

Fluidní systémy v záhnědách z dutinových pegmatitů od Krásněvsí (strážecké moldanubicum)

Fluid systems in smoky quartz from pocket pegmatites from Krásněves (Strážek Moldanubicum)

RADKA FIŠEROVÁ* A ZDENĚK DOLNÍČEK

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

*e-mail: radka.fiserova89@gmail.com

FIŠEROVÁ R., DOLNÍČEK Z. (2014) Fluidní systémy v záhnědách z dutinových pegmatitů od Krásněvsí (strážecké moldanubicum). *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha) 22, 2, 363-370. ISSN 1211-0329.*

Abstract

Fluid systems in smoky-quartz from pocket pegmatites from two sites in the vicinity of the Krásněves village (Moldanubicum) were studied. Aqueous systems without gases and aqueous inclusions with gaseous compounds occur in the studied crystals of smoky quartz. The two-phase (L+V) aqueous inclusions without gaseous components contain systems $H_2O-NaCl$, $H_2O-NaCl-FeCl_2$ and/or $H_2O-NaCl-MgCl_2$. Aqueous inclusions with the gaseous components are two-phase (L+V) displaying formation of a clathrate phase on cooling and three-phase (L1+L2+V) with an aqueous solution, liquid CO_2 and gaseous CO_2 . Crystals of smoky quartz from KRS-quarry originated from high-temperature ($T_h = 241 - 371$ °C for primary and pseudosecondary fluid inclusions) and low-salinity (2.7 - 5.6 wt. % NaCl eq.) fluids. Mixing of solutions differing in temperature (high-temperature/medium-salinity and low-temperature/medium-salinity) occurred at the locality KRS-field, where the homogenization temperatures for primary and pseudosecondary inclusions range 163 - 398 °C and salinity varies from 0.4 to 10.1 wt. % NaCl eq. The position of isochores of primary fluid inclusions in P-T space suggests that the composition and density of the fluid are consistent with previously published P-T estimates of pegmatite crystallization and the formation of pocket pegmatites.

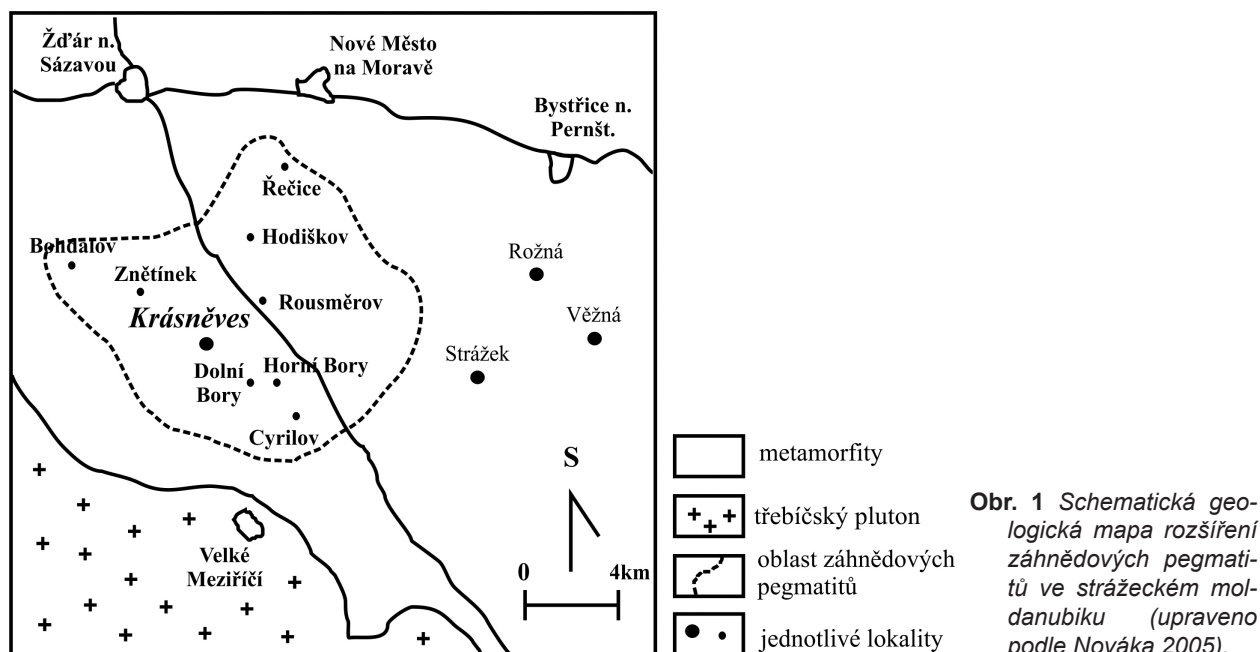
Key words: Strážek Moldanubicum, Krásněves, pocket pegmatites, smoky quartz, fluid inclusions, microthermometry, P-T conditions

Obrženo: 22. 5. 2014; přijato: 14. 10. 2014

Úvod

V oblasti Českomoravské vrchoviny je řada lokalit s výskytem dutinových pegmatitů, které se vyznačují hojnou přítomností sběratelsky atraktivních krystalů. Z hlediska odborného však těmto pegmatitům doposud nebylo dopřáno takového zájmu jako ze strany sběratelů, tudíž se mnoho neví o podmínkách jejich vzniku. Dutinové pegmatity jsou atypické svou primitivní stavbou, minerálním složením a celkovým chemismem. Jejich charakteristickým znakem jsou hojné dutiny s krystaly záhněd, albitu, K-živce, muskovitu, turmalínu, apatitu nebo i granátu. Dále mají úzký vztah k okolním migmatitizovaným rulám, který se často projevuje uložením žil konformním s foliáci. Přítomnost andalusitu a cordieritu značí, že se pravděpodobně jedná o pegmatity vzniklé natavením okolních hornin za nižších tlaků, což je typické pro metamorfozní pegmatity (Novák 2005). Mezi významné lokality dutinových záhnědových pegmatitů patří Bobrůvka, Cyrilov, Krásněves, Lhotka u Tasova, Pikárec, Rousměrov, Rožná, Řečice a další (Novák 2005; obr. 1). Vznikem dutinových pegmatitů se ve své práci v poslední době zabývali i Gadas et al. (2012), kteří studovali krystaly zonálních turmalínů, v nichž bylo pomocí metody LA-ICP-MS zjištěno podobné chemické složení centrální a střední zóny. Naopak odlišné chemické složení bylo na vnějším okraji turmalínových krystalů, kde byly vyšší obsahy Mn, Ni, Sc a Ga a nižší obsahy V, Cr, Co a Sr.

