

ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA FLUID Z KŘEMENNÉ ŽÍLY OD BUDČE (MOLDANUBIKUM)

Basic characteristics of fluids from quartz vein at Budeč (Moldanubicum)

Zdeněk Dolníček¹, Karel Malý²

¹ Katedra geologie PřF UP, tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc; e-mail: dolnicek@prfnw.upol.cz

² Muzeum Vysočiny Jihlava, Masarykovo nám. 55, 586 01 Jihlava; e-mail: maly-karel@post.cz

(23-22 Žďár n. Sázavou)

Key words: Moldanubicum, quartz, hydrothermal veins, fluid inclusions, stable isotopes

Abstract

Fluid inclusions and oxygen isotope composition have been studied in quartz sampled from a ~30 cm thick NE-SW trending anchimono-mineral quartz vein hosted by Moldanubian gneisses at Budeč. Fluid inclusions contain, in addition to aqueous fluid and vapour bubble, also three types of heterogeneously trapped solids (possibly carbonate and unknown isometric and accicular phases). The vapour-containing fluid inclusions homogenized between 95 and 215 °C. Cryometric data are rather exotic: $T_f = -14$ to -49 °C, $T_e = -8$ to -38 °C, T_m of an unknown phase = -0.3 to -6.4 °C, T_m ice = 0.0 to -5.2 °C. The $\delta^{18}O$ of quartz is 0.0 ‰ SMOW, corresponding to fluid $\delta^{18}O$ between -11 and -22 ‰ SMOW calculated for the total range of T_h values. It may be concluded that the quartz originated from a rather specific fluid system. The salt content of fluids (including chlorides, and possibly also sulphates and/or bicarbonates) may have been possibly acquired due to various low-temperature dissolution, hydrolytic and/or oxidation reactions of meteoric water and silicate rocks.

Úvod

V prostoru vymezeném obcemi Žďár nad Sázavou – Sázava – Nové Veselí je několik mineralogicky zajímavých lokalit nezrudnělých křemenných žil. O většině z nich nebylo dosud nic publikováno (např. Hamry nad Sázavou, Sázava, Štenice), pouze některé jsou zmíněny ve sběratelských textech (např. Nové Veselí, Budeč). U České Meze, která je i sběratelsky nejznámější, proběhl geologický průzkum, který zkoumal možnosti využití křemene pro šperkařské účely (Mátl 1991). Mineralogie žil na všech lokalitách je velmi jednoduchá: v naprosté většině obsahují pouze různé barevné variety křemene (obecný křemen, křišťál, záhnědu, ametyst, morion), relativně často však vyvinuté v atraktivních krystalech.

Zkoumaná lokalita se nachází 1,5 km s. od Budče. V minulosti byla odkryta výkopem, který je dnes cca 45 m dlouhý, maximálně 12 m široký a 2,5 m hluboký. Směr výkopu je SV–JZ. Nově byla žíla ověřena výkopem, který v hloubce cca 3 m zastihl 30 cm mocnou polohu relativně čistého křemene až křišťálu uloženou v alterovaných rulách moldanubika.

V obvalech je nejběžnější masivní šedobílý až bílý křemen, často s povlaky limonitu a hydroxidů manganu. Vzácný je žlutohnědý opál, který tvoří výplň mezi krystaly křemene. Časté jsou krystaly obecného křemene do 3 cm rostlé do dutin. Méně běžné jsou drúzy křišťálu nebo světlé záhnědy s nízkou sloupcovitými krystaly do cca 5 cm; zcela výjimečné jsou světlé ametysty. Volné, dlouze sloupcovité a oboustranně ukončené krystaly křišťálu a záhnědy až 10 cm velké byly nalezeny v dutinách vyplněných RTG amorfní hmotou jílovitého vzhledu.

Fluidní inkluze

Ve třech vzorcích křemene (křišťálu) byly studovány fluidní inkluze (FI). Petrografické i mikrotermometrické charakteristiky inkluzí jsou ve všech třech vzorcích velmi podobné.

Přítomné inkluze se vyskytují buď jako solitérní nebo na vyhojených mikrotrhlinách, které však většinou neprotínají celé zrno hostitelského minerálu. Vzhledem ke skutečnosti, že tyto FI mají stejné fázové a mikrotermometrické charakteristiky jako solitérní (primární?) inkluze, předpokládáme, že jde spíše o pseudosekundární než o sekundární inkluze. Tvary inkluzí jsou ponejvíce nepravidelné, někdy je patrný náběh na tvar „negativního krystalu“, na němž lze identifikovat plochy prizmatu i obou klenců. Inkluze mají často i značnou velikost, dosahující až několika desítek mm.

