádány inkluze s nepravidelnými tvary. Chemický systém byl určen na základě naměřených hodnot T_e v rozmezí -23 – -17 °C (tab. 2). Za laboratorní teploty bylo možné pozorovat tyto fáze: L ± V ± S.

Typ K2: CO₂

Druhý nejčastější typ inkluzí ve vzorcích. Při pozorování za laboratorní teploty sestávají pouze z plynného CO₂ nebo plynného a kapalného CO₂. Často jsou dobře omezeny, jde o nejmenší inkluze lokality, s velikostí 15 až 50 μm. Tyto inkluze bývají uspořádány především v řadách. V případě inkluzí typu K 2 byla vzhledem k tvaru a optickým parametrům inkluzí pozorována a měřena pouze metastabilní teplota vymrzání (T_f), na jejímž základě byl stanoven uzavřený chemický systém. Fázové složení za laboratorní teploty je V ± L.

Typ K3: H₂O-CO₂-NaCl

Fázovým složením se podobá předchozímu typu, liší se ale složením chemickým. Dominantní je plynná fáze, vodný roztok tvoří max. 10 % objemu inkluze ($F = 0,1$). Tyto inkluze často vykazují tvary reprezentující krystalo-

	Chemické složení	Fázové složení	$T_{h\ tot} / T_h$ (°C) rozsah	$T_{h\ CO_2}$ (°C) rozsah	$T_{m\ CO_2}$ (°C) rozsah	$T_{m\ ice}$ (°C) rozsah	$T_{m\ CLA}$ (°C) rozsah	T_e (°C) rozsah	T_f (°C) rozsah	Salinita (hmot. % NaCl ekv.)
V 1	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	L1 + L2 + V	220 / 313	27,7 / 31,1 (L)	-57,4 / -56,7	-3 / -1,9	6,3 / 9,2	-	-95,6 / -95	1,54
N	-	-	4	28	22	7	23	-	22	Ø
V 2	H ₂ O-NaCl-CaCl ₂	L + V ± S	106 / 215	-	-	-19 / -14,9	-	-52	-81,6 / -65	18,6 / 21,7
N	-	-	8	-	-	7	-	2	6	7
V 3	CO ₂	L + V	-	29,9 (L)	-56,9	-	-	-	-91,5	-
N	-	-	-	1	1	-	-	-	1	-

Tab. 1: Rozpětí naměřených hodnot pro inkluze ve vzorcích z lokality Vernířovice. N vyjadřuje počet měření.

Tab. 1: The range of measured values for inclusions in the samples from the locality Vernířovice. N indicates the number of measurements.

	Chemické složení	Fázové složení	T_{hTOT} / T_h (°C) rozsah	T_{hCO_2} (°C) rozsah	T_{mCO_2} (°C) rozsah	T_{mICE} (°C) rozsah	T_{mCLA} (°C) rozsah	T_c (°C) rozsah	T_f (°C) rozsah	Salinita (hmot. % NaCl ekv.)
K 1	H ₂ O-NaCl	L ± V ± S	144 / 214	–	–	–5,5 / –2	–	–23 / –17	–23 / –17	3,4 / 8,5
N	–	–	19	–	–	23	–	22	22	23
K 2	CO ₂	V ± L	–	–	–	–	–	–	–95 / –92,7	–
N	–	–	–	–	–	–	–	–	5	–
K 3	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	V + L	269 / 315	9,5 / 18 (V)	–57,4 / –56,7	–	7,2 / 7,9	–	–95,4 / –90	–
N	–	–	4	4	12	–	3	–	12	–

Tab. 2: Rozpětí naměřených hodnot pro inkluze ve vzorcích z lokality Krásné u Hraběšic. N vyjadřuje počet měření.

