

Změny chemického složení křemene během greisenizace, předběžné výsledky ze západních Krušných hor

Response of quartz chemistry to greisenization: Preliminary results from the western Krušné hory/Erzgebirge

KAREL BREITER¹ – JANA ĎURIŠOVÁ¹ – MAREK DOSBABA²

¹ Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 00 Praha 6; breiter@gli.cas.cz

² TESCAN, Libušina třída 21, 623 00 Brno

Please cite this article as: K. Breiter – J. Ďurišová – M. Dosebaba (2017): Response of quartz chemistry to greisenization: Preliminary results from the western Krušné hory/Erzgebirge. – Geoscience Research Reports, 50, 25–31. (in Czech)

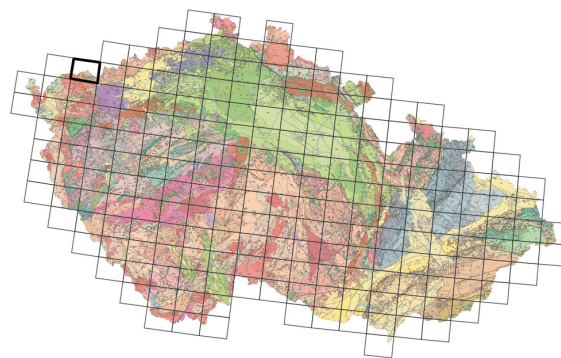
Key words: granite, greisen, quartz, trace elements, Krušné hory/Erzgebirge

Summary: Occurrence of so-called “vein greisens” is one of characteristic features of the Variscan peraluminous granites in the western part of the Krušné hory/Erzgebirge area (Nejdek-Eibenstock Pluton, Horní Blatná body). The “veins” actually represent steeply dipping zones consisting of tens to hundreds of individual roughly parallel cm- to dm-thick stringers of metasomatic greisen reaching total thickness to several meters, and lengths of hundreds of meters. They mostly consist of quartz and Li-bearing mica with some topaz and cassiterite. Greisens of this type were mined at Přebuz, Rolava and Horní Blatná since the 15th century until 1945.

The aim of this study is to distinguish magmatic and hydrothermal quartz in greisen, i.e. to differentiate relics of the original magmatic quartz from quartz originated hydrothermally during greisenization. We studied a series of samples from the historic mine Streitpingen situated in the Horní Blatná granite body near the village of Potůčky. The parent rock of greisens is medium-grained alkali-feldspar granite composed of 40 vol.% quartz, 29 vol.% albite, 20 vol.% perthitic K-feldspar and 9 vol.% Li-enriched biotite with small amount of topaz, apatite, rutile, monazite and zircon (Tables 1, 2). The zone of greisenization is up to 5 m thick and enriched with quartz (87 vol.%) and topaz (9 vol.%). The content of mica decreased to 3 vol.% and both feldspars disappear. Greisen is penetrated by monomineralic up to 10 cm thick quartz veins (> 97 vol.% quartz) with abundant tiny cavities. Veins are composed of clear long columnar crystals (5 mm diam., up to 5 cm long) which are coated with a thin layer (~ 1 mm) of milky white quartz.

For comparison, we analyzed also quartz from quartz-tourmaline fillings of miarolitic cavities (5–10 cm diam.) in granite, traditionally called as “tourmaline suns”, which are widespread in the central and northern parts of the Nejdek-Eibenstock Pluton (Schust et al. 1970).

Internal structure of analyzed quartz grains visualized by cathodoluminescence (CL) is shown in Figs 1 and 2. Trace elements



(01-43 Horní Blatná)

in quartz were analyzed using laser-ablation ICP-MS (for detail of the method used see Breiter et al. 2013). Average contents of the analyzed element in selected quartz crystals are shown in Table 3, all the individual analyses of selected elements are shown in Fig. 4. Contents of Al, Ti, and Li across selected crystals are given in Fig. 5; position of these profiles is shown in Figs 2b, c and 3.

Aluminum, Li, and Ti are the most abundant trace elements in quartz. The content of Al in phenocrysts of magmatic quartz and quartz from tourmaline suns corresponds roughly to 400 ppm (range 300–500 ppm), whereas only 115–270 ppm were found in the greisen quartz. The Al-contents in hydrothermal quartz strongly fluctuate: the clear domains contain 50–340 ppm Al, while 500–2400 ppm were detected in cloudy crystal cores, and 1100–4800 ppm Al in the milky white crystal rims. Content of Ti in magmatic quartz fluctuates between 40 to 100 ppm with extreme values up to 200 ppm near the margins of some crystals. Quartz from tourmaline suns contains 10–40 ppm Ti, while quartz from the greisen approximately 20 ppm Ti, and the hydrothermal quartz from veins generally contains < 1 ppm Ti. The contents of Li in magmatic quartz and quartz from tourmaline suns range between 30–50 ppm. Contents of Li in quartz from greisen and clear domains of hydrothermal quartz are rather smaller, approximately 10–30 ppm. The highest Li-values in the range of 70–170 ppm were found in the milky hydrothermal quartz. The contents of Li and Al reveal positive correlation.

Our preliminary research has shown that quartz originated during metasomatic greisenization differs from the primary magmatic quartz by lower intensity of cathodoluminescence and significantly lower concentrations of trace elements Al, Ti, and Li. Quartz from quartz-tourmaline filling of miarolitic cavities is chemically similar to the magmatic phenocrysts. The low-temperature hydrothermal quartz shows a strong zonal structure in CL, has low content of Ti, and highly variable concentrations of Al and Li.

