

GENEZE KŘEMENNÝCH ŽIL U VELKÉ KRAŠE V SILEZIKU

Origin of quartz veins near Velká Kraš in the Silesicum

Marek Slobodník¹, Antonín Přichystal¹, Rostislav Morávek²

¹ Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: marek@sci.muni.cz

² Vlastivědné muzeum v Olomouci, nám. Republiky 5, 771 73 Olomouc

(14–22 Jeseník)

Key words: Silesicum, quartz, fluid inclusions, oxygen isotopes

Abstract

Fluid inclusions from the vein quartz near Velká Kraš have been investigated. Inclusions with two immiscible liquids, aqueous (L1) and carbonic (L2) one, have been found so far. Most of inclusions have a stable ratio of both liquids ($L2/L1 = 0.1$). Based on petrographic observation we could state that fluids might be trapped close to the one phase and two phase boundary of the H_2O -NaCl- CO_2 system. The two cogenetic fluid inclusions, with immiscible CO_2 -rich and H_2O -rich fluid phases, have been used for an estimation of the p - T conditions. The temperature 320 °C and pressure 2 050 bars could be a lower limit for the precipitation of the quartz. The salinity of the aqueous solution is 4.5 mass. % NaCl eq. The trapped fluids show a nature of the pegmatite post-magmatic solutions.

Úvod

Výskyt křemene u Velké Kraše je známý již dlouho, největší křemenná žíla na kótě Hahnwald (382 m n. m.) se nachází mezi Velkou Kraší a Kobylou. Dnes jsou stále ještě patrné rozsáhlé pozůstatky těžby z 19. a 20. st., ale historie dobývání křemene na této lokalitě je však mnohem starší. První zmínky pochází z roku 1509 v souvislosti se sklárnou v Kobylí. Těžba byla zastavena po roce 1566. Rozsáhlý průzkum včetně dvou šachet a šesti štol o celkové délce 347 m byl proveden v letech 1954–1955. V okolí se prováděl i novodobý průzkum i na lokalitách u Žulové, Skorošic a na dalších místech, která byla zkoumána v rámci samostatných vyhledávacích akcí na křemenné suroviny. Tyto probíhaly mezi lety 1960 a 1970 (Mališ – Pavlík 1974).

V literatuře býval výskyt uváděn jako křemenná žíla, i když první domněnky o jiné genezi byly vysloveny např. Staňkem – Kaláškem (1953).

Metodika

Za účelem poznání mateřských fluid a interpretace geneze křemene byly studovány primární a pseudosekundární fluidní inkluze v růstových zónách, krátkých řadách, skupinách a v izolovaných pozicích v masivním křemenu (spíše starší části žíly). Studium inkluzí bylo provedeno na zahřívací a chladicí komoře Linkam THMSG600 (na mikroskopu Nikon) v laboratoři na ÚGV PřF MU v Brně. Na kalibraci přístroje byly použity syntetické fluidní inkluze, přesnost měření se pohybovala v rozmezí 0,1 až 1,0 °C a podle kalibrace byly pak výsledky přepočteny. Na fluidních inkluzích byly měřeny následující parametry: teplota homogenizace inkluzí s dominantními vodnými fluidy (T_h), teplota celkové homogenizace v přítomnosti vodných roztoků a CO_2 ($T_{h\text{ tot}}$), teplota tání ledu (T_m ice), eutektická teplota (T_e), teplota homogenizace CO_2 ($T_{h\text{ CO}_2}$), teplota tání CO_2 ($T_m\text{ CO}_2$), teplota tání klatrátu (T_m clath).

Salinita vodných roztoků byla počítána a aproximována podle Bodnara (1993). V ostatních případech byly salinita a dále izochora pro vodná fluida a CO_2 , hustoty fluid a složek počítány v programech FLUIDS 1 (ICE, ISOC, BULK) (Bakker 2003).

Ze vzorků křemene byly provedeny izotopické analýzy. Vzorky pro analýzu stabilních izotopů kyslíku byly připraveny podrcením nejméně 3 mg materiálu. Izotopické analýzy kyslíku byly provedeny na Univerzitě v Loussane podle metodiky podrobně popsané Kasemannem et al. (2001). Po rozkladu vzorku (fluorinace, CO_2 laser, konverze s KCl) je kyslík koncentrován na molekulárním sítu a analyzován na hmotovém spektrometru Finnigan MAT 253. Izotopická data jsou vyjádřena v promile (‰) odchylky od standardu V-SMOW. Přesnost analýz byla pro kyslík běžně lepší než 0,1‰.