Předmětem tohoto příspěvku je charakteristika fluidních inkluzí v záhnědách z dutinových pegmatitů ze dvou lokalit od Krásněvsí, a to z neaktivního lomu (KRS-L) a z lokality pracovně označované jako „pole“ (KRS-P). V lomu byly vzorky odebrány z dutin malých pegmatitových žil (mocnost v desítkách cm) protínajících migmatitizované ruly. Vzorky z lokality „pole“, byly získány z kopané sondy, která v hloubce cca 150 - 180 cm zastihla 10 - 15 cm mocnou pravou pegmatitovou žílu prorážející biotitické ruly. V celé sondou zastížené délce žíly byla přítomna směrná plochá dutina vystlaná krystaly albitu, korodovaného K-živce, křemene a muskovitu. Dutina poskytla větší množství záhněd šperkařské kvality, o velikosti prizmatických krystalů až 25 × 5 cm. Krystaly záhněd měly nepravidelný, sloupcovitý i pseudohexagonální tvar, kde na některých prizmatických plochách lze pozorovat rýhování v horizontálním směru. Jejich barva je kouřově hnědá, jen krystaly větších rozměrů měly až sytě hnědé zbarvení. Volné prostory mezi krystaly byly vyplněny žlutavým dutinovým jílem. U vzorku KRS-P-1 byla studována i mladší nárůstová zóna s tloušťkou do 2 mm, která měla mléčně zakalené zbarvení a byla tvořena podstatně menšími krystaly izometrických tvarů. V asociaci se záhnědami se vyskytovaly i krystaly skorylu a albitu. Skoryly byly sloupcovitého vývinu s podélným rýhováním. Jejich velikost se pohybovala od 2.5 do 4.5 cm. Na krystalových plochách byly místy patrné i menší trhlinky v horizontálním směru.



Obr. 1 Schematická geologická mapa rozšíření záhnědových pegmatitů ve strážeckém molanubiku (upraveno podle Nováka 2005).

Albit měl tabulkovitý až izometrický vývin krystalů, jejichž velikost byla maximálně do 2 cm.

Metodika

Z vybraných čtyř vzorků (KRS-L-1, KRS-L-2 a KRS-P-1, KRS-P-2) byly zhotoveny oboustranně leštěné desičky na leštičce Struers RotoPol-35 za použití diamantových suspenzí o zrnitosti 3 a 0.25 μm , které byly lepené za studena vteřinovým lepidlem. Fluidní inkluze byly nejprve podrobeny petrografickému zhodnocení a následně byly zkoumány mikrotermometricky na aparatuře Linkam THMSG 600 na Katedře geologie PřF UP Olomouc. V inkruzích byly studovány následující fázové změny: teplota zamrznutí (T_f), teplota iniciálního tání (T_e), teplota homogenizace (T_h), teplota celkové (konečné) homogenizace ($T_{h_{tot}}$), teplota parciální homogenizace CO_2 fáze ($T_{h_{\text{CO}_2}}$), teplota tání CO_2 fáze ($T_{m_{\text{CO}_2}}$), teplota tání ledu ($T_{m_{\text{ice}}}$) a teplota tání klatrátu ($T_{m_{\text{clat}}}$). Přesnost měření je ± 0.1 $^\circ\text{C}$ v teplotním intervalu -56.6 až 0 $^\circ\text{C}$ a ± 1 $^\circ\text{C}$ při teplotě 374 $^\circ\text{C}$. Salinity fluid byly vypočteny podle Bodnara (1993) a Duana et al. (1996). Složení, hustoty a izochory fluidních inkluzí bez plynných komponent byly vypočítány pomocí programu FLINCOR (Brown 1989) s kalibrací podle Zhan-ga a Frantze (1987), pro fluidní inkluze s plynnými složkami byly použity programy ICE s kalibrací podle Duana et al. (1996), ISOC (Bakker 2003) a FLINCOR (Brown 1989) s kalibrací podle Bowerse a Helgesona (1983).

U vybraných inkluzí bylo zjišťováno složení plynné fáze metodou Ramanovy spektroskopie na Ústavu molekulární a translační medicíny LF UP Olomouc. Vzorky byly analyzovány na spektrometru WITec Confocal Raman Imaging Microscope System alpha300 R+ s excitací o vlnové délce 532 nm (25 mW výkon dopadající na vzorek, objektiv 50x/NA 0.8, doba načítání spektra 1 minuta). Zastoupení jednotlivých plynných složek bylo spočítáno z ploch píků podle Burkeho (2001).

