

# TYPY FLUID V KŘIŠTÁLECH Z KŘEMENNÉ ŽÍLY OD HUTÍ U BECHYNĚ

Fluid types in rock crystals from quartz vein close to Hutě near Bechyně

Přemysl Pořádek<sup>1</sup>, Marek Slobodník<sup>1</sup>, Jaroslav Cícha<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ústav geologických věd PŘF MU, Kottlářská 2, 637 11 Brno; e-mail: 327910@mail.muni.cz

<sup>2</sup> Prácheňské muzeum v Písku, Velké nám. 114, 397 24 Písek

(22-42 Bechyně)

**Key words:** Moldanubicum, quartz vein, fluid inclusions, microthermometry

## Abstract

Pure quartz crystals occurred in the vein penetrating intensely altered biotite migmatites in proximity of the eclogite body located NE from Hutě near Bechyně. Optical microthermometry has been applied on fluid inclusions (FI) in quartz. Two-phase primary inclusions contain aqueous solution, vapour phase and rarely unidentified solid phase as well (type L+V±S). Medium tempered fluids ( $T_h = 251/270$  °C) contain a little amount of CO<sub>2</sub> and eutectic temperatures ( $T_e = -9,5/-4,3$  °C) suggests presence of sulphates and/or (hydrogen)carbonates. The overall composition of trapped fluid is H<sub>2</sub>O-MgSO<sub>4</sub> ± Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ± K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ± KCl ± CO<sub>2</sub>. Such not common composition of aqueous phase might be a result of interaction of fluids and ultrabasic rocks containing sulphides.

## Úvod

V zájmovém území se zabývalo geologickou nebo mineralogickou problematikou několik autorů avšak hlavně z širšího pohledu a mapovacích prací (např. Tomas et al. 1976, Bouška et al. 1972). Zejména mineralogickou charakteristiku a geologickou pozici křemenné žíly v Hutích u Bechyně popisuje Welser et al. (2004). Studovaná křemenná žíla byla objevena sběrateli teprve v 90. letech minulého století. Cílem studia je zjistit charakter fluid, z nichž křemen krystaloval.

## Metodika

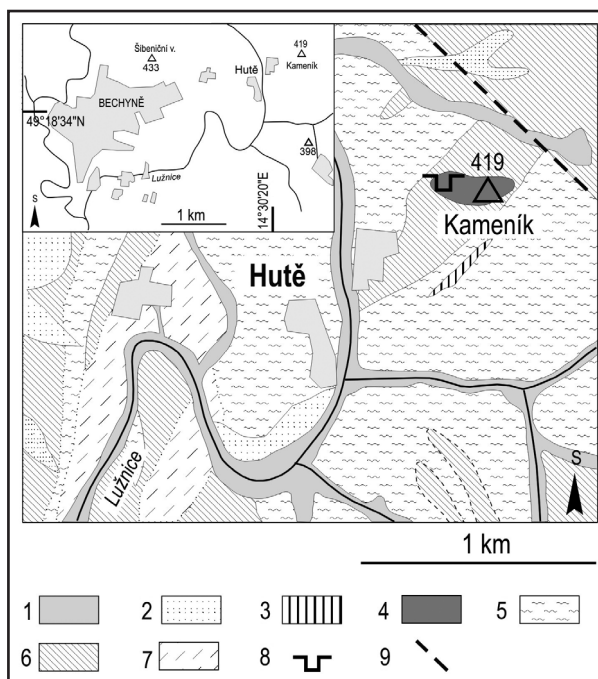
Pro studium fluidních inkluzí v polarizačním mikroskopu a pro mikrotermometrické měření byla vyhotovena ze vzorku křišťálu oboustranně leštěná destička o tloušťce 150 µm.

Nejprve byl vzorek podroben optické mikroskopii, při které se studovaly petrografické vlastnosti fluidních inkluzí – pozice ve vzorku, velikost, tvar, fázové složení, atd. Na základě těchto informací byly definovány typy inkluzí přítomných ve vzorku.

Vlastní mikrotermometrické měření bylo provedeno na ÚGV MU v Brně na mikroskopu Nikon typu Eclipse 80i s nainstalovaným mikrotermometrickým stolkem LINKAM THMSG 600, který umožňuje měření fázových přechodů v teplotním rozsahu 600 °C až -196 °C. Pro kalibraci přístroje a měření byly použity syntetické fluidní inkluze (H<sub>2</sub>O-NaCl, H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>). Měřeny byly následující parametry: teplota homogenizace ( $T_h$ ), eutektická teplota ( $T_e$ ), teplota tání ( $T_m$ ), popř. i teplota zamrznutí ( $T_f$ ).