Tabulka 1. Studované vzorky
Table 1. Studied samples

No.	Location	Description
5443 A		Albite-biotite granite
5443 B	Old tin mine Streitpingen, 2 km east of the village of Potůčky, 50° 25' 12" N, 12° 46' 31" E	Quartz-topaz greisen (vein greisen)
5443 C		Vugy quartz vein
5440	1 km west of the town of Horní Blatná, 50° 22' 57" N, 12° 45' 13" E	Quartz-tourmaline nodules (miaroles) in albite-biotite-topaz granite

Variské granity západní části Krušných hor – tedy nejde o pluton a jeho tektonicky oddělená část, tradičně zvaná blatenský masívek – jsou známy hojným výskytem tzv. žilných greisenů, které zde pro svůj obsah cínu byly těženy od 15. století s přestávkami až do roku 1945. Tradiční název „žilný greisen“ je zavádějící, protože ve skutečnosti nejde o pravé žíly, ale o tektonicky porušené zóny granitu s intenzivní hydrotermální metasomatózou podél jednotlivých puklin. Jsou tvořeny převážně křemenem s příměsí slídy, topazu a kassiteritu. V minulosti těžené, převážně strmě ukloněné greisenové zóny tvoří desítky až stovky zhruba rovnoběžných centimetrových až decimetrových greisenových proužků, dosahujících mocnosti až několik metrů a délky stovek metrů.

Mineralogické složení žilných greisenů bylo zkoumáno během vyhledávacích kampaní v období let 1960–1973 (Komárek 1968), novější práce jsou ojedinělé (Ďurišová 1984). Křemeni, jako hlavní součástce greisenů, přitom nebyla dosud věnována větší pozornost. Cílem této práce je rozlišit v greisenu reliktů původního magmatického křemene od křemene novotvořeného během metasomatózy. Jako další geneticky příbuzné variety křemene byly analyzovány křemen z miarol, reprezentující přechod z magmatického do hydrotermálního stadia, a křemen z pozdních monominerálních křemenných žil protínajících greisen.

Geologická situace, studovaný materiál

Studovaný materiál pochází z oblasti historického dolu Streitpingen v severním svahu údolí potoka Černá asi 2 km v. od obce Potůčky. Mateřskou horninou greisenů je zde hrubozrnný biotitický alkalicko-živcový granit blatenského masívk. Horninu tvoří křemen, albit, silně perthitický draselný živec, Li-bohatý biotit (~1 hmot. % Li) a topaz. V akcesorickém množství jsou přítomny apatit, rutil, zirkon a monazit (tab. 1).

Greisen ze Streitpingenu je charakteristický vysokým obsahem křemene a topazu a poměrně malým podílem slídy. Z rudních minerálů kassiterit výrazně převažuje nad wolframitem, arzenopyrit a Cu-sulfidy se vyskytují spíše ojediněle (Komárek 1968).

Greiseny jsou proráženy křemennými žilami decimetrových mocností s hojnými drobnými dutinami. Převážně dlouze stébelnaté křemenné krystaly mají skelný lesk. V dutinách jsou vždy potaženy tenkou vrstvou (do 1 mm) mléčně bílého křemene.

Pro srovnání byl analyzován i křemen z tzv. turmalinových sluncí, tedy křemen-turmalinových výplní miarol v granitu, které též patří k typickým fenoménům nejdeckého plutonu (Schust et al. 1970). Křemen-turmalinové kulovité agregáty o průměru 5–10 cm se vyskytují v pružích širokých desítky metrů podél některých v.-z. tektonických zón v s. části nejdeckého plutonu mezi Horní Blatnou a Rolavou. Počet miarol v m³ granitu je až několik desítek. Tyto zóny patrně indikují dráhy migrace pozdně magmatických fluid obohacených borem.