Geologická charakteristika lokality

Lokalita byla v minulosti známé ložisko křemene. Leží asi 2,5 km na J od obce Velká Kraš, ssv. od Žulové, na severním okraji lesní čtvrti Bažantnice. Z geologického hlediska se nachází v granitech žulovského masivu. Naleziště je proslulé z minulosti výskyty velkých krystalů křišťálu dosahujících délky až 1 m, běžně od 10 do 50 cm (Kruša 1973). Dnes křemenná žilovina vystupuje v umělých rýhách a stěnách, křemen je spíše masivní, jen místy jsou vyvinuté krystaly až křišťálového charakteru. Velmi čisté křišťály jsou vzácné. S křemenem se vyskytují menší skupiny šupin muskovitu a na okraji žil živce. Staněk – Kalášek (1953) definovali žílu jako pegmatit s extrémně vyvinutou křemennou zónou. Žíla má směr SZ–JV. Duktilní deformace křemene se projevuje undulózním zhášením. Deformace je identifikovatelná i makroskopicky, když v křemenu jsou zřetelné paralelní smouhy (traily), tvořené řadami fluidních inkluzí (pseudosekundární inkluze)

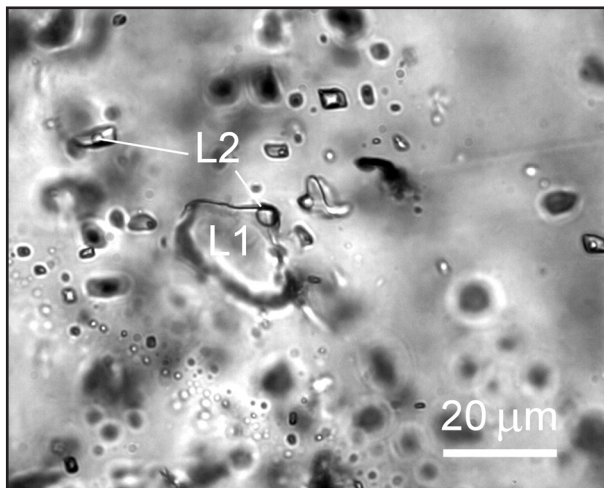


Obr. 1: Kontakt žilného křemene (qtz) s okolní alterovanou horninou (γ – granit) v povrchových dobytých u Velké Kraše.
Fig. 1: Contact zone of vein of quartz and altered rock (γ – granite) at abandoned mining pits near Velká Kraš.

svědčící o jeho deformaci. Granitoidní horniny v okolí žil jsou alterované (obr. 1).

Studium fluidních inkluzí

V krystalech křemene je velké množství pseudosekundárních inkluzí menších rozměrů nejčastěji mezi 2 a 13 μm , které jsou často uspořádány do kratších nebo delších trailů. Podle přítomnosti fází v inkluzích při laboratorní teplotě můžeme definovat dva typy



Obr. 2: Rozložení inkluzí v křemenu s rozlišitelnými nemísitelnými fázemi: L1 – vodný roztok, L2 – kapalné CO_2 . Velká Kraš.
Fig. 2: Space pattern of fluid inclusions in quartz with distinguishable non-miscible phases: L1 – aqueous solution, L2 – liquid CO_2 . Velká Kraš.

inkluzí: a) nejběžnější dvoufázové inkluze (obr. 2) se dvěma nemísitelnými kapalinami, a to vodným roztokem a kapalným CO_2 (L1+L2), b) vzácné jednofázové inkluze pouze s kapalnou fází CO_2 (typ L, $n = 1$, $T_h \text{CO}_2 = +5,4^\circ\text{C}$, $T_m \text{CO}_2 = -56,9^\circ\text{C}$). Poměr fáze CO_2 a kapalně vodné fáze je v řadě inkluzí typu L1+L2 velmi blízký a odhad jejich běžného poměru je asi $L2/L1 = 0,1$. Přibližně u 15% inkluzí je tento poměr vyšší až ca 0,7. Vzájemný poměr inkluzí se stabilním poměrem fází a inkluzí s vyšším, proměnlivým,

