

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA GEOLOGIE



Existuje zonálnost pegmatitových těles i z hlediska fluid?

Příkladová studie z dutinového pegmatitu Strážek (moldanubikum)

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Radka Fišerová

Environmentální geologie

Prezenční studium

Vedoucí práce: RNDr. Zdeněk Dolníček, Ph.D.

Konzultant: Mgr. Petr Gadas, Ph.D. (ÚGV MU Brno)

Olomouc 2017

Čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechna použitá literatura je řádně citována.

V Olomouci dne 12. 5. 2017

.....

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu RNDr. Zdeňku Dolníčkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, pomoc při laboratorním výzkumu a za obrovskou trpělivost a vstřícnost, kterou projevil při psaní této diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat dr. V. Maškovi (LF UP) za provedení Ramanovy spektroskopie inkluzí. A v neposlední řadě bych chtěla poděkovat i svým rodičům a blízkým, kteří mne po celou dobu studia podporovali.

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora: Bc. Radka Fišerová

Název práce: Existuje zonálnost pegmatitových těles i z hlediska fluid? Příkladová studie z dutinového pegmatitu Strážek (moldanubikum)

Typ práce: Diplomová práce

Pracoviště: Katedra geologie PřF UP Olomouc

Vedoucí práce: RNDr. Zdeněk Dolníček, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2017

Abstrakt: Tato práce se zabývá studiem fluidních systémů v granitické, grafické a blokové zóně, dále v křemenném jádru a v dutině z geochemicky jednoduchého dutinového pegmatitu ve Strážku. V daném pegmatitu byly v inkluzích zjištěny 3 typy fluid: H₂O-soli (ve všech genetických zónách pegmatitu), H₂O-CO₂-soli (ve všech genetických zónách pegmatitu) a H₂O-plyny-soli (v grafické zóně, v blokové zóně a v křemenném jádru). Fluidní inkluze nejčastěji obsahovaly vodné systémy s obsahem různých solí (Na-Cl±FeCl₂-Mg-Cl₂) s nízkou až střední salinitou (0-17 hm. % NaCl ekv). Salinita těchto fluid během krystalizace pegmatitu výrazně klesala, což mohlo být způsobeno změnami ve stupni pokročilosti magmatické krystalizace, změnami tlaku při krystalizaci, mísením magmatických vod s externími fluidy. Dalším typem jsou fluida H₂O-CO₂-NaCl s příměsí N₂, CH₄ a H₂S. Jedná se o středněteplotní až vysokoteplotní fluida (Th = 232-399 °C) s proměnlivou salinitou (1-12 hm. % NaCl ekv.). U inkluzí typu H₂O-plyny-soli byla také detekovatelná příměs CO₂, CH₄ a N₂. Zdrojem CO₂ fluid jsou pravděpodobně okolní metamorfované horniny, v nichž byla aktivita obdobných fluid již dříve prokázána. Hodnody δD fluid, které koexistovaly se studovanými turmalíny, původ vody v metamorfovaných horninách potvrzují. Během krystalizace pegmatitu nenarůstala salinita reziduální fluidní fáze, z čehož můžeme usuzovat, že došlo k míchání magmatogenních vod s metamorfními vodami z okolního horninového prostředí. Isochory primárních fluidních inkluzí v P-T prostoru jsou v souladu s dříve publikovanými P-T podmínkami vzniku dutinových pegmatitů moldanubika.

Klíčová slova: moldanubikum, Strážek, dutinový pegmatit, fluidní inkluze, Ramanova spektroskopie, stabilní izotopy

Jazyk: Český

Počet stran: 81

Počet příloh: 0

Bibliographic identification:

Author's first name and surname: Bc. Radka Fišerová

Title: Does also exist the zonality of pegmatite bodies in terms of fluids? A case a study from pocket pegmatite in Strážek (Moldanubicum)

Type of thesis: Master's thesis

Institution: Department of Geology, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc

Supervisor: RNDr. Zdeněk Dolníček, Ph.D.