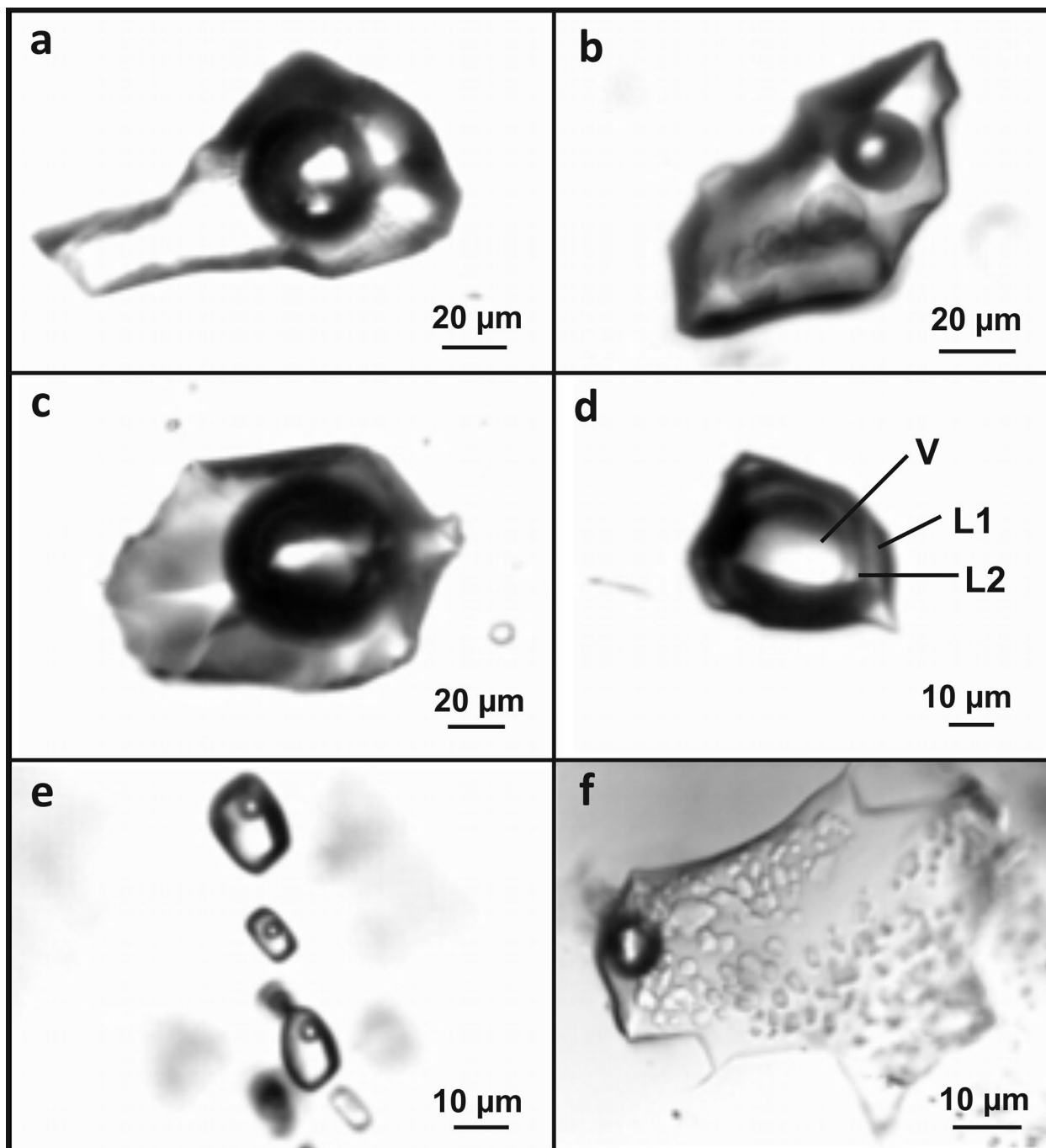
Výsledky

Petrografie inkluzí

V záhnědách se nejčastěji vyskytovaly primární (P) a sekundární (S) inkluze (obr. 2), méně často pak pseudosekundární (PS) inkluze. Z hlediska fázového složení převládaly dvoufázové (L+V) inkluze, v nichž převažoval vodný roztok nad plynnou fází (stupeň zaplnění $F = 0.90 - 0.70$). Sporadicky se vyskytovaly i trojfázové (L1+L2+V) inkluze se dvěma kapalnými a jednou plynnou fází, kde převažovala nevodná fáze se stupněm zaplnění ($F = 0.50$; obr. 2d). Tvar primárních inkluzí byl velmi variabilní od izometrických přes okrouhlé až po tzv. „negativní krystaly“. Jejich distribuce v krystalech byla náhodná, kde se převážně vyskytovaly solitérně nebo vytvářely drobné shluky. Velikost primárních FI se pohybovala od 50 μm do 90 μm , avšak výjimečně bylo možné pozorovat i inkluze mnohem větších rozměrů, které dosahovaly až 190 μm . Pseudosekundární inkluze byly oválného či protáhlého tvaru a vytvářely drobné řádky, které nedosahovaly až k okraji krystalu. Jejich velikost byla v rozmezí 45 - 70 μm . Sekundární inkluze byly tvarově odlišné na obou lokalitách. Ve vzorcích KRS-L-1 a KRS-L-2 převládaly spíše izometrické FI s četnými výběžky. Naopak fluidní inkluze ze vzorků KRS-P-1 a KRS-P-2 byly měňavkovitého, ale i pravidelnějšího oválného tvaru (obr. 2e). Sekundární inkluze vytvářely shluky na vyhojených trhlinách nebo byly uspořádané na řádcích protínajících celá zrna. Velikost sekundárních inkluzí se pohybovala od 25 μm do 55 μm , některé z nich dosahovaly větších rozměrů (až 130 μm).

Mikrotermometrie

Postupným mikrotermometrickým měřením bylo zjištěno, že se na obou lokalitách vyskytují jak vodné systémy bez přítomnosti plynů, tak i vodné inkluze s mikrotermometricky detekovatelným obsahem plynných složek. Fluidní inkluze vodných systémů se vyskytovaly mnohem častěji než inkluze s plynnými komponentami. Inkluze s plynnými složkami byly za pokojové teploty převážně dvoufázové (L+V) a pouze šest inkluzí bylo trojfázových (L1+L2+V). Oba dva typy se vyskytovaly převážně solitérně a na odlišných růstových zónách, jedná se tedy o různé generace.



Obr. 2 Fluidní inkluze ze záhněd - a) primární fluidní inkluze (L+V) z lokality KRS-L při teplotě zamrznutí (-38,4 °C); b) primární fluidní inkluze (L+V) z lokality KRS-P při roztávání krystalů ledu; c) primární fluidní inkluze (L+V) z lokality KRS-L za pokojové teploty; d) primární trojfázová (L1+L2+V) inkluze z lokality KRS-P za pokojové teploty; e) sekundární fluidní inkluze z lokality KRS-P (L+V) za pokojové teploty; f) sekundární fluidní inkluze z lokality KRS-P (z mladšího nárůstu křemene) při roztávání krystalů ledu.

Výsledky mikrotermometrických měření pro vodné systémy bez plynných komponent jsou uvedeny v tabulce 1. Vodné fluidní inkluze ve vzorcích KRS-L-1 a KRS-L-2 zamrzaly v rozmezí teplot -28 až -38 °C, což se projevilo granulární strukturou pevných fází nebo deformací plynné bubliny (obr. 2a). Primární a pseudosekundární inkluze ve vzorku KRS-L-1 homogenizovaly v širším teplotním rozsahu (241 - 364 °C) než ve vzorku KRS-L-2, kde tyto teploty mají daleko menší rozsah, od 327 do 359 °C (obr. 3). Hodnoty $T_{m_{ice}}$ se pohybují od -1.6 do -3.4 °C. Sekundární inkluze homogenizují při nižších teplotách

(od 118 do 171 °C) a teplota tání posledního ledu $T_{m_{ice}}$ je v rozsahu -1.3 až -2.7 °C, což značí salinitu 2.2 - 4.5 hm. % NaCl ekv. (tab. 1).