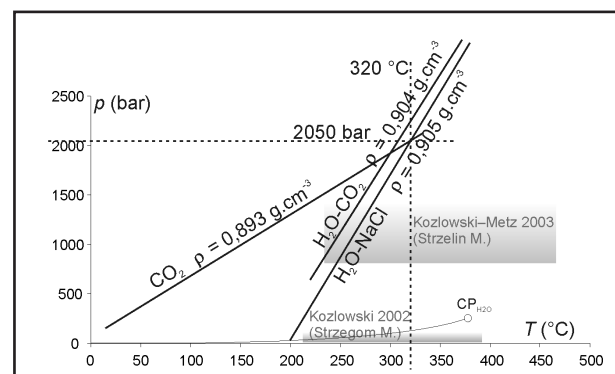
není zřetelný, ani jejich relativní stáří není definovatelné. Množství CO_2 se v průměru pohybuje okolo hodnoty $X_{\text{CO}_2} = 0,063$ a hustota homogenizované fáze CO_2 nabývá hodnot okolo $0,87 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (počítáno z $T_h \text{CO}_2$). Totální homogenizace inkluzí se pohybuje v rozsahu 198 až 340°C ($n = 7$, tab. 1). Kromě poměrně čisté fáze CO_2 , což je patrné z $T_m \text{CO}_2$ mezi $-57,1$ až $-56,6^\circ\text{C}$, je přítomen vodný roztok s nízkou salinitou okolo 4,5 hmot. % ekv. NaCl. Eutektické teploty vodného roztoku okolo -21°C ukazují, že NaCl je ve vodním roztoku dominantní chlorid (Davis et al. 1990). Na základě těchto dat je možné uzavřený fluidní systém označit jako typ $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$.

	$T_h \text{CO}_2$	$T_h/T_{h \text{ tot}}$	$T_m \text{CO}_2$	$T_m \text{ice}$	$T_m \text{clat}$
n	29	7	16	15	21
maximum	22,5	340	-56,6	-4,5	9,2
minimum	-0,5	198	-57,0	-10,1	6,3
průměr	9,2	243	-56,7	-7,2	8,0
medián	6,1	220	-56,7	-6,7	7,6

Tab. 1: Mikrotermometrická data z inkluzí typu L1+L2 v křemenu z Velké Kraše

Tab. 1: Microthermometric data from inclusions of L1+L2 type in quartz, Velká Kraš.

Vzhledem k tomu, že většina inkluzí má poměrně stabilní poměr fáze CO_2 a vodného roztoku, je možné uvažovat o uzavření homogenního fluida. Méně časté inkluze s variabilním poměrem fází můžeme spekulativně definovat jako zachycení již heterogenního fluida postupně chladnoucího systému. Pro odhad p - T podmínek vzniku křemene může být využito dvou rozdílných inkluzí patřících do zmíněných typů, a které se v křemenu objevily vedle sebe a mohly by reprezentovat kogenetické inkluze. První obsahuje čisté CO_2 a druhá inkluze je bohatá na vodnou fázi s velmi malým množstvím CO_2 a tudíž se její chemický systém blíží složení $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$. Navíc tento druhý typ vykazuje nejnižší T_h . Pro tyto inkluze byly sestrojeny izochory (obr. 3), jejichž protínání ukazuje podmínky zachycení



Obr. 3: Určení p - T podmínek uzavření heterogenního fluidního systému s použitím izochor pro systém CO_2 a $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ a $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ adaptované z inkluzí v žilném křemenu z Velké Kraše. Dále jsou vyznačeny p - T podmínky v pegmatitech strzegomského (jen T) a strzelinského (p - T) masivu.

Fig. 3: Determination of p - T trapping conditions for heterogeneous fluid system using isochors for CO_2 and $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ and $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ systems derived from inclusions in vein quartz from Velká Kraš. The p - T conditions in pegmatites of the Strzegom and Strzelin massifs are indicated.

heterogenního systému, který obě inkluze reprezentují, tedy $T = 320\text{ °C}$, $p = 2050\text{ bar}$.