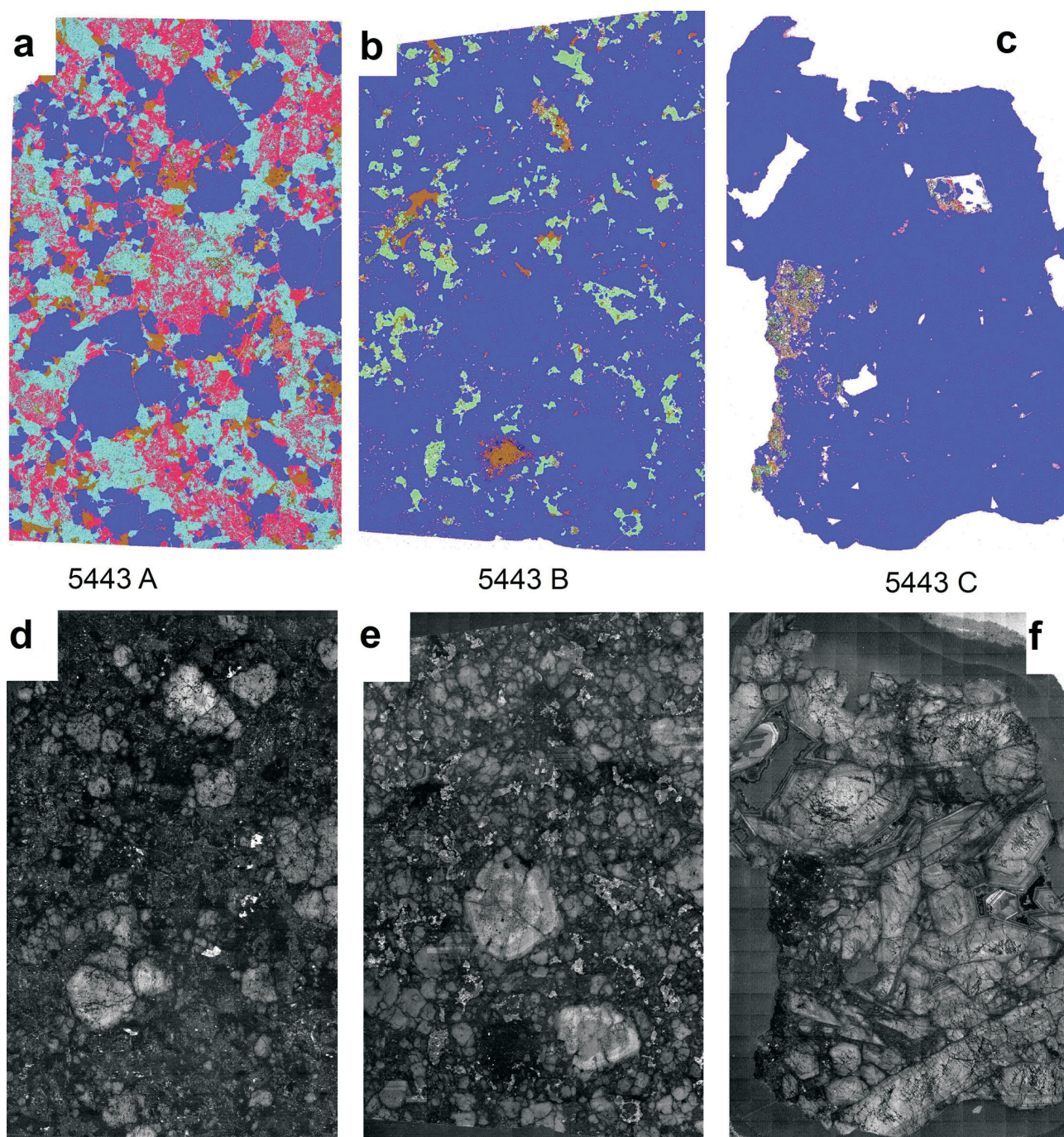
Metody

Katodová luminiscence (CL)

Panchromatické snímky celé plochy výbrusů i detaily jednotlivých krystalů v katodové luminiscenci byly získány na autoemisním skenovacím elektronovém mikroskopu TESCAN MIRA3. Systém byl vybaven barevným CL detektorem Rainbow pracujícím v rozmezí 350–650 nm. Pro sběr dat byl využit pouze panchromatický kanál. Podmínky měření: pracovní vzdálenost 17–18 mm, urychlovací napětí 25 kV, proud 15 nA, rychlost skenování 100–320 $\mu\text{s}/\text{pixel}$ v závislosti na intenzitě CL.

Minerální mapy

Automatická mineralogická analýza (AM) patří mezi moderní analytické techniky založené na bázi skenovacího elektronového mikroskopu. Použité zařízení TESCAN Integrated Mineral Analyzer (TIMA) využívá dva druhy primárního signálu – zpětně odražené elektrony (BSE) a charakteristické rtg.-záření. V prvním kroku je pro každý analyzovaný pixel zjišťována intenzita BSE signálu vůči stanovenému prahu. Podprahové intenzity odpovídají zalévací hmotě, s níž se dále nepracuje. Vyšší hodnoty naopak odpovídají minerálům, z nichž jsou následně sbírána energiově disperzní (EDS) spektra sloužící k jejich identifikaci. V dalším kroku systém provádí tzv. segmentaci, při níž seskupuje pixely z chemicky a vizuálně homogenních oblastí do segmentů, které odpovídají jednotlivým minerálním zrnům. Spektra ze všech pixelů uvnitř každého segmentu jsou sloučena do jednoho kvalitnějšího. Spektra jednotlivých segmentů jsou porovnávána se souborem klasifikačních pravidel. Výsledkem tohoto kroku je přiřazení mineralogických jmen jednotlivým minerálním zrnům.