Ve vzorcích KRS-P-1 a KRS-P-2 vodné FI zamrzaly v intervalu -35 až -53 °C. Homogenizační teploty u primárních a pseudosekundárních inkluzí mají velký rozptyl od 163 do 374 °C, ale nejvíce spadají do intervalu od 180 do 260 °C (obr. 3). Teploty tání ledu ($T_{m_{ice}}$) jsou od -2.4 do -6.7 °C. Sekundární inkluze vykazovaly hodnoty $T_h = 89 - 194$ °C a $T_{m_{ice}} = -3.2$ až -7.3 °C (obr. 2 a 3). V mladší nárůstové zóně u vzorku KRS-P-1 byly zjištěny také

Tabulka 1 Výsledky mikrotermometrických měření pro vodné systémy bez obsahu plynných složek

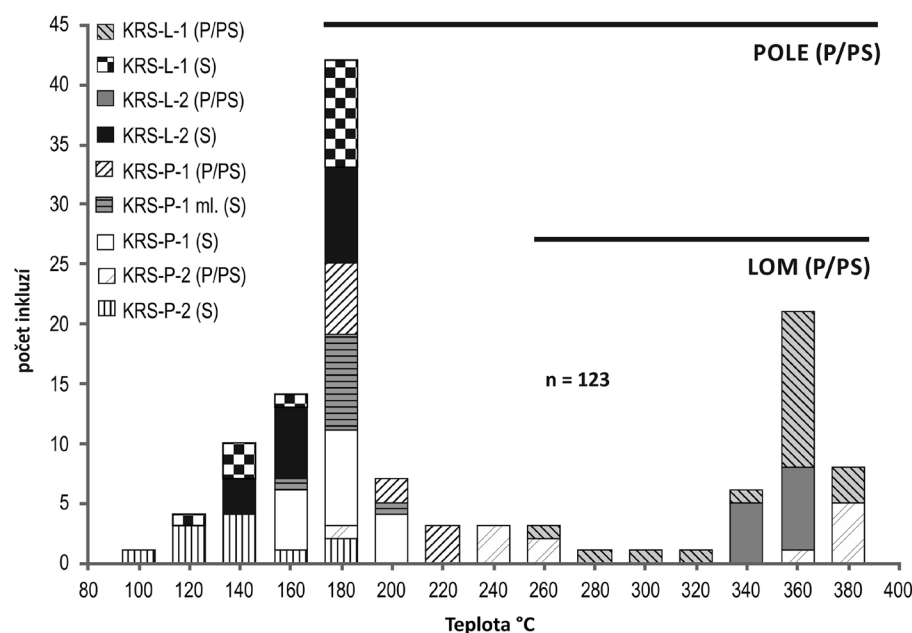
Lokalita/ Vzorek č.	Geneze	Fázové složení	ThL (°C)	Tf (°C)	Te (°C)	Tm-ice (°C)	Salinita (hm.%NaCl ekv.)
KRS-L-1	P/PS	L+V	241-364	-32.7 až -38.4	-14.9 až -22.4	-1.6 až -3.4	2.7-5.6
	S	L+V	118-170			-1.3 až -2.6	2.2-4.3
KRS-L-2	P/PS	L+V	327-359	-28.4 až -38.1	-19.3 a -24.3	-1.7 až -3.1	2.9-5.1
	S	L+V	122-171		-1.8 až -2.7	3.0-4.5	
KRS-P-1	P/PS	L+V	163-218	-41.1 až -49.7	-34.1 až -40.3	-4.9 až -6.7	7.7-10.1
	S	L+V	151-194			-6.5 až -7.3	9.9-10.9
KRS-P-1 ml.	S	L+V	147-181			-5.6 až -7.8	8.7-11.5
KRS-P-2	P/PS	L+V	178-374	-35.4 až -53.1	-18.9 až -39.2	-2.4 až -5.1	3.9-7.9
	S	L+V	89-165			-3.2 až -7.1	5.3-10.5

Tabulka 2 Výsledky mikrotermometrie pro inkluze s plynnými komponentami

Lokalita/ vzorek č.	KRS-L-1	KRS-L-2	KRS-P-1	KRS-P-2
Geneze	P	P/PS	P	P
Fáz.složení	L+V, L1+L2+V	L+V	L1+L2+V	L1+L2+V
Tf-CO ₂ (°C)				-95 až -100
Th-tot (°C)	348-371 (L) 353 (V)	330-361 (L)	397 a 398 (V)	354-365 (V)
Th-CO ₂ (°C)			25.3 a 25.5 (V)	26.1-27.3 (V)
Tm-CO ₂ (°C)	-58.8		-57.8 a -58.2	-57.3 až -58.6
Tm-ice (°C)	-2.2 až -3.4	-1.9 až -4.2		-3.5 až -4.2
Tm-cla (°C)	6.1 - 10.8	7.6 - 11.2 -2.7 a -2.9	6.8 a 7.0	9.4-9.8
Te (°C)	-19.3 a -24.8	-22.7		

sekundární FI, které vykazovaly podobné hodnoty Th a $T_{m_{ice}}$. Na obou lokalitách se podařilo naměřit teploty iniciálního tání. Ve vzorcích KRS-L-1 a KRS-L-2 inkluze vykazují hodnoty Te od -14.9 do -24.3 °C. Naopak hodnoty Te u vzorků KRS-P-1 a KRS-P-2 byly nižší, od -34.1 do -40.3 °C.

Inkluze s obsahem plynů se vyskytují sporadicky společně s vodnými inkluzemi. Výsledky mikrotermometrických měření těchto inkluzí jsou uvedeny v tabulce 2. Primární a pseudosekundární inkluze s mikrotermometricky detekovatelnou příměsí plynů se vyskytují ve vzorcích KRS-L-1 a KRS-L-2. Tyto dvofázové inkluze (L+V) ho-

**Obr. 3** Histogram teplot homogenizací pro vodné systémy bez plynných složek

genizují na kapalinu v rozmezí 330 - 371 °C a hodnoty $T_{m_{ice}}$ jsou v rozsahu od -1.9 až -4.2 °C (obr. 3 a 4). Jako poslední pevná fáze tál klatrát za teplot od 6.1 do 11.2 °C, avšak u dvou FI ze vzorku KRS-L-2 tál klatrát dříve než led, a to při teplotách -2.7 a -2.9 °C. Pouze u tří inkluzí se podařilo zachytit teplotu iniciálního tání (tab. 2). Ve vzorku KRS-L-1 byla zjištěna také jediná trojfázová inkluze (L1+L2+V), kde byly naměřeny hodnoty $T_{m_{CO_2}} = -58.8$ °C, $T_{m_{ice}} = -3.3$ °C, $T_{m_{cla}} = 9.1$ °C a $Th_{tot} = 353$ °C. Ve vzorcích KRS-P-1 a KRS-P-2 byly zjištěny jen primární trojfázové inkluze (L1+L2+V). Teplota zamrznutí CO₂ se pohybovala okolo -95 až -100 °C. Teplota tání pevného CO₂ byla od -57.3 do -58.6 °C. Teplota tání ledu byla v rozsahu od -3.5 do -4.2 °C,

hodnoty $T_{m,cl}$ dosahovaly 6.8 až 9.8 °C. Parciální homogenizace CO_2 na plyn probíhala za teplot 25.3 - 27.3 °C. Teplota celkové homogenizace (na plyn) byla ve vzorku KRS-P-1 nejvyšší (397 a 398 °C; tab. 2, obr. 5). Teplotu iniciálního tání v oblasti vodného roztoku se nepodařilo zachytit.