The year of presentation: 2017

Abstract: This thesis deals with fluid systems in the granitic zone, the graphic zone, the blocky zone, the quartz core and in the pocket of a geochemically simple pocket pegmatite from Strážek. There were found 3 types of fluids: H₂O-salts (in all zones of pegmatite), H₂O-CO₂-salts (in all zones of pegmatite) and H₂O-gas-salts (in the graphic zone, in the blocky zone, in the quartz core). Fluid inclusions most often contained aqueous system with Na, Cl, Fe, Mg chlorides with a low to medium salinity (0-17 wt. % NaCl eq.). The salinity of these fluids decreased significantly during the crystallization of pegmatite due to changes in the degree of the magma crystallization, changes in crystallization pressure, or the mixing of magmatic waters with external fluids. Another type is the H₂O –CO₂-NaCl fluid containing a mixture of N₂, CH₄ and H₂S. It is a medium to high-temperature fluid (Th = 232-399 ° C) with varied salinity (1-12 wt. % NaCl eq.). In H₂O-gas-salts system, there were also detectable gaseous CO₂, CH₄ and N₂. The source of carbonic fluid is probably in the surrounding metamorphic rocks, where their presence has already been demonstrated in previous studies. The δD values of the fluids that co-existed with studied tourmalines confirm the origin of water in a metamorphic environment. During the crystallization of pegmatite, the salinity of the residual liquid fluid phase did not increase, which suggests that the magmatic waters were mixed with metamorphic waters originating from the surrounding rock environment. The position of isochores of primary fluid inclusions in the P-T space correlates with the previously interpreted P-T conditions of the formation of pocket pegmatites in the Moldanubicum.

Key words: Moldanubicum, Strážek, pocket pegmatite, fluid inclusion, Raman spectroscopy, stable isotopes

Language: Czech

Number of pages: 81

Number of appendices: 0

Obsah

1. ÚVOD.....	6
2. PŘEHLED DOSAVADNÍCH POZNATKŮ	7
2.1. Geologická stavba moldanubika.....	7
2.2. Povariský vývoj	10
2.3. Pegmatity moldanubika	12
2.3.1. Dutinový pegmatit Strážek.....	14
2.4. Fluidní systémy v pegmatitech moldanubika	17
3. METODIKA.....	22
4. VÝSLEDKY.....	24
4.1. Granitická zóna.....	24
4.1.1. Petrografie inkluzí.....	25
4.1.2. Mikrotermometrie	27
4.1.3. Ramanova spektroskopie	30
4.2. Grafická zóna.....	31
4.2.1. Petrografie inkluzí.....	32
4.2.2. Mikrotermometrie	34
4.2.3. Ramanova spektroskopie	38
4.3. Blokovaná zóna	39
4.3.1. Petrografie inkluzí.....	40
4.3.2. Mikrotermometrie	41
4.3.3. Ramanova spektroskopie	46
4.4. Centrální zóna.....	46
4.4.1. Petrografie inkluzí.....	47
4.4.2. Mikrotermometrie	49
4.4.3. Ramanova spektroskopie	53
4.5. Izotopy vodíku.....	55
5. DISKUZE.....	56
5.1. Chemické složení fluid	56
5.1.1. Inkluze typu H ₂ O-soli	56
5.1.2. Inkluze typu H ₂ O-CO ₂ -soli	61
5.1.3. Inkluze typu H ₂ O-plyny-soli	66
5.2. Interpretace původu fluid.....	67
5.3. P-T podmínky zachycení fluid	69
5.4. Srovnání s dosavadními poznatky z moldanubika.....	71
6. ZÁVĚR.....	74
7. POUŽITÁ LITERATURA	76

1. ÚVOD

Zájmová lokalita Strážek se nachází přibližně 13 km jihozápadně od Bystřice nad Pernštejnem v oblasti Českomoravské vrchoviny, pro kterou je typický výskyt pegmatitových těles. Pegmatity se často vyznačují výraznou zonální stavbou, která se projevuje změnami textury i minerální paragenese. Proces pegmatitové krystalizace byl mnohokrát studován zejména z mineralogického či geochemického pohledu. Avšak o evoluci fluid v průběhu pegmatitové krystalizace se mnoho neví.