Další izochora reprezentuje čistý homogenní systém $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$. Pro její konstrukci byl použit model Duan – Sun (2003) a s mediánovými parametry studovaných fluid pro $T_{\text{h tot}} = 220\text{ °C}$ a $X_{\text{H}_2\text{O}} = 0,937$ a $X_{\text{CO}_2} = 0,063$. Na obr. 3 je zřejmé, že tato izochora probíhá v blízkosti protínání i ostatních izochor. Z této jisté podobnosti můžeme sestavit modelové složení původního homogenního fluida: $X_{\text{CO}_2} = 0,063$, $X_{\text{H}_2\text{O}} = 0,911$, $X_{\text{NaCl}} = 0,026$.

Výsledky studia izotopů kyslíku z křemene

Analýza izotopického složení křemene poskytla hodnotu $\delta^{18}\text{O}_{\text{qtz}} = +9,4\text{ ‰}$ V-SMOW, která byla společně s teplotou 320 °C použita pro řešení frakcionační rovnice (Zheng 1993). Výsledek $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = +2,3\text{ ‰}$ V-SMOW reprezentuje izotopické složení kyslíku mateřských fluid.

Diskuze

Složení fluid v inkluzích v křemenu z Velké Kraše se velice blíží hodnotám pro nejbližší podobné mineralizace postmagmatického stadia ve strzelinském žulovém masivu i v masivu Strzegom v Polsku. Křemeny v pegmatitech ve strzegomském masivu krystalovaly za minimálních teplot 200 °C (T_{h} jsou v rozsahu až do 380 °C) z vodných fluid s NaCl (Kozłowski 2002). V krátkém článku však chybí zmínka o salinitě nebo o přítomnosti CO_2 , což ale bývají typické složky těchto systémů.

Kozłowski–Metz (2003) provedli ve strzelinském masivu řadu mikrotermometrických měření a studií avšak bez podrobnější genetické klasifikace zkoumaného materiálu. Soubor minerálů označují jako post-magmatickou asociaci. Křemeny z prvních etap by měly vznikat mezi teplotami 230 a 460 °C , za tlaků $0,8$ – $1,4\text{ kbar}$, z nízkosalinních roztoků (do 7 hmot. \% NaCl), které obsahují i CO_2 . Pro pozdější etapy uvádějí pokles teplot až na 120 °C současně se zvýšením salinity fluid až na 18 hmot. \% NaCl s významným podílem CaCl_2 . Tento poslední typ fluid je však typický pro mnohem mladší epigenetické mineralizace nesouvisající s doznívající magmatickou aktivitou, ale spjaté s aktivitou transformovaných sedimentárních solanek po paleozoiku (např. Slobodník at al. 1999, Kučera et al. 2010). Z doposud získaných informací a z toho odvozených teplotních podmínek pro křemen ve Velké Kraši se tyto řadí ke středním hodnotám v teplotním rozsahu uváděném pro pegmatity v Polsku.

Pro účely předběžné interpretace a konfrontace zjištěných vlastností fluid z Velké Kraše je možné uvést zajímavé podmínky zjištěné v pegmatitech Harney Peak Granite v Black Hills v Jižní Dakotě (Sirbescu – Nabelek 2003). Fluida typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ -NaCl měla podobné vlastnosti a obsah CO_2 , podobnou hustotu a prakticky stejnou salinitu vodné složky jako námi studovaný fluidní systém v křemenech z Velké Kraše. Tlakové a teplotní podmínky uzavření tohoto typu fluid v inkluzích z pegmatitů v Harney Peak Granite byly identické s podmínkami homogenizace, v průměru 340 °C a $2,7\text{ kbar}$. Dále však byla prokázána koexistence s taveninovými inkluzemi uzavírajícími velmi komplexní fluidní systém s Li a celou řadou dalších kom-

ponent, které umožnily krystalizaci pegmatitu za nejnižších známých podmínek pro silikátovou taveninu v kůře. Přesto, že je zde jistá blízkost p - T podmínek i podobnosti ve složení fluid, k podrobnější konfrontaci těchto pegmatitových fluid se studovanými žilami z oblasti žulovského nebo strzelinského masivu máme zatím málo informací.

Poznatky o vývoji fluid z dalších pegmatitů v Českém masivu chybí. Výjimkou je velmi podrobná práce z poslední doby o vývoji magmatických pegmatitových fluid a postmagmatických roztoků ve Vlastějovicích (Ackerman et al. 2007). Autoři konstatují pokles obsahu CO_2 směrem do postmagmatických fluid na hodnoty okolo 4 mol \% CO_2 a postupný nárůst salinity ze 2 na 4 – 6 mol \% NaCl . Nejnižší hodnoty tlaku a teploty pegmatitových procesů uvádějí na úrovni 310 MPa a 420 °C .