Ramanova spektroskopie

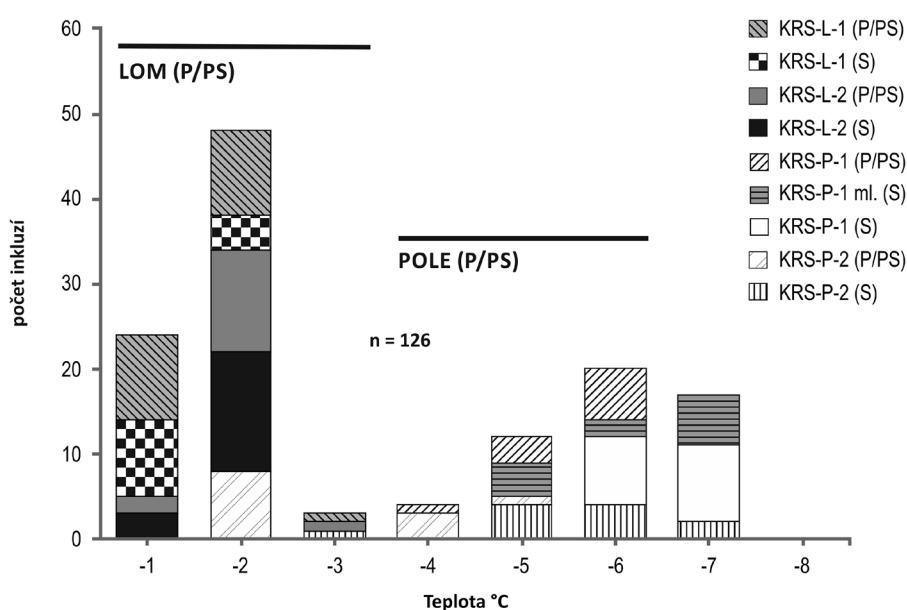
Chemické složení plynné fáze bylo definováno z naměřeného Ramanova spektra pro jednu primární plynem bohatou (L+V) inkluzi ze vzorku KRS-L-2. Bylo zjištěno největší zastoupení oxidu uhličitého (87 mol. %) a dále menší příměs dusíku (7 mol. %) a metanu (6 mol. %).

Diskuse

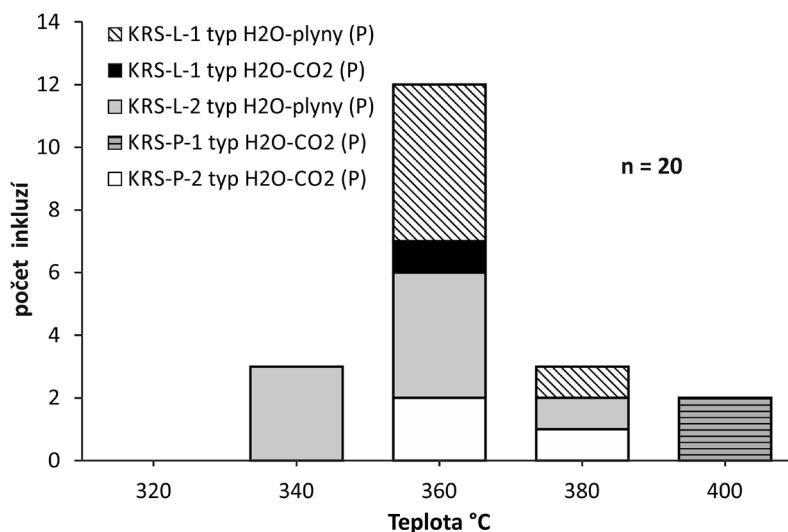
Chemické složení, hustota a P-T podmínky zachycení fluid

Vodné fluidní inkluze na lokalitě KRS-L vykazují teploty iniciálního tání v rozsahu od -14.9 do -24.3 °C, což poukazuje na fluidní systém $H_2O-Na-Cl$. Ve vzorcích z lokality KRS-P se teploty iniciálního tání pohybují od -34.1 do -40.3 °C, které indikují solný systém $H_2O-Na-Cl-FeCl_2$ nebo $H_2O-Na-Cl-MgCl_2$ (Bodnar 1993). Salinita vodných roztoků je pro lokalitu KRS-L v rozmezí 2.2 - 5.6 hm. % NaCl ekv. a pro lokalitu KRS-P 3.9 - 11.5 hm. % NaCl ekv. Molární objem fluida je 18.01 - 19.2 cm^3/mol . Jedná se o roztoky nízkosalinní až středněsalinní a je patrné, že vodné roztoky z lokality KRS-P mají vyšší salinitu než na lokalitě KRS-L (obr. 4).

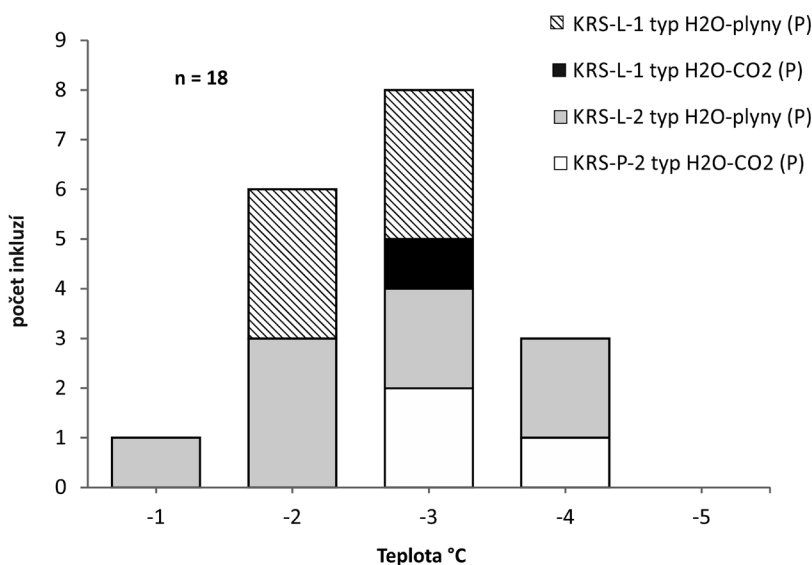
Teploty homogenizace a teploty tání ledu byly vyneseny do diagramu (obr. 7), kde je pro P a PS inkluze z lokality KRS-L patrná velmi malá variabilita naměřených dat, z čehož lze usuzovat, že se během vzniku neměnila teplota ani tlak fluida. Jedná se o vysokoteplotní, nízkosalinní roztoky. Pro sekundární inkluze platí totéž, jen se jedná o nízkoteplotní, nízkosalinní fluida. Je tedy zřejmé, že starší generace fluid vznikala za daleko vyšších teplot než mladší generace těchto fluid. Na loka-