Cílem této diplomové práce bude snaha pokusit se identifikovat možný vývoj geochemicky jednoduchého pegmatitu od Strážku z pohledu fluidní fáze. Práce bude spočívat v petrografickém a mikrotermometrickém studiu fluidních inkluzí, které budou zkoumány v systematicky odebraných vzorcích z různých texturně-paragenetických jednotek pegmatitu.

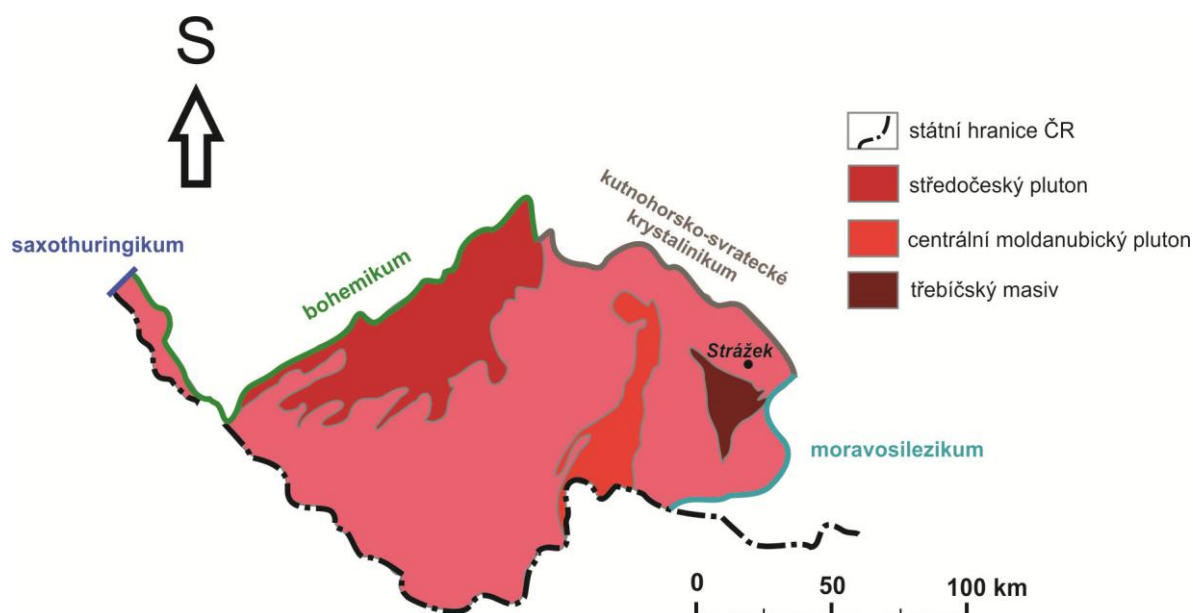
Rešeršní část bude zaměřena na geologickou charakteristiku moldanubika, na stručnou klasifikaci pegmatitů a na dosavadní publikované údaje o fluidních inkluzích z pegmatitů v zájmové oblasti.

Těžiště práce bude spočívat v laboratorní práci, kde nejdříve proběhne příprava oboustranně leštěných destiček ze systematicky odebraných vzorků pegmatitu. Dále bude následovat popis inkluzí z hlediska jejich fázového složení, genetického začlenění a provedeme změření mikrotermometrických parametrů. V případě potřeby bude využito i Ramanovy spektroskopie.

2. PŘEHLED DOSAVADNÍCH POZNATKŮ

2.1. Geologická stavba moldanubika

Moldanubická oblast na území Českého masivu představuje hlavní krystalinický segment východní části variscid, který je lemován na SZ saxothuringikem, na S bohemikem a na V moravosilezikem (obr. 1). Moldanubikum dále pokračuje jižním a jihozápadním směrem do Rakouska, kde je převážně pokryto povariskými platformními sedimenty (Fiala 1995). Styk moldanubika s okolními jednotkami variscid je převážně tektonický. Za jednu z nejvýznamnějších tektonických linií moldanubika lze považovat příbyslavskou mylonitovou zónu, která prochází napříč celou oblastí ve směru SSV-JJZ (Žák et al. 2011).