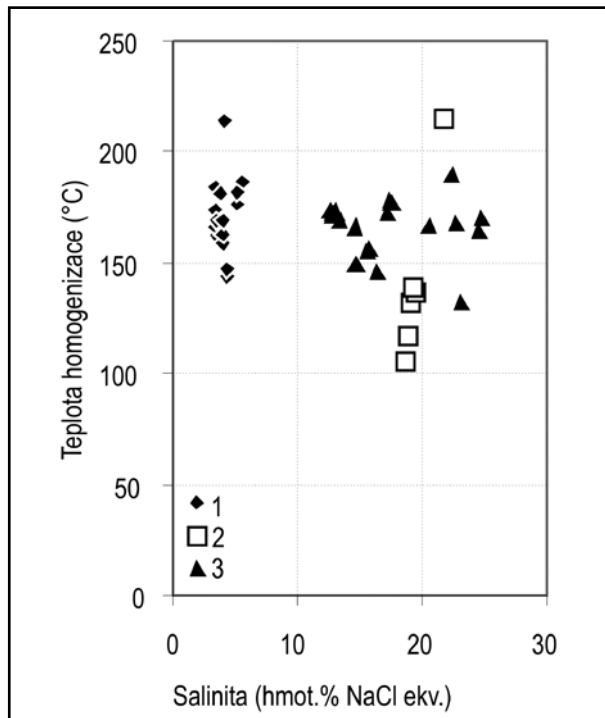
Tab. 2: The range of measured values for inclusions in the samples from the locality of the Krásné u Hraběšic. N indicates the number of measurements.

grafii hostitelského minerálu. Velikost měřených inkluzí tohoto typu se pohybovala v rozmezí hodnot 20 a 80 μm . K dekrepitaci 4 inkluzí došlo mezi 308–332 °C. Chemický systém uzavřený v inkluzích K 3 byl stanoven s ohledem na měřené hodnoty T_hCO_2 , T_mCO_2 , T_mice a T_mcla (tab. 2). Při pozorování při +20 °C sestává inkluze z fází V + L.

Diskuze

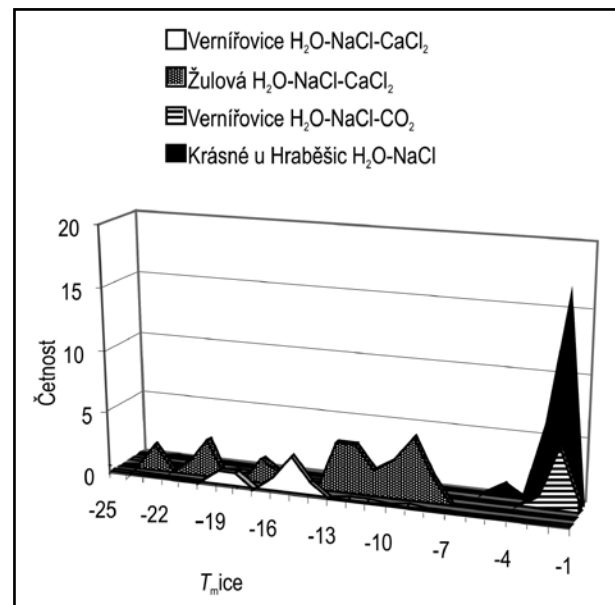
Parametry zjištěné na lokalitách nedaleko Vernířovic v případě autorů Novotný a Zimák (2003) zhruba odpovídají výsledkům této práce, i když T_h v práci Novotného a Zimáka je poněkud vyšší. Nutno ovšem poznamenat,

že v případě inkluzí, jež dekrepitovaly, by pravděpodobně byla obdobná. Zjištěné vysoké salinity u inkluzí typu V 2, v jejichž případě se zřejmě jedná o sekundární inkluze vzniklé pozdějším vstupem nízkoteplotních vysoko salinních fluid do prasklin v minerálu, jsou blízké salinitám, které zjistili Novotný a Zimák (2003) v kalcitech. Roztok s obdobnou salinitou (17,3 hmot. % NaCl ekv.), interpretovaný jako níže teplotní hydrotermální mineralizace, byl naměřen na lokalitě (obr. 1 a 2.) Andělské domky nedaleko Žulové (Kontár 2010). Obdobných hodnot se při studiu lokality Andělské domky dobrali Ďurišová (1990) a Novotný a Dobeš (1999). Hodnoty zjištěné prací Ďurišové jsou o něco vyšší, v případě autorů Novotného a Dobeše jsou hodnoty ekvivalentní. Kučera (2009) studoval inkluze v dolomitech Nížkého Jeseníku, jež měly obdobné salinity (v rozmezí 16,6 až 28,4 hmot. % NaCl), jejich T_h je však ještě nižší (64 až 148 °C).