## Geologické poměry oblasti

Lokalita leží přibližně 0,5 km sv. od obce Hutě v oblasti jihočeského moldanubika (obr. 1). Zde je na vrchu Kameník (kóta 419 m) zašlý jámový lom oválného půdo-



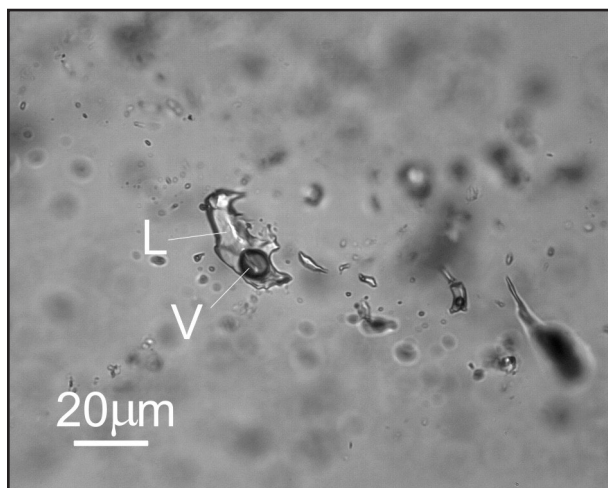
Obr. 1: Geologická a topografická situace okolí lokality. Vysvětlivky: 1 – fluviální sedimenty, 2 – eolické sedimenty, 3 – křemenná žíla, 4 – eklogit, 5 – ortoruly, 6 – migmatity, 7 – pararuly, 8 – opuštěný lom, 9 – zlom. Upraveno podle <http://mapy.geology.cz/website/geoinfo/viewer3.htm>.

Fig. 1: Geologic and topographic situation of surrounding of locality. Legend: 1 – fluvial sediments, 2 – aeolian sediments, 3 – quartz vein, 4 – eclogite, 5 – orthogneiss, 6 – migmatite, 7 – paragneiss, 8 – abandoned quarry, 9 – fault. Modified after <http://mapy.geology.cz/website/geoinfo/viewer3.htm>.

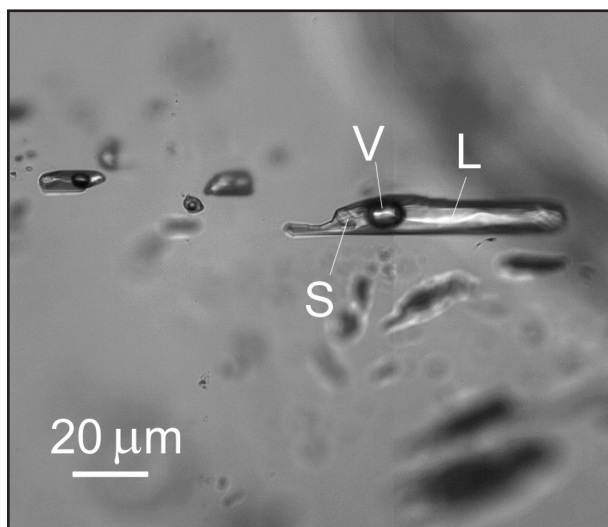
rysu založený v čoče eklogitu, která dosahuje rozměrů až 300 × 100 metrů. Eklogity tvoří na Bechyňsku několik těles v pararulách a migmatitech jednotlivé skupiny moldanu-

bika v blízkosti styku s tělesem bechyňské ortoruly. Eklogit u Hutě je uložen v biotickém migmatitu a je protažen paralelně se stavbou migmatitů ve směru Z–V. Obsahuje vložky amfibolitů, hadců a skarnů (Welser et al. 2004).

Křemenná žíla vystupuje ve svahu při s. okraji lomu, kde protíná silně hydrotermálně alterovaný biotický migmatit. V migmatitu je starší plagioklas ( $An_{20-30}$ ) sericitizovaný, mladší plagioklas je albiticky lamelovaný a je korodován draselným živcem a křemenem. Draselný živce je zastoupen perthitickým mikroklinem (Tomas et al. 1976). Směr SV–JZ této žíly je shodný se směry ostatních křemenných žil vymapovaných v okolí. Její maximální mocnost je 2,2 metru a obsahuje dutiny isometrického i čočkovitého tvaru, které jsou vyplněny jílovito-hlinitým materiálem okrové až tmavě hnědé barvy. V tomto materiálu bylo nalezeno mnoho dlouze prizmatických krystalů křemene (oboustranně ukončené krystaly, srůsty a prorostlice) do velikosti 10 cm. Na stěny dutin v podobě drúzovitých textur narůstají krystaly křemene až 20 cm



Obr. 2: Skupina dvoufázových (L+V) fluidních inkluzí v křemenu.  
Fig. 2: Group of two-phase (L+V) fluid inclusions in quartz.