Obr. 1 Geologická mapa moldanubika na území ČR s vyznačenou lokalitou Strážek

Moldanubikum je budováno především katazonálně metamorfovanými komplexy hornin, jejichž intenzita metamorfního postižení odpovídá amfibolitové a granulitové facii. Celkově lze vyčlenit tři metamorfnní zóny (Cháb a Suk 1977).

Zóna muskovit-biotitických pararul, neboli „svorová“ zóna. Horniny této zóny jsou rozděleny na dvě subfacie a vyskytují se lokálně např. v chýnovské zóně. Starší odpovídá regionálně metamorfované subfacii křemen-staurolit-kyanit-andalusit. Mladší fáze má minerální asociaci odpovídající sillimanit-almandinové subfacii.

Zóna biotitických a sillimanit-biotitických pararul má největší rozsah v moldanubiku. Je charakteristická minerální asociací biotit+plagioklas+křemen±sillimanit.

Poslední zóna cordierit-biotitických pararul a migmatitů tvoří převážně šumavské moldanubikum a také lemuje moldanubický pluton. Je tvořena minerální asociací sillimanit+biotit+křemen+cordierit+K-živec.

Nynější podobu moldanubiku vtiskl sled několika metamorfních událostí variské metamorfózy. Nejstarším typem je MP/MT metamorfóza, při níž došlo k sjednocení několika litotektonických jednotek datované na ~350-330 Ma. Následovala fáze HT/LP regionální metamorfózy a anatexe, kde došlo k proniknutí četných těles granitoidů zemskou kůrou, a to v několika intervalech v datovaném období ~340 a 280 Ma (Dallmeyer et al. 1995).

Fiala (1995) v moldanubiku vyčleňuje čtyři litotektonické jednotky – ostrongskou, drosendorfskou, gföhlskou a bavarikum.

Ostrongská jednotka neboli dříve označovaná jako jednotvárná skupina, je tvořena převážně biotitickými, biotiticko-muskovitickými či biotiticko-sillimanitickými pararulami s hojným cordieritem, které jsou v rozsáhlých oblastech moldanubika migmatitizovány. Původně se nejspíš jednalo o drobové a břidličné sledy flyšového rázu s odlišnou zrnitostí (Mísař et al. 1983, Chlupáč et al. 2002).

Drosendorfský terán je do značné míry litologicky shodný s předchozí ostrongskou jednotkou. Kromě převládajících rul ho budují i další metasedimenty – kvarcity, kvarcitické ruly, grafitické kvarcity, erlany, skarny, mramory, dolomitické vápence, grafitické ruly a grafity. Vyskytují se zde i metavulkanity, reprezentované různými typy metabazitů – amfibolity, granátické amfibolity a amfibolické ruly (Mísař et al. 1983). Metamorfóza zde probíhala za středních až vysokých tlaků, ale nevyskytuje se zde vysokotlaká granulitová facie (Fiala 1995). P-T podmínky regionální metamorfózy pro drosendorfský terán jsou stanoveny na rozmezí teplot 630-720 °C a tlaků 0,3-0,6 GPa (Petraakis 1997).

Gföhlská jednotka je nejvýše položenou tektonickou strukturou v moldanubiku. Ve spodní části je tvořena hlavně migmatity, eklogity, ortorulami, pararulami a amfibolity, dále směrem do nadloží se nacházejí vysokotlaké granulity. Celou jednotkou prostupují také granátické a spinelové peridotity (Fiala 1995, Medaris et al. 2005). Metamorfismus této jednotky probíhal ve dvou fázích. Nejdříve prošla vysokým stupněm metamorfózy, která probíhala za P-T podmínek ~950-1050 °C a ~1,4-2,0 GPa a dále následovala retrográdní metamorfóza za teplot ~600-800 °C a tlaků ~0,6-0,8 GPa (Wendt et al. 1994).

Bavarikum z velké části prošlo variskou HT-LP metamorfózou anatektického charakteru. Tato oblast měla podobný vývoj jako předchozí terány, dokud nedošlo k přemodelování metamorfními událostmi. Je tvořena migmatity a perlovými rulami (Fuchs 1976).