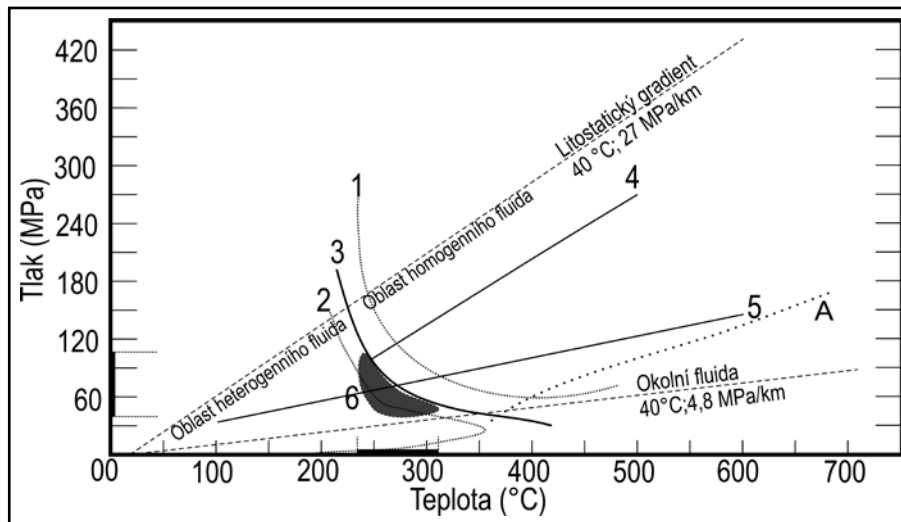


Obr. 1: Srovnání salinity a teploty homogenizace inkluzí s vodnými roztoky vzorků z lokalit Vernířovice, Krásné u Hraběšic a Žulová (Kontár 2010). 1 – Krásné u Hraběšic – Typ K1 (H₂O-NaCl), 2 – Vernířovice – Typ V2 (H₂O-NaCl-CaCl₂), 3 – Žulová (H₂O-NaCl-CaCl₂).

Fig. 1: The comparison of salinity and homogenization temperatures of inclusions with aqueous solutions of samples from localities Vernířovice, the Krásné u Hraběšic and Žulová (Kontár 2010). 1 – Krásné u Hraběšic – Type K1 (H₂O-NaCl), 2 – Vernířovice – Type V2 (H₂O-NaCl-CaCl₂), 3 – Žulová (H₂O-NaCl-CaCl₂).



Obr. 2: Teplota tání ledu zjištěná u jednotlivých typů inkluzí studovaných lokalit. U systémů bez CO₂ T_{mice} odráží salinitu, v případě systémů s CO₂ je skutečná salinita nižší, než by odpovídalo výpočtu z T_{mice} (vzhledem k přítomnosti klatrátů). Fig. 2: The temperature of ice melting found in various types of inclusions in the studied localities. For systems without CO₂ T_{mice} reflects salinity, for systems with CO₂ actual salinity is lower than would be by the calculation of the T_{mice} (due to the presence of clathrate).



(Takenouchi – Kennedy 1964); 3 – izopleta $\text{H}_2\text{O} + 10 \text{ mol. \% CO}_2 + 2 \text{ hmot. \% NaCl}$; 4 – izochora inkluze $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ (Bakker 1999), (Bowers – Helgeson 1983); 5 – izochora inkluze CO_2 (Span – Wagner 1996), izochory byly vytvořeny na základě průměrných hodnot pro jednotlivé systémy, procházejí polem odhadovaných P-T podmínek vzniku minerálu; 6 – odhadované podmínky vzniku krystalu. Vytvořeno dle Schmidt – Bodnar (2000).