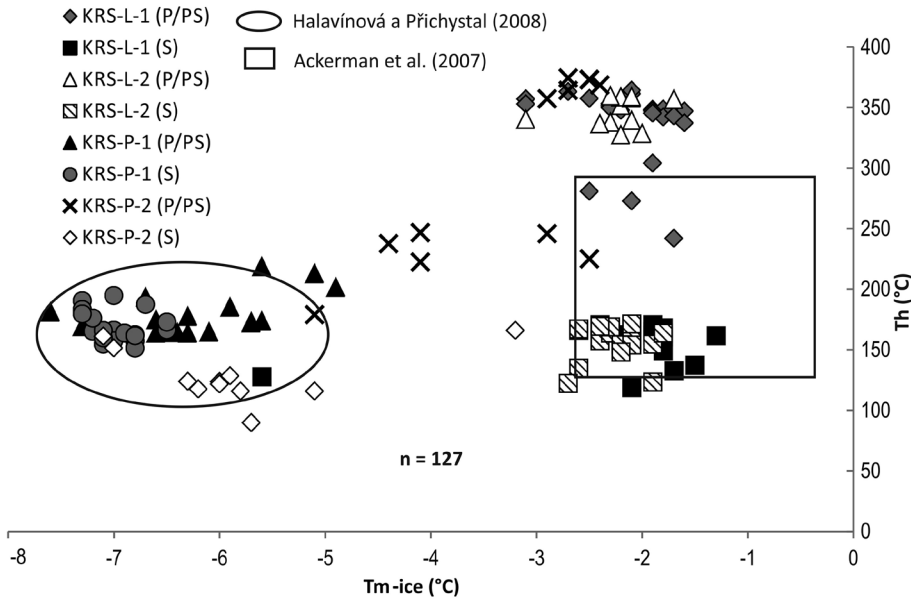
Obr. 4 Histogram teplot tání ledu pro vodné systémy bez plynných složek



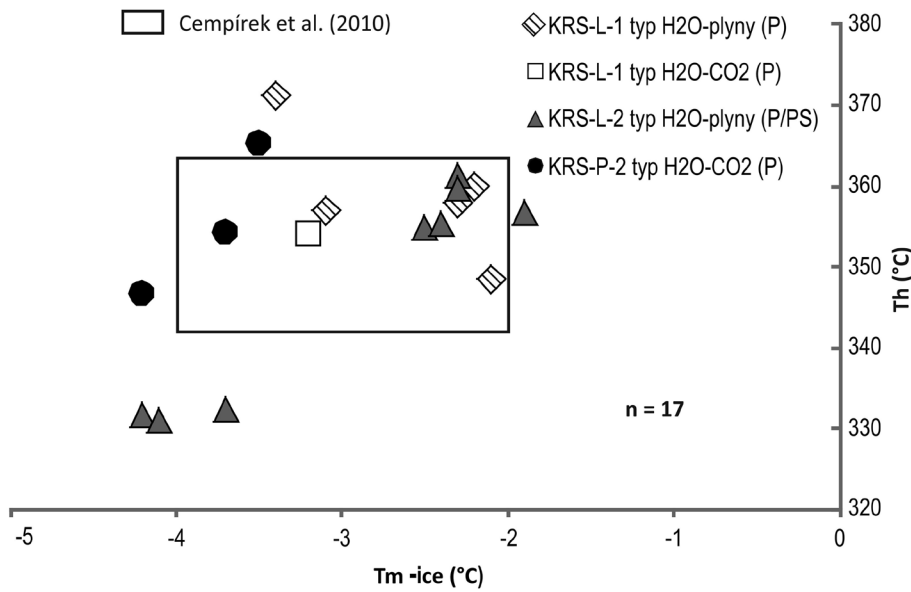
Obr. 5 Histogram homogenizačních teplot pro vodné inkluze s plynnými složkami



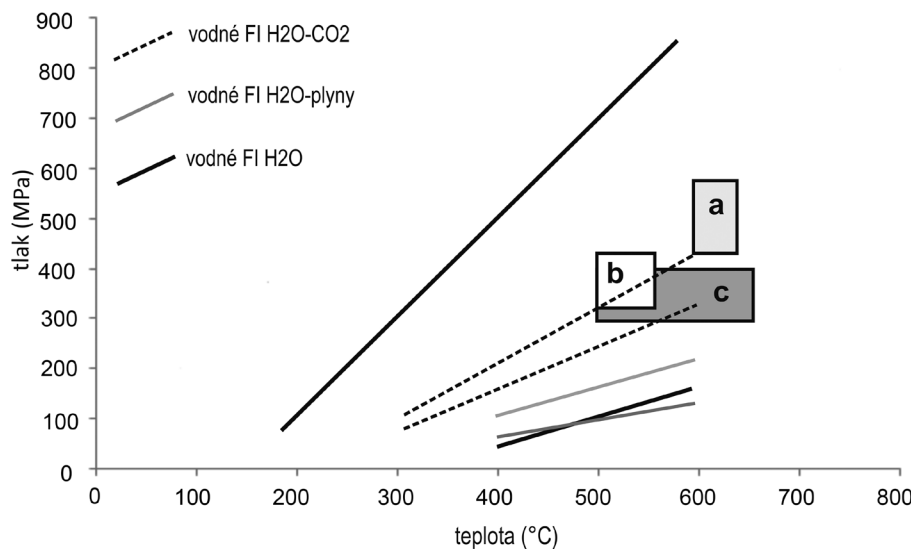
Obr. 6 Histogram teplot tání ledu pro vodné inkluze s plynnými složkami



Obr. 7 Diagram závislosti homogenizačních teplot a teplot tání ledu pro vodné fluidní inkluze bez plyných složek. Pro srovnání jsou znázorněny i rozsahy publikovaných dat pro inkluze z moldanubických pegmatitů.