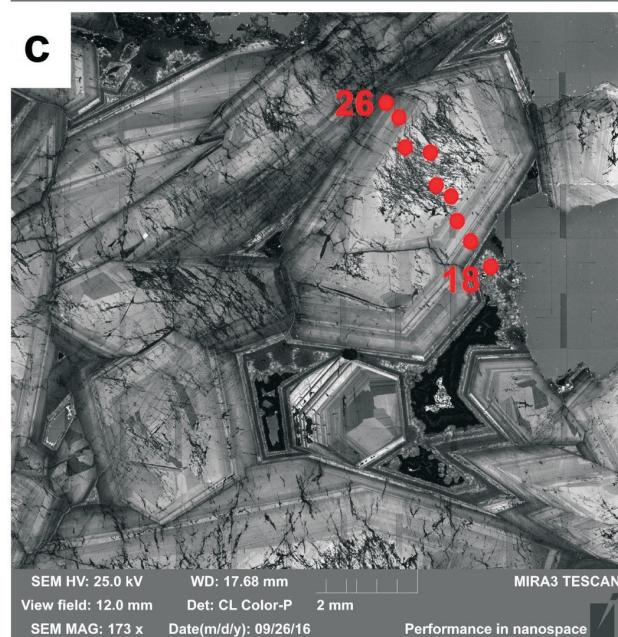
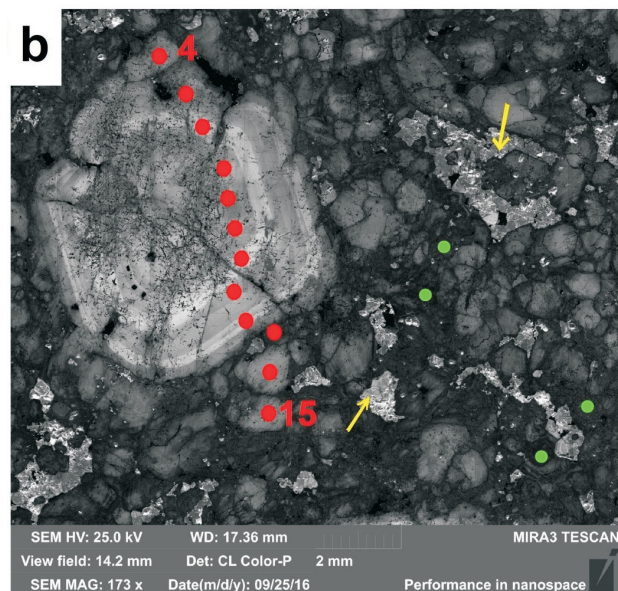
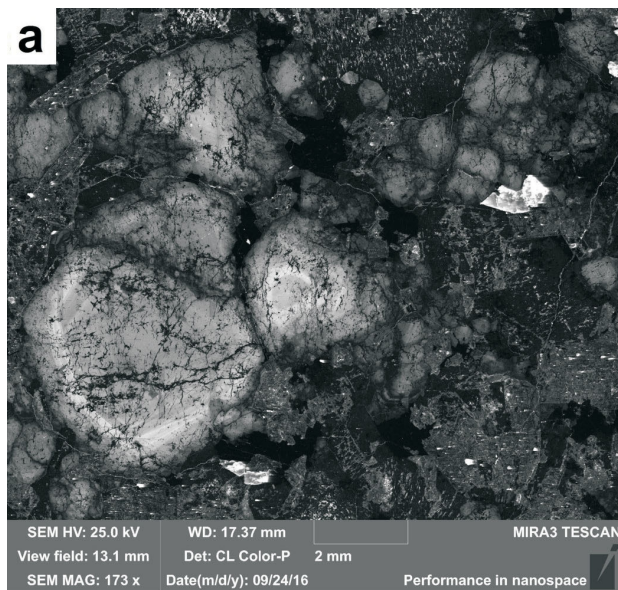
Obr. 1. Minerální mapy pořízené metodou TIMA (*nahoře*) a snímky v panchromatické katodové luminiscenci (*dole*) studovaných vzorků granitu, greisenu a žilného křemene (šířka záběru vždy 25 mm). Vysvětlivky k obr. a–c: červená – K-živce, světle modrá – albit, tmavě modrá – křemen, zelená – topaz, žlutá – apatit, hnědá – biotit.

Fig. 1. Mineral maps processed by TIMA (upper part) and panchromatic images in cathodoluminescence (CL, bottom) of studied samples of granite, greisen and vein quartz (width of all samples 25 mm). Explanations to Figs a–c: red – K-feldspar, light blue – albite, dark blue – quartz, green – topaz, yellow – apatite, brown – biotite.

Analýzy křemene

Obsah stopových prvků Al, B, Ba, Be, Cr, Fe, Ge, Li, Mn, P, Rb, Sn, Sr a Ti v křemenu byl stanoven metodou laserové ablace ve spojení s hmotnostní spektrometrií s indukčně vázanou plazmou v laboratoři Geologického ústavu AV ČR. Byl použit hmotnostní spektrometr Thermo-Fin-

nigan Element 2 ve spojení s ablačním systémem UP-213 (New Wave Research) využívajícím Nd:YAG laser o vlnové délce 213 nm. Pro interní standardizaci byl použit izotop křemíku ^{29}Si za předpokladu, že analyzovaný materiál obsahuje 99,95 hmot. % SiO_2 . Naměřená data byla kalibrována vůči mezinárodnímu standardu NIST SRM 612. Podrobnější údaje jsou uvedeny v publikaci Breitera et al. (2013).



Tabulka 2. Minerální složení studovaných vzorků (obj. %)
Table 2. Mineral composition of studied samples (vol%)

	5443A	5443B	5443C
Quartz	40.7	86.6	97.3
Albite	28.7	0.06	0.04
K-feldspar	20.3	0.02	0.05
Li-biotite	8.9	3.1	1.4
Topaz	0.08	9.3	0.00
Tourmaline	0.13	0.24	0.25
Apatite	0.51	0.03	0.00
Carbonate	0.27	0.31	0.40
Kaolinite	0.32	0.42	0.52

Výsledky

Změna minerálního složení během greisenizace

Minerální složení vzorků bylo stanoveno metodou TIMA. Distribuce jednotlivých minerálů ve studovaných vzorcích je zachycena na obr. 1a–c a kvantitativní podíl minerálů uveden v tab. 2. Množství křemene během greisenizace vzrostlo ze 41 na 87 % a topazu z 0,1 na 9 %, obsahy plagioklasu (albitu) a ortoklasu klesly z 29 %, resp. 21 %, prakticky na nulu. Snížil se i obsah Li-biotitu (z 9 % na 3 %) a apatitu. Podíl dalších minerálů je zanedbatelný, v součtu nedosahuje ani 1 %. „Monominerální“ křemennou žilovinu tvoří z 97 % křemen, 1,5 % slída a malé množství produktů rozpadu živců.