Fig. 3: P-T diagram with the trapping temperatures of primary inclusions for Vernířovice. Thermobaric lithostatic gradient -40°C and 27 MPa/km (determined with regard to the density of surrounding rocks – about 2.7 g/cm^3); thermobaric hydrostatic gradient -40°C , 4.8 MPa/km (determined with regard to the average density of trapped fluids); Het. F. – field of the immiscibility of H_2O and CO_2 ; Hom. F. – field of a homogeneous fluid; A – critical curve for a system composed of $\text{H}_2\text{O} + 10 \text{ mol. \% CO}_2 + X \text{ wt. \% NaCl}$; 1 isopleth $\text{H}_2\text{O} + 10 \text{ mol. \% CO}_2 + 6 \text{ wt. \% NaCl}$; 2 – isopleth $\text{H}_2\text{O} + 10 \text{ mol. \% CO}_2 + 0 \text{ wt. \% NaCl}$ (Takenouchi – Kennedy 1964); 3 – isopleth $\text{H}_2\text{O} + 10 \text{ mol. \% CO}_2 + 2 \text{ wt. \% NaCl}$; 4 – isochore $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ inclusion (Bakker 1999), (Bowers – Helgeson 1983); 5 – isochore CO_2 inclusion (Span – Wagner 1996); isochores were created on the basis of average values for individual systems, goes through estimated field of P-T conditions of mineral formation; 6 – estimated conditions of mineral formation. Adapted after Schmidt – Bodnar (2000).

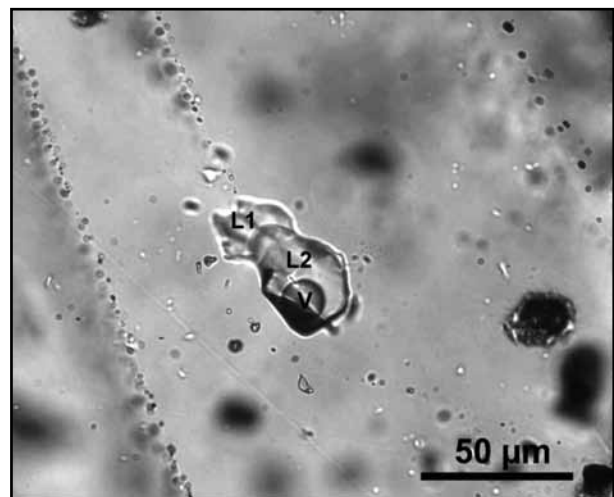
Novotný a Dobeš (1999) spojují vznik mineralizace alpského typu v okolí Vernířovic s hydrotermálními procesy v průběhu retrogradní fáze variské metamorfozy.

Při interpretaci podmínek vzniku křemenu z lokality Vernířovice byl brán zřetel na petrografické poměry – především rozdílné zastoupení jednotlivých fází v inkluzích, na základě něhož lze předpokládat, že v inkluzích byla uzavřena heterogenní fluida. Těmto podmínkám odpovídá oblast ležící vlevo od izoplety reprezentující vlastnosti uzavřeného systému o složení $\text{H}_2\text{O} + 10 \text{ mol. \% CO}_2 + 2 \text{ hmot. \% NaCl}$ (obr. 3). Isochora inkluze se systémem CO_2 (typ V3, ve vzorcích byla měřena jako jediná tohoto typu) prochází odhadovanými podmínkami vzniku krystalu. Tato inkluze by mohla náležet ke stejné generaci fluid jako okolní inkluze, což průběh její izochory nevyklučuje, zároveň by však mohla být jiného stáří. Isochora inkluze $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ s průměrnými hodnotami pro daný systém končí na izopleti oddělující oblast homogenního fluida od oblasti odhadovaných podmínek vzniku v heterogenní oblasti.