Obr. 8 Diagram závislosti homogenizačních teplot a teplot tání ledu pro fluidní inkluze s plynými komponentami. Pro srovnání jsou znázorněny i rozsahy publikovaných dat pro inkluze z moldanubických pegmatitů.



Obr. 9 P-T diagram s vynesenými krajními izochorami z Krásnévsí. Oblast (a) znázorňuje P-T podmínky pegmatitové krystalizace pro primitivní pegmatity z Vlastějovic (Ackerman et al. 2007). Oblast (b) znázorňuje P-T podmínky pegmatitové krystalizace pro lithné pegmatity z Vlastějovic (Ackerman et al. 2007). Oblast (c) reprezentuje P-T podmínky vzniku dutinových pegmatitů moldanubika (Gadas et al. 2012).

litě KRS-P primární a pseudosekundární inkluze vykazují trend, kde došlo k mísení dvou roztoků (vysokoteplotní/nízkosalinní a nízkoteplotní/středněsalinní). U sekundárních inkluzí z této lokality nejspíše rovněž došlo k míchání dvou fluid s odlišnou teplotou a salinitou.

Teplota iniciálního tání pro vodné systémy s příměsí plynů se podařilo změřit jen u třech inkluzí na lokalitě KRS-L, jejichž hodnota (-24.8 až -19.3 °C) značí přítomnost NaCl. Pomocí Ramanovy spektroskopie byl v plynné fázi inkluze zjištěn oxid uhličitý s příměsí metanu a dusíku. Tyto inkluze lze tedy definovat jako systém H₂O-NaCl-plyny. Naměřené mikrotermometrické údaje jsou kompatibilní s 89.5 - 92.2 mol. % vody, 4.7 - 7.4 mol. % oxidu uhličitého, 0.2 - 0.5 mol. % metanu, 0.2 - 0.6 mol. % dusíku a 0.8 - 1.3 mol. % NaCl. Salinita vodného roztoku je v rozmezí mezi 3.1 a 4.5 hm. % NaCl ekv. (program ICE). Molární objem fluida je 34.8 - 36.0 cm³/mol.

Na obou lokalitách byly zjištěny i primární trojfázové inkluze (L1+L2+V). Teplotu iniciálního tání se však nepodařilo naměřit. Pevný CO₂ tál v rozmezí -58.8 až -57.3 °C, tyto teploty jsou však v porovnání s teplotou trojného bodu CO₂ nižší, což může způsobovat příměs jiných plynů, např. CH₄ a/nebo N₂ (Zachariáš 2000). Teploty tání pevného CO₂ a teploty parciální homogenizace CO₂ fáze byly vyneseny do V-X diagramu pro výpočet složení a molárního objemu směsi CO₂-CH₄, které odpovídají hodnotám 89 - 97 mol. % CO₂ a 3 - 11 mol. % CH₄ (Heyen et al. 1982). Salinita byla vypočítána z teplot tání klatrátu (0.4 - 6.1 hm. % NaCl ekv.). Aproximujeme-li složení fluida na systém H₂O-CO₂-NaCl, naměřené mikrotermometrické parametry odpovídají 88.9 - 90.2 mol. % vody, 9.3 - 9.6 mol. % oxidu uhličitého a 0.1 - 1.7 mol. % NaCl. Hustota CO₂ fáze je 0.248 - 0.258 g/cm³. Molární objem fluida odpovídá 32.9 - 34.9 cm³/mol. Teploty celkové homogenizace a teploty tání ledu byly vyneseny do grafu (obr. 8). Vzhledem k malému množství získaných dat lze pouze pozorovat jen náznaky trendů. Primární a pseudosekundární FI s klatrátem naznačují mísení dvou roztoků, které se nelišily až tak teplotou, ale spíše salinitou. V případě primárních trojfázových (L1+L2+V) inkluzí s plynným i kapalným CO₂ je patrné, že se jedná o vysokoteplotní/nízkosalinní roztoky.

Vzhledem k tomu, že fluidní inkluze ve všech studovaných vzorcích vykazují stálé fázové poměry, lze předpokládat zachycení všech typů inkluzí z homogenního fluida. Pro stanovení reálných P-T podmínek by bylo nezbytné použití nezávislých termometrů či barometrů. Námí získaná data je možné srovnat s již publikovanými údaji o P-T podmínkách pegmatitové krystalizace a podmínkách vzniku dutinových pegmatitů moldanubika. Ackerman et al. (2007) stanovili P-T podmínky pegmatitové krystalizace pro primitivní pegmatity z Vlastějovic na 600 - 640 °C a 420 - 580 MPa a pro lithné pegmatity z téže lokality na 500 - 560 °C a 310 - 430 MPa. Gadas et al. (2012) odhadují P-T podmínky vzniku dutinových pegmatitů moldanubika na 500 - 650 °C a 300 - 400 MPa. Námí sestrojené izochory korelují s publikovanými P-T podmínkami (obr. 9).

Porovnání s publikovanými údaji

V pegmatitech z Vlastějovic se ve fluoritu vyskytují pseudosekundární FI, které byly rozděleny na dvě podskupiny - nízkosalinní/vysokoteplotní a středněsalinní, nízkoteplotní (Ackerman et al. 2007). Námí naměřené hodnoty P a PS inkluzí na lokalitě lom korelují se skupinou nízkosalinních, vysokoteplotních roztoků.