Obr. 3: Třífázová fluidní inkluze s pravidelným protaženým tvarem v křemenu. L – kapalná fáze, V – plynná fáze, S – pevná fáze. Hutě u Bechyně.

Fig. 3: The three-phase fluid inclusion with regular elongated shape. L – liquid, V – vapour, S – solid. Hutě u Bechyně.

dlouhé. Krystaly jsou vždy zbarveny oxidy a hydroxidy železa a na jejich povrchu je také příčné rýhování způsobené opakovaným přirůstáním křemene na krystalové plochy. Masivní bílý křemen ojediněle obsahuje vtroušeniny světle žlutého a kovově lesklého pyritu do velikosti 1 cm, ale také až několikacentimetrové dutiny po vyloužení, blíže nezjištěném karbonátu, příp. barytu. Větší trhliny v křemenu bývají vyhojeny bíle a okrově zbarvenou drťí složenou z křemene a sericitu (Welser et al. 2004).

### Typologie fluidních inkluzí

V křemenu byly pozorovány pouze primární inkluze ve formě malých prostorových skupin nebo krátkých řad. Velikost studovaných inkluzí byla v rozmezí 6 až 90  $\mu\text{m}$ , průměrná velikost okolo 30  $\mu\text{m}$ . Vzácně se objevily i inkluze s velikostmi okolo 100  $\mu\text{m}$ . Omezení bylo téměř vždy nepravidelné, občas s náznaky negativních krystalových tvarů. Za laboratorní teploty byly inkluze většinou dvoufázové s kapalinou a plynem (L+V, obr. 2). Některé inkluze obsahují navíc blíže neurčenou pevnou fázi (S – solid) a typ inkluzí je pak označován jako L+V+S (obr. 3). Stupeň zaplnění (F), resp. poměr fází  $F = L/(L+V)$  (L – liquid, V – vapour) se pohyboval od 0,7 do 0,95.

### Mikrotermometrie

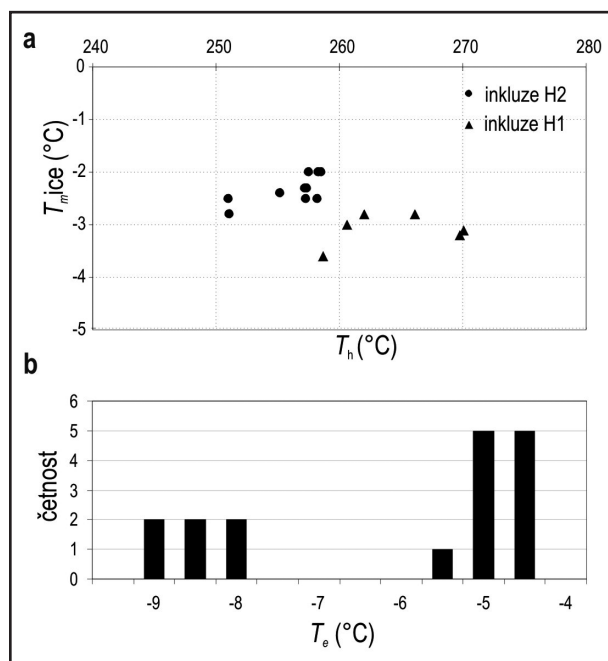
Celkem bylo podrobně studováno 18 inkluzí (tab. 1). Teploty homogenizace se pohybovaly v relativně malém rozpětí od 251,0  $^{\circ}\text{C}$  do 270,1  $^{\circ}\text{C}$  (obr. 4a). Všechny inkluze homogenizovaly na kapalnou fázi.