Stavba krystalů křemene v katodoluminiscenci (CL)

Vyrostlice magmatického křemene mají v CL jednoduchou pravidelnou zonální stavbu se 3–7 rozlišitelnými růstovými zónami (viz obr. 1d, e, 2a, b). Intenzita CL se všeobecně směrem od středu k okrajům zvyšuje. Mezi jednotlivými zónami uvnitř krystalů nebyly pozorovány známky magmatické resorpce, ale povrch krystalů je místy resorpce poškozen. Lze dedukovat, že krystaly vyrostly během jediné nepřetržité epizody krystalizace v relativně větší hloubce před vlastní intruzí, ale v závěru solidifikace magmatu byly zčásti resorbovány. Během následné greisenizace byly vyrostlice křemene stabilní, nedošlo k jejich

←

Obr. 2. Detailní snímky vybraných analyzovaných krystalů křemene v panchromatické katodové luminiscenci s vyznačenými body analýz. Zeleně je označen hydrotermální křemen greisenového stadia s velmi slabou intenzitou CL, žlutými šipkami zrna topazu s intenzivní CL (šířka záběru 12 mm). a – vzorek 5443A; b – vzorek 5443B; c – vzorek 5443C.

Fig. 2. Detailed images of selected analyzed quartz crystals in panchromatic CL with marked points of analysis (red). Green marks – quartz of greisen stage with very weak CL, yellow arrows – topaz with intense CL (width of images 12 mm). a – sample 5443A; b – sample 5443B; c – sample 5443C.

Tabulka 3. Průměrné chemické složení vybraných zrn křemene (ppm)
Table 3. Means of chemical composition of selected quartz grains (ppm)

Sample	n	Li	Be	B	Ge	Al	P	Ti
5440-1 quartz from miarole	12	39.6	0.38	1.78	1.17	414	12.4	31
5443A1 magmatic quartz	9	44.7	0.18	2.30	0.93	389	13.6	50
5443B1 magmatic quartz	9	40.6	0.36	n.a.	0.76	470	12.2	112
5443B greisen quartz	6	19.1	0.47	3.59	0.72	185	10.0	15.5
5443C1 vein quartz, milky core of the crystal	4	133	0.44	0.75	1.52	1788	13.1	3.0
5443C2 vein quartz, clear	4	22.1	<0.05	0.49	0.52	153	11.5	0.4
5443C3 vein quartz, milky rim of the crystal	2	106	2.91	0.63	1.51	3631	11.5	0.5

n.a. – not analyzed

rozpuštění, ani k reekvilibraci s fluidy, protože zonální CL stavba není porušena. Postmagmatická fluida pronikala do krystalů křemene pouze podél četných mikrotrhlin – tento rekrystalovaný křemen je v CL neaktivní, na obrázcích tedy černý. Dosah reekvilibrace podél puklin nepřesahuje desítky μm (obr. 2a, b).

Křemen tvořený během greisenizace hydrotermálním zatlačením živců má všeobecně nižší intenzitu CL než původní křemen magmatický a chybí mu jakákoliv vnitřní stavba (obr. 2b).

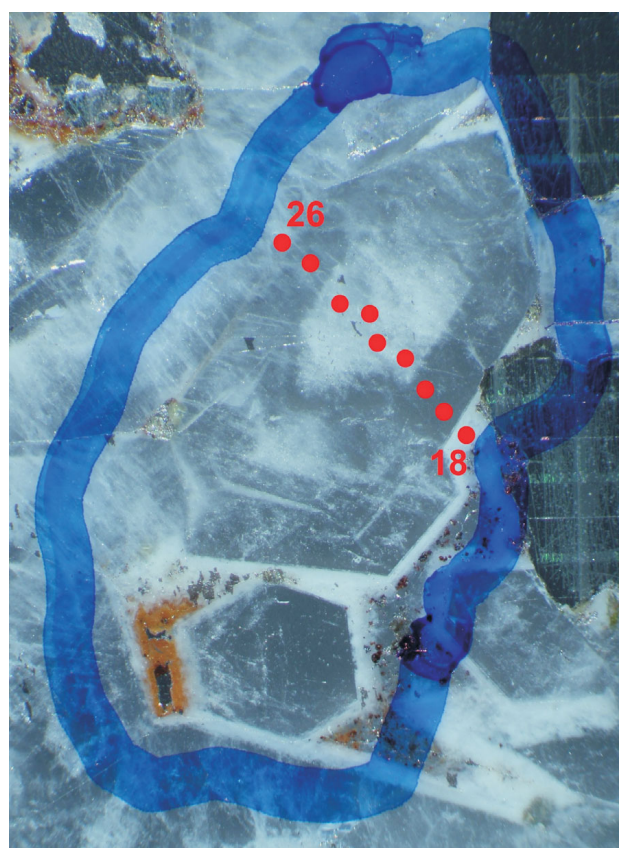
Hydrotermální křemen z pozdních monominerálních křemenných žil (obr. 1f, 2c) má v CL intenzivní, výrazně zonální stavbu; šířka jednotlivých zón klesá a jejich kontrast roste směrem k povrchu krystalů. Jádra některých krystalů mají zřetelnou sektorovou stavbu, jádra jiných krystalů jsou prostoupěna sítivem mikrotrhlin. Oblasti s vysokou hustotou mikrotrhlin jsou pak v dopadajícím světle bíle zakalené (obr. 3). Makroskopicky mléčně bílé povlaky na krystalech v dutinách jsou tvořeny na povrchu narostlými vějířovitými agregáty drobných krystalků křemene s relativně slabou CL (obr. 2c, okolí bodu 18).