V případě sekundárních inkluzí mají homogenizační teploty větší rozptyl, ale salinita je velmi obdobná našim naměřeným parametrům. Staněk a Pich (1981) popsali také přítomnost plynů CO₂ a N₂ u primárních a pseudosekundárních inkluzí ze záhněd z lokalit západní Moravy (Suky, Bobruvka, Cyrilov a Rousměrov). Inkluze vykazovaly široký rozptyl teplot homogenizací (185 až 337 °C), jejichž rozsah je širší než v námi studovaných vzorcích. Halavinová a Přichystal (2008) také popisují přítomnost komplexních chloridových systémů H₂O-NaCl±CaCl₂±KCl±FeCl₂±MgCl₂ v křišťálech z deluviofluvialních sedimentů ve Skléném nad Oslavou a Rousměrově. Na lokalitě Brtnice byla také zjištěna pomocí Ramanovy spektroskopie přítomnost plynů CO₂, N₂ a CH₄. Teploty homogenizací i salinita nejsou v rozporu s námi naměřenými hodnotami. Přítomnost systémů H₂O-NaCl-FeCl₂ a H₂O-NaCl-MgCl₂ byla zjištěna i v turmalinických pegmatitech z lomu Horní Bory u Velkého Meziříčí (Fuksová a Dolníček 2012). Cempírek et al. (2010), Fuksová a Dolníček (2012), Halavinová a Přichystal (2008), Ackerman et al. (2007) ve svých pracích popisují také trojfázové (L1+L2+V) inkluze, které obsahovaly vodný roztok, kapalným CO₂ a plynným CO₂. Nízké teploty tání pevného CO₂ zaznamenali Cempírek et al. (2010) v křemenu z pegmatitu bohatého na bezvodé borosilikáty a Ackerman et al. (2007) v lithném pegmatitu z Vlastějovic. Opět se tyto inkluze shodují svými termometrickými parametry s námi naměřenými hodnotami. Cempírek et al. (2010) ve své práci zmiňují, že původ těchto fluid by mohl mít spojitost s primární krystalizací pegmatitu bohatého na bezvodé borosilikáty, avšak nízká hustota spíše naznačuje souvislost fluid s retrogradní metamorfózou a tektonickými procesy. Obdobný látkový charakter fluid i měřených mikrotermometrických charakteristik fluidních inkluzí nasvědčuje obdobnému mechanismu formování fluid spjatých se vznikem pegmatitů v oblasti moldanubika.

Závěr

Na obou lokalitách (KRS-L a KRS-P) od Krásnévsí byly v záhnědách zjištěny vodné fluidní inkluze s obsahem a bez obsahu plynných komponent. Na vzniku dutinových pegmatitů se podílelo více typů fluid, které se na zkoumaných lokalitách lišily. Na lokalitě KRS-L se jednalo o vysokoteplotní (Th = 241 - 364 °C), nízkosalinní (2.6 - 5.4 hm. % NaCl ekv.) a nízkoteplotní (Th = 118 - 171 °C), nízkosalinní fluida (2.1 - 4.4 hm. % NaCl ekv.) Je zde také patrné, že starší generace fluid vznikala za daleko vyšších teplot než mladší generace. Docházelo tedy k postupnému ochlazení. U inkluzí z lokality KRS-P naopak došlo k míchání roztoků, které se lišily teplotou, a sice vysokoteplotních (Th = 163 - 374 °C) středněsalinních (3.9 - 10.1 hm. % NaCl ekv.) fluid a nízkoteplotních (Th = 89 - 194 °C) středněsalinních (5.3 - 10.9 hm. % NaCl ekv.) roztoků. Vodné inkluze s obsahem plynů se vyskytovaly jako dvoufázové (L+V), kde byla v plynné fázi pomocí Ramanovy spektroskopie stanovena převaha CO₂ s příměsí N₂ a CH₄. Sporadicky se vyskytovaly i trojfázové (L1+L2+V) inkluze s vodným roztokem, kapalným CO₂ i plynným CO₂. Tato fluida byla vysokoteplotní (Th = 330 - 398 °C) a nízkosalinní (0.4 - 6.1 hm. % NaCl ekv.). Publikované P-T podmínky pegmatitové krystalizace a vzniku dutinových pegmatitů rámcově odpovídají průběhu sestrojených izochor. Složení a mikrotermometrické charakteristiky fluidních inkluzí jsou rámcově podobné publikovaným údajům o pegmatitových fluidech moldanubika.

Poděkování

Studie byla podpořena projektem IGA UP PŘF-2014019. Autoři děkují P. Koděrovi a anonymnímu recenzentovi za připomínky, které přispěly k vylepšení rukopisu.

Literatura

- Ackerman L., Zachariáš J., Pudilová M. (2007) P-T and fluid evolution of barren and lithium pegmatites from Vlastějovice, Bohemian Massif, Czech Republic. *Int. J. Earth Sci.* 96, 623-638.
- Bakker R. J. (2003) Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties. *Chem. Geol.* 194, 3-23.
- Bodnar R. J. (1993) Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-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 H₂O-CO₂-NaCl on phase relations in geologic systems: equation of state for H₂O-CO₂-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 (abstr.). *Second biennial Pan-American conference on research on fluid inclusions, program with abstracts*, 14.
- Burke E. A. J. (2001) Raman microspectrometry of fluid inclusions. *Lithos* 55, 139-158.
- Cempírek J., Novák M., Dolníček Z., Kotková J., Škoda R. (2010) Crystal chemistry and origin of grandidierite, ominelite, boralsilite and werdingite from the Bory Granulite Massif, Czech Republic. *Am. Mineral.* 95, 10, 1533-1547.
- Duan Z., Moller R. N., Weare J. H. (1996) A general equation of state for supercritical fluid mixtures and molecular dynamics simulation of mixture PVTX properties. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60, 7, 1209-1216.
- Fuksová A., Dolníček Z. (2012) Fluidní inkluze v primitivních turmalinických pegmatitech z lomu Bory u Velkého Meziříčí (strážecké moldanubikum) - předběžné výsledky. In: *Sborník referátů Moravskoslezské paleozoikum 2012. - PŘF UPOL Olomouc*, 10-12.
- Gadas P., Novák M., Staněk J., Filip J., Vašinová Galiová M. (2012) Compositional evolution of zoned tourmaline crystals from pockets in common pegmatites of the Moldanubian Zone, Czech Republic. *Can. Mineral.* 50, 743-760.
- Halavínová M., Přichystal A. (2008) Fluid inclusion characteristics of rock crystal sources from the Bohemian-Moravian Highlands. In: *Přichystal A., Krmíček L., Halavínová M., (eds.): Petroarchaeology in the Czech Republic and Poland at the beginning of the 21st century*, pp. 67-73. Vyd. Ústav geologických věd PŘF MU a Moravské zemské muzeum.
- Heyen G., Ramboz C., Dubessy A. (1982) Simulation des équilibres de phases dans le système CO₂-CH₄ en dessous de 50 °C et de 100 bar. Application aux inclusions fluides. *C. R. Acad. Sci.* 294, 203-206.
- Novák M. (2005) Granitické pegmatity Českého masivu (Česká republika): mineralogická, geochemická a regionální klasifikace a geologický význam. *Acta. Mus. Moraviae, Sci. Geol.* 90, 3-74. Brno.
- Staněk J., Plich M. (1981) Mineralogie der Mährischen Paläolithischen Bergkristallindustrie und Beitrag zur Lösung ihrer Provenienz. *Scr. Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun.* 11, 1, 49-61. Brno.
- Zachariáš J. (2000) Úvod do studia plynokapalných inkluzí. *Karolinum, Praha*.
- Zhang Y. G., Frantz J. D. (1987) Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions. *Chem. Geol.* 64, 335-350.