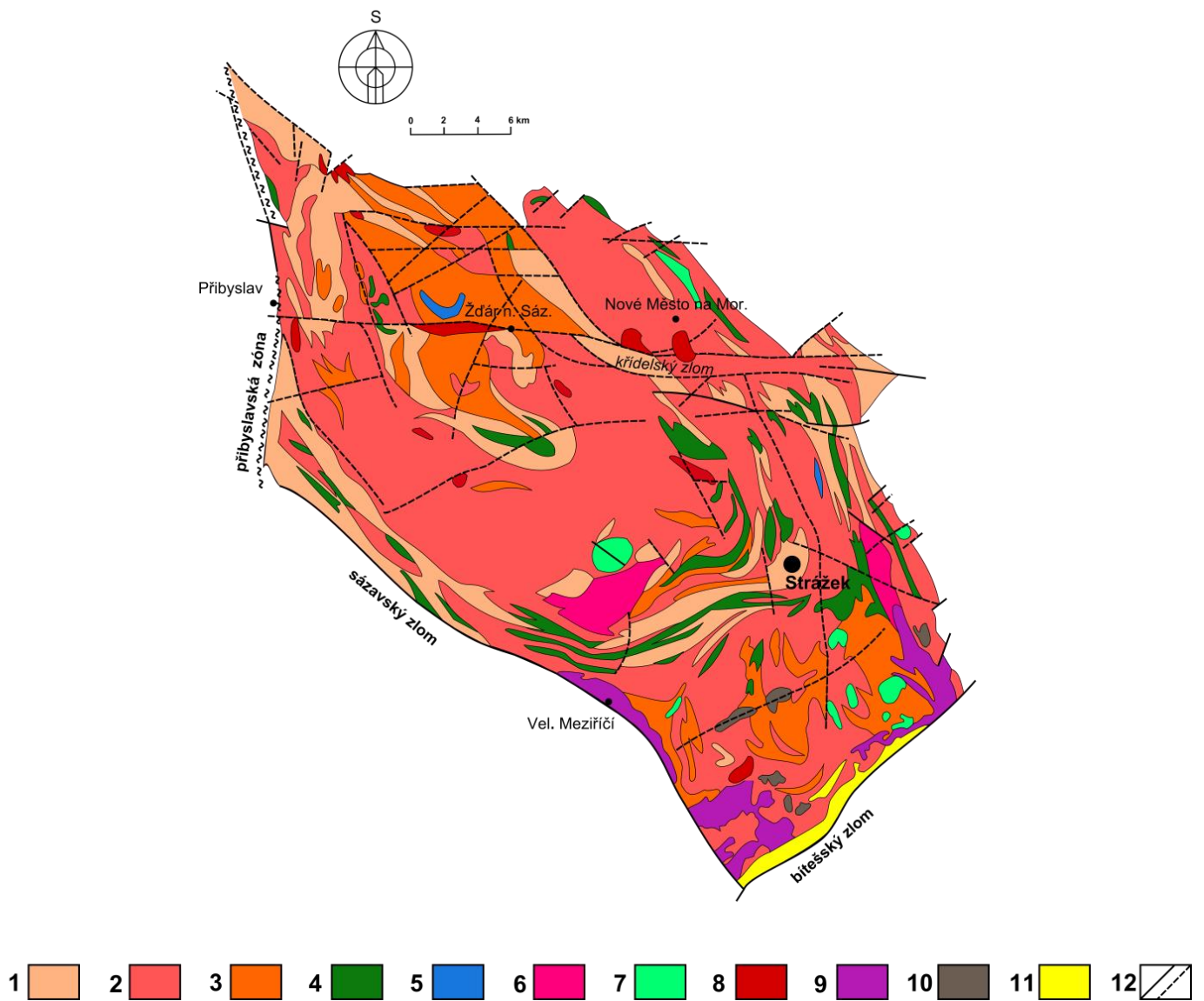
V moldanubiku mají výrazné plošné zastoupení i pozdně variské plutonické komplexy granitoidního složení, mezi které patří moldanubický a středočeský pluton. Největším magmatickým variským komplexem v Českém masivu je moldanubický plutonický komplex o rozloze více než 6000 km², který intrudoval v období 350-300 Ma (Holub et al. 1995). Tvoří ho starší a mladší skupiny intruzí, které se svým věkem částečně překrývají. Starší skupina má největší zastoupení a je tvořena porfyrickými biotitickými syenogranity-monzogranity (typ Weinsberg) (Cháb et al. 2008). Granitoidy byly původně datovány na 350 až 335 Ma (Fiala 1995), ale Gerdes et al. (2003) upřesnil stáří na 331 až 323 Ma. Vyskytují se zde také další horninové typy, mezi které patří rastenberský monzogranit-granodiorit, lásenický biotitický granit s muskovitem a menší tělesa křemenného dioritu, křemenného monzonitu a tonalitu (Holub et al. 1995). Mladší skupina intruzí je reprezentována peraluminickými dvojslídnyými syenogranity-monzogranity typu Eisgarn (Cháb et al. 2008), datované na 328-327 Ma (Gerdes et al. 2003). Následně došlo k intruzi typu Freidstadt, ke kterému řadíme také granity typu Mauthausen, Ševětín a Pavlov (Holub et al. 1995) a jejich stáří bylo stanoveno na 317 až 300 Ma (Gerdes et al. 2003). Nejmladší intruze reprezentují subvulkanické anorogenní žíly a menší tělesa s muskovitickými granity s topazem a Sn-(Nb-Ta) mineralizací a dále greisenizovanými biotit-muskovitickými granity s Mo-mineralizací (Holub et al. 1995).