Obsah stopových prvků

Průměrné koncentrace analyzovaných prvků ve vybraných krystalech jsou uvedeny v tab. 3, všechny jednotlivé analýzy vybraných prvků jsou zobrazeny v obr. 4, změny obsahů Al, Ti a Li napříč vybranými krystaly zachycuje obr. 5. Lokalizace profilů prezentovaných na obr. 5 je ukázána v obr. 2b, c a obr. 3.

Nejhojnějšími stopovými prvky v křemeni jsou Al, Li a Ti. Obsah Al v magmatických vyrostlících křemeni a v křemeni z miarol se pohybuje kolem 400 ppm s rozptylem mezi 300–500 ppm, kdežto v greisenizačním křemeni bylo nalezeno pouze 115–270 ppm Al. Pro hydrotermální křemen je typický extrémní rozptyl obsahů kolísající od 50 do 340 ppm v makroskopicky čirém křemeni, 500–2400 ppm v mléčně zakalených jádrech krystalů až po 1100–4800 ppm Al v mléčně bílých povlacích na povrchu krystalů.

Koncentrace Ti v magmatickém křemeni kolísá mezi 40–100 ppm s ojedinělými hodnotami kolem 200 ppm v okrajových zónách některých krystalů. V křemeni z mia-

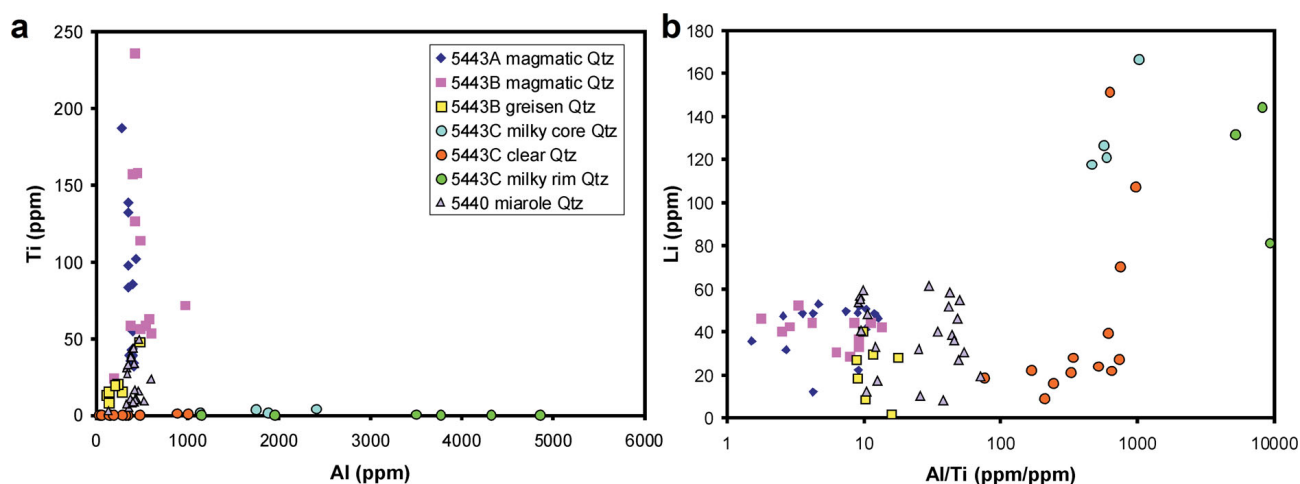


Obr. 3. Detail zonální stavby hydrotermálního křemene (čiré a mléčně bílé zóny) s vyznačenými body analýz (šířka záběru 6 mm).

Fig. 3. Detailed image of zonal structures of hydrothermal quartz (clear and milky white zones) with highlighted points of analysis (width of the image 6 mm).

rol bylo nalezeno 10–40 ppm Ti, v greisenizačním křemeni kolem 20 ppm, v hydrotermálním křemeni pak většinou méně než 1 ppm Ti.

Koncentrace Li v magmatickém a miarolovém křemeni se pohybují v intervalu 30–50 ppm. Koncentrace v křemeni z greisenu a v čirých částech hydrotermálního křemene jsou poněkud nižší, ~ 10–30 ppm. Nejvyšší koncentrace byly nalezeny v mléčném hydrotermálním křemeni, a to v rozsahu 70–170 ppm Li. Koncentrace Li pozitivně koreluje s obsahy Al.



Obr. 4. Obsahy stopových prvků v křemeni: a – Al vs. Ti; b – Al/Ti vs. Li.
Fig. 4. The contents of trace elements in quartz: a – Al vs. Ti; b – Al/Ti vs. Li.

Koncentrace **Ge** v křemeni z miarol, v greisenizačním křemeni a mléčném hydrotermálním křemeni jsou poněkud vyšší (1,0–1,4 ppm) než v magmatickém (0,6 až 0,8 ppm) a čirém hydrotermálním křemeni (0,4 ppm). Nejvyšší koncentrace **Be**, kolem 2,5 ppm, byly zjištěny v křemeni z miarol a v mléčném hydrotermálním křemeni. Ostatní typy křemene obsahují nejvýše 0,5 ppm **Be**. Obsahy **B** jsou proměnlivé a kolísají i v rámci jednoho krystalu v rozmezí 1–3 ppm, pouze všechny variety hydrotermálního křemene obsahují méně než 1 ppm **B**. Koncentrace **P** v rozmezí 8–10 ppm a obsah **Sn** (0,1–0,2 ppm) jsou podobné ve všech genetických typech křemene. Koncentrace ostatních prvků jsou všeobecně nízké a pohybují se u **Fe**, **Mn** a **Rb** v jednotkách ppm, u **Ba** a **Sr** pak pod ~ 0,1 ppm, s ojedinělými vysokými hodnotami ovlivněnými nejspíše submikroskopickými inkluzemi živců a slíd. Vyšší četnost vysokých koncentrací těchto prvků byla zjištěna zejména v mléčně bílém typu hydrotermálního křemene.