Pozoruhodné je fázové složení přítomných inkluzí. Všechny inkluze obsahují převahu vodného roztoku. Většina inkluzí obsahuje také plynnou bublinu, která zaujímá 5–10 obj. %. Menší část inkluzí je bez bubliny, což lze interpretovat jako metastabilní stav nebo (méně často) důsledek postdepozičního „zrání“ inkluzí (necking-down). Řada inkluzí obsahuje navíc jednu nebo více pevných fází. Podle vnější morfologie a optických vlastností lze rozlišit minimálně tři typy pevných fází: 1) izometrická zrna či krystaly s kosočtvercovým obrysem, vysokým indexem lomu (porovnáváno s kapalnou fází uzavíranou v inkluzích) a vysokým dvojlomem; 2) izometrická či nepravidelná zrna s nižším indexem lomu, izotropní nebo s velmi nízkým dvojlomem; 3) jehličkovité či sloupečkovité krystaly, rovněž s nízkým indexem lomu a izotropní či jen velmi slabě dvojlomné. V prvním případě jde patrně o karbonát, povahu zbývajících

dvou typů pevných fází se zatím nepodařilo určit. Pozoruhodným rysem je, že pevné fáze dvou posledně zmiňovaných typů se uvnitř inkluzí za pokojové teploty v mnoha případech zřetelně pohybují (!). Pevné fáze nesou jednoznačné znaky heterogenně zachycených fází (tj. nejde o tzv. dceřinné minerály, vykrystalizované až po ochlazení původně homogenního roztoku): nahodilý výskyt, různé počty individuí pevné fáze v různých inkluzích, variabilní velikost neodpovídající velikosti celé inkluze.

Výsledky mikrotermometrických měření inkluzí jsou shrnuty v tab. 1. Teploty homogenizací inkluzí s bublinou vykazují poměrně široký rozsah hodnot mezi 95 a 215 °C s normálním rozdělením (obr. 1a). Širší rozptyl vykazují jak inkluze v rámci konkrétní jedné mikrotrhliny, tak inkluze solitérní. Pevné fáze se během zahřívání nijak nemění a nerozpouštějí, pouze jejich pohyb se s rostoucí teplotou zrychluje.

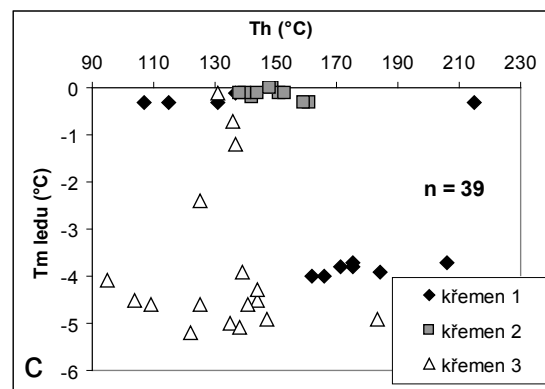
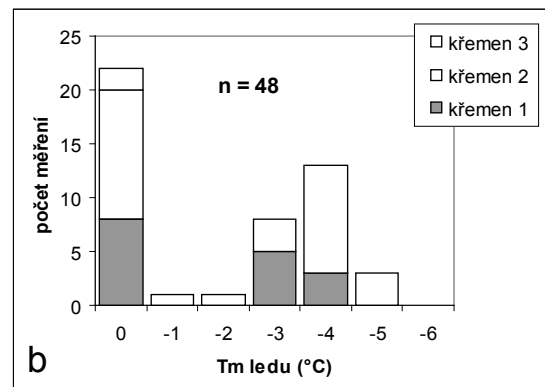
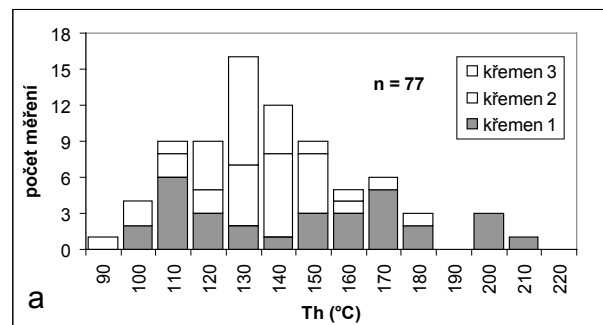
Při ochlazování inkluze zamrzají za poměrně vysokých teplot mezi -14 (!) a -49 °C. Po vymrznutí zůstávají inkluze bezbarvé, pouze v některých případech s vyššími Tm ledu (Budeč 3) je někdy patrná granulární struktura vymražených inkluzí. Při vymrazení došlo ve většině inkluzí (s Th pod 160–180 °C) k eliminaci plynné bubliny. Aby mohly být měřeny teploty tání pevných fází v rovnováze s plynnou fází, musela být u inkluzí uměle snížena jejich celková hustota přehřátím na 220 °C. Objevení první kapaliny, spojené s rekrystalizací zbývajících pevných fází, bylo při následném zahřívání zmrzlých inkluzí zaznamenáno za teplot -8 až -38 °C. Při dalším zahřívání taje další fáze (bezpečně neidentifikovaná) za teplot -0,3 až -6,4 °C. Jako poslední fáze taje ve všech inkluzích led za teplot 0,0 až -5,2 °C. Z obr. 1b je patrné bimodální rozdělení měřených hodnot Tm ledu. Ke kryometrickým měřením je třeba poznamenat, že v mnoha případech neexistuje – jinak obvyklá – úměra mezi hodnotami Tf, Te a Tm ledu. Jinými slovy, byly zjištěny i inkluze s vysokou Te, vysokou Tf a nízkou Tm ledu (zejm. vzorek Budeč 1). Chování plynné fáze při zmrazování a rozmrazování indikuje, že v některých inkluzích mohlo být přítomno i menší množství klathrátotvorného plynu.