Středočeský plutonický komplex se rozkládá na ploše okolo 3000 km² a jeho složité intruze pronikly ve směru SV-JZ podél významné diskontinuity - středočeského švu, který odděluje moldanubikum od Barrandienu (Holub et al. 1995). Nejrozšířenějšími horninami plutonu jsou biotitické a amfibol-biotitické monzogranity a granodiority (blatenská skupina) a biotit-amfibolické granodiority a tonality (sázavská skupina) (Cháb et al. 2008). Granodiority blatenské skupiny intrudovaly v období 346±10 Ma a granodiority sázavského typu v rozmezí 349±12 Ma (Holub et al. 1995). Důležitou součástí plutonického komplexu jsou také mladší durbachity typu Čertovo břemeno, tábořský syenit a nejmladší granity říčanské skupiny. Většina granitoidů je doprovázena aplity, lamprofyry a pegmatitovými žilami (Chlupáč et al. 2002).

Zkoumaná lokalita Strážek se nachází v oblasti strážeckého moldanubika (obr. 2), které je na S omezeno železnohorským zlomem, na J třebíčským masivem a na JV je hranice vedena podél bítešského zlomu a na Z ji tvoří přibyslavská mylonitová zóna (Mísař et al. 1983). Strážecké moldanubikum bylo dříve interpretováno jako brachysynklinála. Novější výzkumy však poukazují na nehomogenní stavbu, tudíž nelze hovořit o jedné struktuře. Pro centrální část oblasti je typická plochá antiklinální struktura, kterou komplikují jednotlivé synklinální struktury v jejím středu (Zrůstek 1973 in Stárková et al. 1993). Z hlediska litologie má největší zastoupení zóna biotitických a sillimaniticko-biotitických pararul s typickou minerální asociací biotit+sillimanit+plagioklas+křemen (Cháb a Suk 1977). Vyskytuje se zde i facie kyanitových rul a amfibolitů s minerální asociací biotit+sillimanit+kyanit+granát+plagioklas+křemen, která přibližně lemuje severní a východní hranici strážeckého moldanubika a je interpretována jako zóna vysokotlaké metamorfózy při tlaku 1000-1400 MPa a teplotě 600-800 °C (Sobolev 1970 in Stárková et al. 1993).

2.2. Povariský vývoj

V období synorogenní extenze došlo k založení duktilní deformace poklesového a posunového charakteru a to při nasouvání moldanubických příkrovů přes moravikum v období 340 až 335 mil. let (Štípská a Schulmann 1995). Na konci tvorby příkrovů došlo k postorogenní extenzi a k rychlé exhumaci variské kůry a to v období 300 až 280 mil. let, což způsobilo založení a vyplňování stefanských a spodopermských pánví molasovými sedimenty – blanická brázda, boskovická brázda a jihlavská brázda. V počátečním stádiu tohoto období došlo také k otevření hlubokých zlomových struktur, které pak byly vyplněny hydrotermální mineralizací Ag, Cu, Pb, Zn a U.