Poměrně homogenní distribuci prvků napříč krystaly magmatogenního křemene, např. **Al** v rozmezí ~ 350 až 600 ppm, ukazuje obr. 5a. Lokální minimum **Al** a **Ti** v bodě 7 je pravděpodobně způsobeno alterací podél mikrotrhlin, kdežto maximum **Al** v bodě 13 je asi způsobeno zachycením mikroinkluzí živce pod povrchem analyzovaného zrna křemene.

V pozdním hydrotermálním křemeni je nápadný rozdíl mezi čirými a mléčně zakalenými zónami, které mají až řádově odlišné obsahy **Al**, **Ti** a **Li** (obr. 5b).

Diskuse a závěr

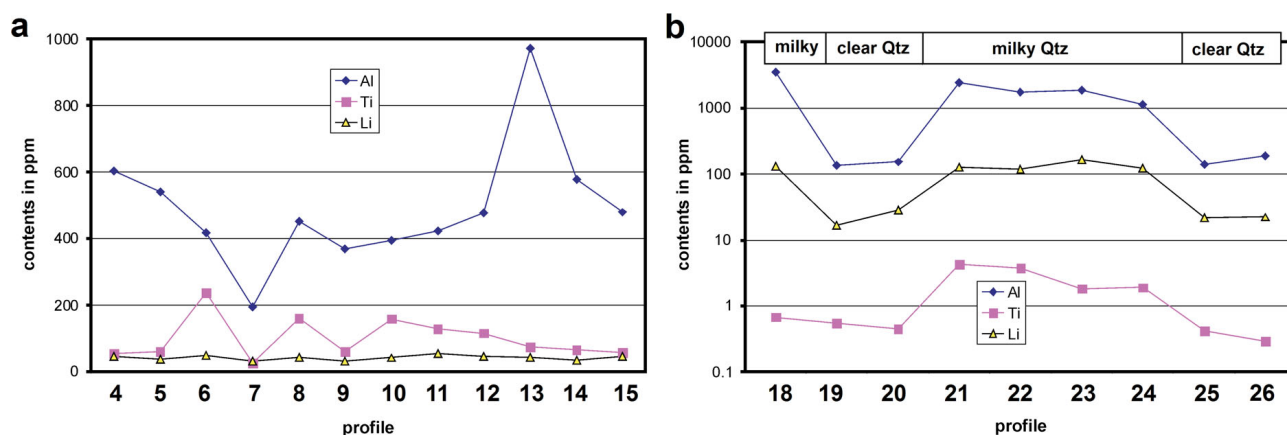
Kontaminace měření křemene materiálem minerálních a fluidních inkluzí

Objektivní vyhodnocení obsahů **B**, **Be** a **Sn** stejně jako **Ba**, **Rb**, **Fe** a **Mn** je omezeno až znemožněno přítomností inkluzí submikronové velikosti, které při běžných obsa-

zích těchto prvků ve zlomcích ppm nedovolují odlišit obsah prvků vázaný do mřížky křemene nebo do inkluze. Řada těchto inkluzí skrytých pod povrchem krystalu může být i plynokapalného charakteru. U prvků s relativně vyšším obsahem (**Al**, **Li**) lze z charakteru měřeného signálu kontaminaci z minerální inkluze poznat a eliminovat, případně takový bod z interpretace vyloučit. Protože nižší valence Al^{3+} ve srovnání s Si^{4+} je alespoň zčásti vyrovnávána iontem Li^+ v mimomřížkové pozici, je pozitivní korelace **Al**–**Li** dalším nepřímým důkazem o vazbě těchto prvků do struktury křemene a nikoliv do cizorodých inkluzí.

Srovnání studovaného magmatického křemene s křemenem z jiných typů granitů a pegmatitů

Chemické složení křemene z hlavních typů granitů Českého masivu publikovali Breiter et al. (2013). Peraluminické granity (nejdecký pluton a granity moldanubika) mají podobné obsahy **Ti** (25–100 ppm), ale liší se v obsahu **Al** a **Li**: zatímco dvojslídne granity moldanubika obsahují kolem 200 ppm **Al** a 10–30 ppm **Li**, tak cínonosné granity nejdeckého plutonu mají kolem 400 ppm **Al** a 30–60 ppm **Li**. Vyrůstlice magmatického křemene ve studovaných vzorcích tak dobře zapadají do trendu granitů nejdeckého plutonu. Poměr **Al**/**Ti** v křemeni, jehož růst je všeobecně považován za spolehlivý indikátor frakcionace magmatu, je v moldanubických granitech cca 1–3, kdežto v západokrušnohorských cca 3–100. V tomto srovnání se studované vzorky magmatického křemene ($Al/Ti = \sim 2-10$) řadí k relativně méně frakcionovaným částem nejdeckého plutonu. Při srovnání magmatického křemene s křemenem západomoravských pegmatitů (Breiter et al. 2014) je magmatický křemen nejblíže křemeni z hrubozrnné albitické jednotky a křemenného jádra **Li**-pegmatitu v Rožně. Ostatní zóny roženského pegmatitu a jiné typy západomoravských pegmatitů obsahují křemen s výrazně nižším obsahem **Al** (< 200 ppm **Al**).