Během kryotermometrie se mezi inkluzemi objevily určité rozdíly. Eutektické teploty ( $T_e$ ) rozdělily soubor dat na dvě skupiny (obr. 4). Jedna skupina inkluzí (H1, č. 13–18) měla nižší teploty v rozmezí -9,5  $^{\circ}\text{C}$  až -7,5  $^{\circ}\text{C}$ , v druhé skupině (H2) byly teploty o něco vyšší, -5,3  $^{\circ}\text{C}$

Inkluze č.	Fázové složení	$T_h$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_e$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{m\text{ice}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{m\text{cla}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	L + V + S	257,5 $\rightarrow$ L + S	-4,3	-2,0	5,0
2	L + V + S	257,2 $\rightarrow$ L + S	-4,6	-2,3	
3	L + V	257,3 $\rightarrow$ L	-4,9	-2,5	
4,5	L + V	258,3 $\rightarrow$ L	-4,3	-2,0	
6	L + V	258,5 $\rightarrow$ L	-4,3	-2,0	
7	L + V + S	257,4 $\rightarrow$ L + S	-5,3	-2,3	
8	L + V	251 $\rightarrow$ L	-5,2	-2,5	
9	L + V	251,1 $\rightarrow$ L	-5,0	-2,8	
10	L + V	255,2 $\rightarrow$ L	-5,0	-2,4	
11	L + V	259,2 $\rightarrow$ L			
12	L + V	258,2 $\rightarrow$ L	-5,2	-2,5	8,0
13	L + V + S	266,1 $\rightarrow$ L + S	-7,8	-2,8	9,0
14	L + V + S	270,1 $\rightarrow$ L + S	-8,2	-3,1	8,2
15	L + V	262 $\rightarrow$ L	-8,8	-2,8	10,2
16	L + V	260,6 $\rightarrow$ L	-9,0 až -8,0	-3,0	8,6
17	L + V	258,7 $\rightarrow$ L	-9,5 až -7,5	-3,6	
18	L + V + S?	269,8 $\rightarrow$ L + S?	-9,2	-3,2	7,8

Tab. 1: Mikrotermometrické parametry fluidních inkluzí v křemenu (křišťál).

Tab. 1: Microthermometric parameters from fluid inclusions in quartz (rock crystal).  $T_h$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) – temperature of homogenisation,  $T_e$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) – eutectic temperature,  $T_{m\text{ice}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) – melting temperature of ice,  $T_{m\text{cla}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) – melting temperature of clathrate.



Obr. 4: a – Datový soubor mikrotermometrických měření rozdělený na dvě skupiny (H1, H2) v diagramu  $T_h$ - $T_m$ ; b – histogram eutektických teplot z fluidních inkluzí v křemenu.

Fig. 4: a – The data set of microthermometric measurements divided into two clusters (H1, H2) in the  $T_h$ - $T_m$  plot; b – histogram of eutectic temperatures from fluid inclusions in quartz.

až  $-4,3$  °C. V některých případech, kdy se tající kusy ledu přemístily k tmavému kraji inkluze, nebylo tuto teplotu možné přesně stanovit, byla zjištěna teplota pouze přibližně nebo byl stanoven teplotní rozsah (např. inkluze č. 16 a 17). Současně vykazují inkluze H1 o něco nižší teploty  $T_{m,ice}$  ( $-3,6$  až  $-2,8$  °C) a téměř vždy bylo možné v této skupině naměřit teplotu  $T_{m,cla}$ . V jednom případě bylo patrné vymrznutí fáze  $CO_2$  při teplotě  $-105$  °C, což můžeme považovat za potvrzení přítomnosti  $CO_2$  i v ostatních inkluzích s detekovanými hydráty plynu a zjištěnou teplotou  $T_{m,cla}$  mezi  $+7,8$  a  $+10,2$  °C (tab. 1). Skupina inkluzí H2 má trochu vyšší  $T_{m,ice}$  než ve skupině H1, a to mezi  $-2,8$  a  $-2,0$  °C a jen výjimečně bylo možné naměřit  $T_{m,cla}$ , což indikuje přítomnost i  $CO_2$ .

#### Diskuze a závěr

Zjištěné eutektické teploty byly porovnány s experimentálními a modelovými hodnotami. Naměřené  $T_e$  naznačují podobnost s vodnými fluidy obsahujícími buď pouze  $MgSO_4$  (metastabilní  $T_e = -5,0$  °C, stabilní  $T_e = -3,6$  °C, Marion – Farren 1999) nebo spíše  $MgSO_4$  s dal-

šími příměsmi, které mohou snižovat  $T_e$  pod  $-5$  °C, např. KCl ( $T_e = -10,5$  °C, Spencer et al. 1990). Velmi blízké jsou i stabilní experimentální  $T_e$  trojsložkových systémů vody s  $K_2SO_4$ - $MgSO_4$  ( $T_e = -4,8$  °C a  $-5,2$  °C, Marion – Farren 1999, resp. Buchštejn et al. 1953) a nebo s  $Na_2SO_4$ - $MgSO_4$  ( $T_e = -5,0$  °C, Marion – Farren 1999, Buchštejn et al. 1953). Dále např. systém  $KHCO_3$ - $H_2O$  má stabilní  $T_e = -6$  °C (Spencer et al. 1990). Tato teplota je v rozpětí naměřených mikrotermometrických dat, což nevylučuje přítomnost uhličitanu nebo hydrogenuhličitanu ve fluidních inkluzích. Méně běžné mikrotermometrické parametry s eutektickými teplotami vodného systému mezi  $-38$  a  $-8$  °C v křemenu ze žíly u Budče zjistili také Dolníček a Malý (2007).