Litosstatický a hydrostatický gradient vymezují teoretické hodnoty pro možné podmínky vzniku minerálu. Odhadovaná teplota a tlak vzniku hostitelského minerálu byly na základě petrografie inkluzí a naměřených dat odhadnuty na hodnoty mezi $240\text{--}310^\circ\text{C}$, resp. $40\text{--}110 \text{ MPa}$.

Závěr

Vzorky křemene z lokalit Vernířovice a Krásné u Hraběšic byly podrobeny studiu fluidních inkluzí.



Obr. 4: Reprezentativní inkluze typu V1 z lokality Vernířovice. Chemický systém $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$. L1 – vodný roztok, L2 – kapalné CO_2 , V – plynné CO_2 .

Fig. 4: Representative type V1 inclusions from locality Vernířovice. Chemical system $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$. L1 – aqueous solution, L2 – liquid CO_2 , V – vapor CO_2 .

V případě obou lokalit byly zjištěny komplexní systémy $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ (obr. 4). Rozdílné petrografické poměry – zastoupení jednotlivých fází – naznačují, že ke vzniku inkluzí ve vzorcích obou lokalit docházelo za P-T podmínek, během nichž bylo fluidum v inkluzích zachycené v heterogenním stavu. Roztoky obou lokalit měly nízké salinity (max. 6 hmot. % NaCl ekv.). V inkluzích byly po-

zorovány pevné fáze. V případě lokality Vernířovice byly zjištěny sekundární inkluze s roztokem H_2O - NaCl - CaCl_2 a vysokou salinitou.

Poděkování

Práce vznikla za využití recenzních připomínek Petra Dobeše a rad Marka Slobodníka. Práce je součástí záměru MSM0021622427.

Literatura

- Bakker, R. J. (1997): Clathrates: Computer programs to calculate fluid inclusion V-X properties using clathrate melting temperatures. – *Comput. Geosci.*, 23, 1–18.
- Bakker, R. J. (1999): Adaptation of the Bowers and Helgeson (1983) equation of state to the H_2O - CO_2 - CH_4 - N_2 - NaCl system. – *Chemical Geology*, 154, 225–236.
- 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 geological systems: equation of state for H_2O - CO_2 - NaCl fluids at high pressures and temperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 1247–1275.
- Đurišová, J. (1990): Charakteristika nerostotvorného prostředí na vybraných lokalitách Jeseníků na základě studia fluidních inkluzí. – *Sbor. Geol. Věd. Řada LGM*, 29, 167–186. Praha.
- Kontár, M. (2010): Studium geneticky významných znaků křišťálových křemenů z vybraných lokalit. – MS, diplomová práce, PřF MU. Brno.
- Kučera, J. (2009): Povarské paleofluidní systémy v karbonských 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. Brno.
- Novotný, P. – Zimák, J. (2003): Puklinová mineralizace alpského typu na lokalitách „Mísečky“ a „Černý důl“ u Vernířovic. – *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 58 (2003), 123–138.
- Schmidt, C. – Bodnar, R. J. (2000): Synthetic fluid inclusions: XVI. PVTX properties in the system H_2O - NaCl - CO_2 at elevated temperatures, pressures, and salinities. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 3853–3869.
- Sládek, R. (1973): Nerosty alpských žil v Hrubém Jeseníku. – *Zprávy VÚO*, 161, 6–22. Olomouc.
- Span, R. – Wagner, W. (1996) A new equation of state for carbon dioxide covering the fluid region from the triple-point temperature to 1100 K at pressures up to 800 MPa. – *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 25, 1509–1596.
- Staněk, J. (1997): Dvě významné lokality křišťálu na severní Moravě. – *Minerál*, 6, 20–21.
- Takenouchi, S. – Kennedy, G. C. (1964): The binary system H_2O - CO_2 at high temperatures and pressures. – *Amer. J. Sci.*, 262, 1055–1074.