Obr. 2 Geologická mapa strážeckého moldanubika s vyznačenou studovanou lokalitou (upraveno dle Stárkové et al. 1993) Vysvětlivky: 1 – biotitické pararuly, 2 – migmatity, 3 – granitizované ruly, 4 – amfibolity, 5 – erlany, 6 – granulity, 7 – serpentinity, 8 – granity, 9 – durbachity, 10 – metadiority, 11 – aplity, 12 – zlomy ověřené, předpokládané

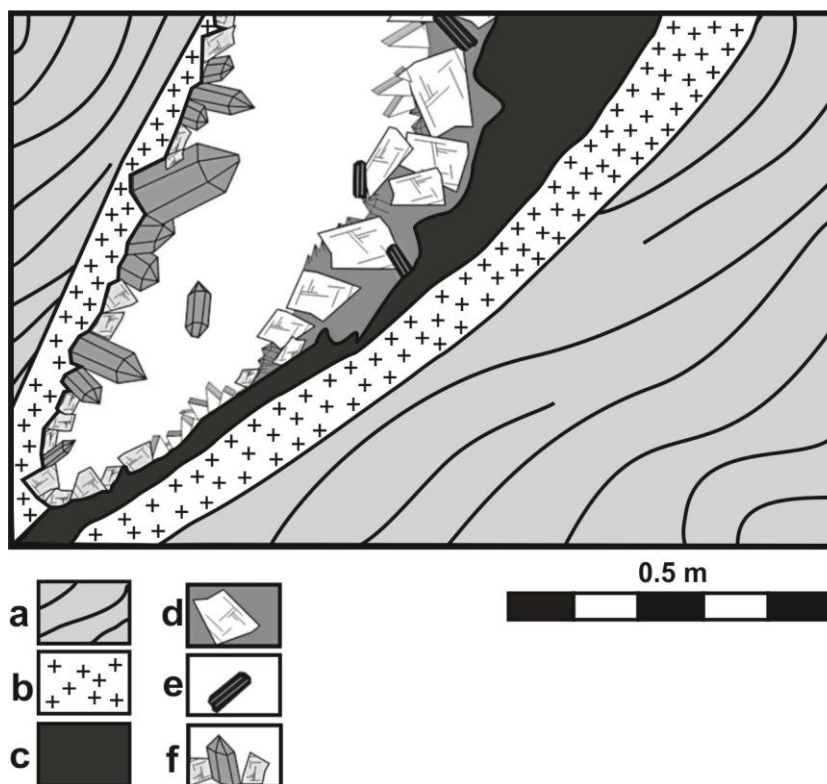
2.3. Pegmatity moldanubika

V moldanubiku se vyskytují specifické typy a subtypy pegmatitů, které dodnes nejsou zařazeny v používaných klasifikacích a nacházejí v různých horninových typech, zejména v rulách, ve svorech, v granulitech, v amfibolitech, v serpentinitech, ve skarnech, v krystalických vápencích, v granitech a v syenitech (Staněk 1959). Novák (2005) zde vyčleňuje abysální pegmatity nacházející se pouze na sv. okraji moldanubika a subabysální pegmatity, které se vyskytují v oblastech silné migmatitizace. Subabysální pegmatity krystalizovaly při nižších tlacích a v menších hloubkách a vznikly anatezí metapelitických hornin. Patří sem cordieritové, andalusitové a turmalínové pegmatity. Pro nás nejdůležitější skupinou jsou primitivní pegmatity vzácných prvků, kam patří většina granitických pegmatitů Českého masivu. Do této skupiny spadá několik subtypů a to turmalinické, andalusitové a fosfátové pegmatity. Turmalinické pegmatity jsou nejčastějším typem mezi primitivními pegmatity s jednoduchou minerální asociací křemen, živce, slídy, někdy turmalín a v akcesorickém množství se mohou vyskytovat apatit, granát, cordierit-sekaninait, andalusit, rutil, ilmenit, löllingit, pyrit a arzenopyrit. Důležitým znakem je také jejich výskyt v oblastech, kde se nacházejí více frakcionované berylové pegmatity, dále také mohou přecházet do andalusitových nebo fosfátových pegmatitů. Významné lokality turmalínových pegmatitů se nacházejí v okolí Borů, Laviček u Velkého Meziříčí a též sem spadá pegmatit ve Strážku s krystaly granátu v dutinách. Novák et al. (1998a in Novák 2005) se zabývali také stářím pegmatitů, zejména z třídy vzácných prvků. Metodou U-Pb studovali monazity z fosfátového pegmatitu z Dolních Borů a z beryl-columbitového pegmatitu s turmalínem z Věžné, jejichž stáří stanovili na 335 ± 2 a 337 ± 2 Ma.