V diagramu Th-Tm ledu (obr. 1c) jsou patrná dvě subhorizontální „pole“ vyznačující se variabilní teplotou a relativně stálou Tm ledu. Uvedené rozdělení naměřených dat lze interpretovat jako dva pulsy fluid s rozdílným složením (salinitou), které působily v obdobném teplotním režimu. Velkou variabilitu hodnot Th by bylo možno vysvětlit rychlým chladnutím hydrotermálního roztoku, mísením dvou fluid se stejnou salinitou a různou teplotou, příp. kombinací uvedených faktorů s variabilními tlakovými podmínkami při krystalizaci.

Interpretace mikrotermometrických dat směrem k popisu složení inkludovaných fluid je obtížným úkolem. Široký rozsah eutektických teplot pokrývá eutektika řady

Vzorek	Geneze	Fázové složení	Th (L+V)	Tf	Te	Tm fáze 2	Tm ledu
křemen 1	P, PS	L+V, ojed.L	102–215	-14/-44	-8/-18	-3,3/-5,7	-0,1/-4,1
křemen 2	P, PS	L+V, L	114–161	-23/-41	-9/-19	-0,3/-3,8	0,0/-0,3
křemen 3	P, PS	L+V, ojed.L	95–183	-38/-49	-18/-38	-5,3/-6,4	-0,1/-5,2

Tab. 1: Výsledky mikrotermometrie fluidních inkluzí z Budeče. Teplotní parametry ve °C. Tab. 1: Results of the fluid inclusion microthermometry on three quartz samples from Budeč. The temperature parameters are in °C.



Obr. 1: Grafická prezentace výsledků mikrotermometrie fluidních inkluzí. a – histogram homogenizační teplot dvoufázových L+V inkluzí; b – histogram teplot tání posledního ledu; c – diagram Th versus Tm ledu.

Fig. 1: A graphical presentation of results of fluid inclusion microthermometry. a – histogram of homogenization temperatures of two-phase L+V inclusions; b – histogram of melting temperatures of last ice; c – Th versus Tm-ice plot.

systémů (Shepherd et al. 1985): vodné roztoky s různými karbonáty či sírany (Te pod -10°C), $\text{KCl-H}_2\text{O}$ (Te $-10,6^{\circ}\text{C}$), $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ (Te -21°C), vodné roztoky s chloridy Mg či Fe (Te kolem -35°C). Aproximace salinity systémem $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ (tzv. NaCl – ekvivalent) by mohla být v případě přítomnosti karbonátů či síranů značně podhodnocena. Přítomnost solí, které i ve větších koncentracích jen málo sníží teplotu tání ledu (sírany, bikarbonáty), lze v některých inkluzích odůvodněně předpokládat (Budeč 1), jejich přesná identifikace však vyžaduje použití dalších metod.

Izotopové složení kyslíku

V jednom vzorku křemene byla stanovena hodnota $\delta^{18}\text{O}$. Stanovená hodnota je nezvykle nízká ($\delta^{18}\text{O} = 0,0\text{‰}$ SMOW). Vypočtená hodnota $\delta^{18}\text{O}$ fluida je pro celkový rozsah hodnot Th inkluzí rovněž velmi nízká (-11 až -22‰ SMOW), indikující jednoznačně přítomnost (recentní?) meteorické vody. Na této interpretaci by nic nezměnila

ani eventualita zvýšeného tlaku, kdy by byly skutečné teploty krystalizace vyšší než naměřené homogenizační teploty fluidních inkluzí: signatura mořské vody ($\delta^{18}\text{O} = 0\text{‰}$ SMOW) vychází pro teplotu 720°C a spodní limit pro metamorfní vodu ($\delta^{18}\text{O} = +3\text{‰}$ SMOW) pro teplotu $2500\text{--}2800^{\circ}\text{C}$ (!). Tlakové podmínky pro teplotu 700°C , Th cca 140°C a salinitu 5 hm. % NaCl ekv. by však dosahovaly min. 10 kbar (program Flincor; Brown 1989).

Závěr

Studovaná křemenná žíla od Budče je hydrotermálního původu. Použité metody naznačují, že se na jejím vzniku patrně podílel dosti specifický fluidní systém. Nelze vyloučit, že jednou z komponent hydrotermálních fluid mohly být roztoky „zvětrávacího“ původu, které svůj solný obsah získaly různými nízkoteplotními rozpouštěcími, hydrolytickými a oxidačními reakcemi srážkové vody a silikátových hornin.

Literatura

- 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.
- Mátl, V. (1991): Drahé kameny ČSSR. – MS, ÚÚG Praha.
- Shepherd, T. J. – Rankin, A. H. – Alderton, D. H. M. (1985): A practical guide to fluid inclusion studies. – Blackie. Glasgow and London.