Obr. 5. Změny obsahů Al, Ti a Li napříč vybranými křemennými krystaly. a – vzorek 5443B; b – vzorek 5443C, v logaritmické škále.
Fig. 5. Distribution of Al, Ti, and Li along measured profiles. a – sample 5443B; b – sample 5443C. Figure b is in logarithmic scale.

Rozdíly mezi magmatickým, greisenizačním a hydrotermálním křemenem

Greisenizační křemen se od křemene magmatického odlišuje – kromě nižší intenzity CL – i výrazně nižšími obsahy Al, Ti a Li, kdežto obsahy B, Be, Ge, Sn a P jsou srovnatelné. Rozptýl chemismu hydrotermálního křemene může být i v rámci jediného krystalu, tedy za zhruba stejných podmínek krystalizace, extrémně velký. Tato zjištění z cínonosné paragenese západních Krušných hor jsou v principiální shodě s literárními údaji z hydrotermálních ložisek zlata a mědi, tedy z prostředí, v nichž byla chemismu křemene dosud věnována největší pozornost (Rusk et al. 2008, Rusk 2012). Obsah Ti v křemeni s klesající teplotou klesá (Huang a Audétat 2012), v běžných granitoidech v rozmezí zhruba od 200 do 10 ppm (Breiter et al. 2013). Křemen vysokoteplotních hydrotermálních ložisek porfyrového typu může obsahovat desítky až ~ 300 ppm Ti, kdežto křemen z nízkoteplotních mineralizovaných žil (pod 350 °C) nikdy neobsahoval více než 10 ppm Ti (Rusk et al. 2008). V případě Al obsahy v křemeni s poklesem teploty rostou. Zatímco v magmatickém křemeni je rozptýl hodnot naměřených v určitém horninovém typu poměrně malý (Breiter et al. 2013), v hydrotermální výplni křemenných žil byl nalezen rozptýl od desítek až do ~ 4000 ppm Al. Až řádový rozdíl v obsahu Al v jednotlivých generacích žilné výplně je vysvětlován závislostí rozpustnosti Al ve fluidu na pH. Při nízkých teplotách rozpustnost Al dramaticky roste ve velmi kyselém prostředí (pH > 4), kdežto při teplotách kolem 500 °C je rozpustnost Al na pH nezávislá a nízká (Rusk et al. 2008). Zjištěné obsahy Al a Ti v žilném křemeni tak dobře odpovídají předpokládané nízké teplotě jejich krystalizace. Předpokládaná teplota krystalizace greisenů (400–450 °C, Ďurišová 1984) je poněkud vyšší, než by naznačovaly velmi nízké obsahy Ti nalezené ve studovaných vzorcích. Zde mohlo sehrát určitou roli i rozdílné složení fluid, která v případě greisenů byla bohatá fluorem.

Orientační výzkum prokázal, že primární magmatický křemen se v průběhu greisenizace nemění. Novotvořený křemen vzniklý v průběhu greisenizace zatlačením živců může být od primárního magmatogenního křemene odlišen na základě nižší intenzity CL a výrazně nižších obsahů stopových prvků Al, Ti a Li. Křemen miarol je chemicky blízký křemeni raně magmatických vyrostlic. Níže teplotní hydrotermální křemen má výrazně zonální stavbu v CL, nízké obsahy Ti a velmi proměnlivé obsahy Al a Li.

Poděkování. Tato práce byla podpořena grantem Grantové agentury ČR č. GA14-13600S a RVO 67985831. Autoři děkují recenzentům V. Žáčkovi a P. Dobešovi za detailní posouzení rukopisu.

Literatura

- BREITER, K. – ACKERMAN, L. – ĎURIŠOVÁ, J. – SVOJTKA, M. – NOVÁK, M. (2014): Trace element composition of quartz from different types of pegmatites: A case study from the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif (Czech Republic). – *Mineral. Mag.* 78, 703–722.
- BREITER, K. – ACKERMAN, L. – SVOJTKA, M. – MÜLLER, A. (2013): Behavior of trace elements in quartz from plutons of different geochemical signature: A case study from the Bohemian Massif, Czech Republic. – *Lithos* 175–176, 54–67.
- ĎURIŠOVÁ, J. (1984): Podmínky vzniku greisenových paragenéz západních Krušných hor. – *Věst. Ústř. Úst. geol.* 59, 141–152.
- HUANG, R. – AUDÉTAT, A. (2012): The titanium-in-quartz (TitaniQ) thermometer: A critical examination and re-calibration. – *Geochim. cosmochim. Acta* 84, 75–89.
- KOMÁREK, M. (1968): Mineralogie a petrografie greisenů blatenského žulového masivku. – MS Čes. geol. služba. Praha.
- RUSK, B. (2012): Cathodoluminescent textures and trace elements in hydrothermal quartz. In: Götze, J. – Möckel, R., ed.: *Quartz: Deposits, mineralogy and analytics*, 307–330. – Springer.
- RUSK, B. G. – LOWERS, H. A. – REED, M. H. (2008): Trace elements in hydrothermal quartz: relationship to cathodoluminescent textures and insights into vein formation. – *Geology* 36, 547–550.
- SCHUST, F. – STRIEGLER, R. – OEMLER, M. (1970): Bemerkungen zur räumlichen Verteilung von Turmalin-Quartz-Knollen im Eibenstocker Granitmassiv. – *Z. angew. Geol.* 16, 113–122.