Naměřené teplotní parametry nemohly být pro chybějící stavové rovnice uvedeného systému ( $MgSO_4$  + příměsi) použity dále pro výpočty vlastností, např. salinity. Zjištěné teploty homogenizace jsou v malém rozpětí, což ukazuje na relativní stálost podmínek při krystalizaci křemene. Při homogenizaci došlo několikrát k dekrepitaci inkluzí, což také podporuje přítomnost obsahu  $CO_2$ . Podle získaných dat bylo stanoveno chemické složení  $MgSO_4$  + příměsi (další sírany –  $K_2SO_4$  nebo  $Na_2SO_4$ ; popř. i KCl).

Interpretované chemické složení inkudovaných fluidů může mít souvislost buď s geologickou stavbou území a/ nebo s chemickým složením podzemních vod. Křemenná žíla na vrchu Kameník je situována vedle čočky eklogitu, který podle Tomase et al. (1976) obsahuje v jemnozrnnějších partiích hojná zrnka pyrotinu, a tak se tato hornina jeví jako možný zdroj iontů  $Mg^{+2}$  a sulfátu, navíc přes studované území prochází pruh pestré série moldanubika (součást sušicko-votického pruhu obsahující horniny s grafitem a sulfidy). Chemický typ podzemních vod na listu základní geologické mapy Želeč je převážně Ca-Mg-bikarbonátový a Ca-bikarbonátový, místy se zvýšeným obsahem iontů  $Na^+$  a  $SO_4^{-2}$  (Tomas et al. 1976). Na sousedním listu Bechyně je podobná mineralizace vod společně s Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> a Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>, u vod s nízkou mineralizací převažují typy s vyšším obsahem  $SO_4^{-2}$ . Karlův pramen v Bechyni má také významný obsah Fe a volného  $CO_2$  (Vrána et al. 1976).

Závěrem je možné konstatovat, že studované křišťály z křemenné žíly z lokality Hutě u Bechyně krystalovaly za relativně stabilních podmínek středně vysokých teplot z vodných fluidů typu  $H_2O$ - $MgSO_4$  ±  $Na_2SO_4$  ±  $K_2SO_4$  ± KCl ±  $CO_2$ .

#### Poděkování

Studium je součástí výzkumného záměru MSM 00021622427.

**Literatura**

- Bouška, V. – Pokorný, J. – Adam, J. (1972): Krystalochemické vztahy rutilu a železnatého rutilu. – Sborník Geologických Věd, řada Technologie, geochemie, 10, 45–64.
- Buchštejn, V. M. – Valjaško, M. G. – Peř, A. D. (1953): Spravočnik po rastvorimosti solevnyh sistem. – Goschimizdat, Moskva – Leningrad.
- Dolníček, Z. – Malý, K. (2007): Základní charakteristika fluid z křemenné žíly od Budče (moldanubikum). – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2006, 14, 66–68.
- Marion, G. M. – Farren, R. E. (1999): Mineral solubilities in the Na-K-Ca-Mg-Cl-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O system: A re-evaluation of the sulfate chemistry in the Spencer-Möller-Weare model. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63, 1 305–1 318.
- Spencer, R. J. – Möller, N. – Weare, J. H. (1990): The prediction of mineral solubilities in natural waters: A chemical equilibrium model for the Na-K-Ca-Mg-Cl-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O systems at the temperatures below 25 °C. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 575–590.
- Tomas, J. – Bernard, J. H. – Líbalová, J. – Malecha, A. – Stříca, M. – Šalanský, K. – Žebera, K. (1976): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1 : 25 000, list 22-422 Želeč. Ústřední ústav geologický Praha.
- Vrána, S. – Bernard, J. H. – Fediuk, F. – Hejtman, B. – Líbalová, J. – Malecha, A. – Skořepa, J. – Šalanský, K. – Žebera, K. (1976): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1 : 25 000, list 22-421 Bechyně. – Ústřední ústav geologický Praha.
- Welser, P. – Plecer, V. – Plecer, J. (2004): Lokalita krystalovaného křemene Hutě u Bechyně. – *Mínérál*, 4, 261–264.