Se znalostí těchto publikovaných dat o vývoji fluidních systémů a se současnými znalostmi o složení, salinitě fluid a p - T podmínkách studovaného systému, můžeme zatím jen spekulovat o krystalizaci žil u Velké Kraše v rámci mladších mineralizačních etap postmagmatického vývoje žulovského masivu.

Závěr

Složení a vlastnosti fluid v inkluzích ze žil u Velké Kraše můžeme jednoznačně srovnávat s typy fluid, které jsou běžné v pegmatitech. Vodná fluida s nízkou salinitou a malým množstvím CO_2 byla zachycena za podmínek 320 °C a tlaku 2050 bar , které by mohly být považovány za nejnižší možné pro vznik studovaných žil.

Pro bližší znalost p - T - x podmínek vzniku a vývoje křemenných žil je třeba další studium fluidních inkluzí a minerálních fází, stejně jako upřesnění vývoje během krystalizace matečného granitového magmatu.

Poděkování

Výzkum byl uskutečněn díky finanční podpoře z MSM0021622427 a MSM0021622412.

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. (Geol. Rundsch.)*, 96, 623–638.
- Bakker, R. J. (2003): Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties. – *Chemical Geology*, 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.
- Davis, D. W. – Lowenstein, T. K. – Spencer, R. J. (1990): Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in the system NaCl–H₂O, NaCl–KCl–H₂O, NaCl–MgCl₂–H₂O and NaCl–CaCl₂–H₂O. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54, 591–601.
- Duan, Z. – Sun, R. (2003): An improved model calculating CO₂ solubility in pure water and aqueous NaCl solutions from 273 to 533 K and from 0 to 2000 bar. – *Chemical Geology*, 193, 257–271.
- Kasemann, S. – Meixner, A. – Rocholl, A. – Vennemann, T. – Schmitt, A. – Wiedenbeck, M. (2001): Boron and oxygen isotope composition of certified reference materials NIST SRM 610/612, and reference materials JB-2G and JR-2G. – *Geostandards Newsletter*, V. 25, 405–416.
- Kozłowski, A. (2002): Crush events in granitoid pegmatites as recorded by quartz crystals. – *Polskie Towarzystwo Mineralogiczne – Prace Specjalne, Mineralogical Society of Poland – Special Papers, Zeszyt 20 (Vol. 20)*, 117–119.
- Kozłowski, A. – Metz, P. (2003): Post-magmatic mineralisation in the granitoids of the Strzelin Massif, SW Poland – a fluid inclusion study. – *Polskie Towarzystwo Mineralogiczne – Prace Specjalne, Mineralogical Society of Poland – Special Papers, Zeszyt 23 (Vol. 23)*, 102–104.
- Kruťa, T. (1973): Slezské nerosty a jejich literatura. – *MM Brno*. 378 str.
- Kučera, J. – Muechez, Ph. – Slobodník, M. – Prochaska, W. (2010): Geochemistry of highly saline fluids in the Moravo-Silesian Palaeozoic siliciclastic sequences: genetic implications. – *Int. J. Earth. Sci. (Geol. Rundsch.)*, 99, 269–284.
- Mališ, E. – Pavlík, J. (1974): Prospekce křemene pro čiré křemenné sklo na severní Moravě a v Orlických horách. – *Sborník GPO*, 6, 129–137. Ostrava.
- Sirbescu, M. L. C. – Nabelek, P. I. (2003): Crystallization conditions and evolution of magmatic fluids in the Harney Peak Granite and associated pegmatites, Black Hills, South Dakota—Evidence from fluid inclusions. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 67, 13, 2443–2465.
- Slobodník, M. – Muechez, Ph. – Dolníček, Z. – Žák, L. (1999): Regional occurrence of saline, mineralising fluids at the eastern border of the Bohemian Massif. – In: *Mineral Deposits: Processes to Processing* (ed. C. J. Stanley) A. A. Balkema, Rotterdam, 901–904.
- Staněk, J. – Kalášek, J. (1953): O výskytech molybdenitu v žulovském plutonu. – *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 28, 271–277. Praha.
- Zheng, Y. F. (1993): Calculation of oxygen isotope fractionation in anhydrous silicate minerals. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, 1079–1091.