Dutinové pegmatity jsou specifický a lokálně velmi rozšířený typ pegmatitů moldanubika, kterému je věnována daleko větší pozornost ze strany sběratelů, než ze strany odborníků. Jejich primitivní stavba, minerální a celkové chemické složení nezapadá zcela do současných klasifikací. Jejich charakteristickým znakem je také absence granitů v oblastech jejich výskytu a naopak velmi úzký vztah k okolním metamorfovaným horninám (Novák 2005). Jen velmi zřídka lze dutinové pegmatity nalézt na výchozech, mnohem častěji jsou k nalezení jejich fragmenty nebo izolované krystaly na obdělávaných polích. Pegmatitová tělesa bývají konkordantně uložena, výjimkou však nebývají ani diskordantně uložené žíly nebo nepravidelná tělesa, která mají ostrý kontakt s okolními migmatizovanými horninami. Pro dutinové pegmatity je typická zonální stavba (obr. 3), tvořená granitickou jednotkou (plagioklas + křemen + K-živce \pm biotit \pm muskovit), grafickou jednotkou (křemen + K-živce \pm biotit/muskovit), blokovou jednotkou (K-živce + křemen \pm muskovit \pm albit \pm turmalín \pm andalusit \pm sekaninait) a větším či

menším křemenným jádrem (křemen + turmalín). Dutiny o mocnosti několika desítek dm jsou nejčastěji distribuovány v blokové jednotce, křemenném jádru nebo na jejich hranici. Mohou mít asymetricky vyvinutou výplň, kde do prostoru vyrůstají dokonale vyvinuté krystaly křemene (záhněda, citrín, křišťál) v asociaci s albitem nebo lze nalézt často korodované krystaly K-živce s narůstajícím albitem, muskovitem, křemenem a turmalínem (Gadas et al. 2012a).

Němec (1992) popsal dva způsoby vzniku dutin v dutinových pegmatitech. V prvním případě jde o plynulý přechod minerálů z kompaktních, někdy i porézních stěn dutin do drúzových agregátů dutiny, kdy prostor dutiny byl původně vyplněn fluidy. Předpokládá se, že během krystalizace nastaly podmínky k oddělení fluidní fáze od magmatické taveniny a to zpravidla v tektonicky klidném prostředí. Výjimečně mohlo dojít k třišťivé tektonice, jejímž důsledkem rozpučely stěny dutin a roztoky, které by v žíle vytvořily křemenné jádro, unikly mimo dutiny (Foord et al. 1989). Dutiny tohoto typu bývají největších rozměrů a chybí v pegmatitech, které byly během tuhnutí postiženy silnými intramineralizačními střížnými pohyby, jež vedou k uzavření dutiny. Dutiny druhého typu vznikají vyloužením částí žil za působení korozivních fluid v konečných fázích krystalizace. Tyto dutiny dosahují malých rozměrů a obsahují nízkoteplotní minerály (Černý 1991). Oba typy se mohou také vyskytovat společně. V pegmatitu u Bobrůvky pod dutinami způsobila zbytková fluida metasomatickou albitizaci se vznikem drúzových dutinek (Staněk 1986).



Obr. 3 Zjednodušený idealizovaný řez žilou dutinového pegmatitu Znětínek (upraveno dle Gadase et al. 2012a) Legenda: a) pararula, b) granitická jednotka, c) grafická jednotka, d) bloková jednotka, e) turmalín, f) křemen+albit

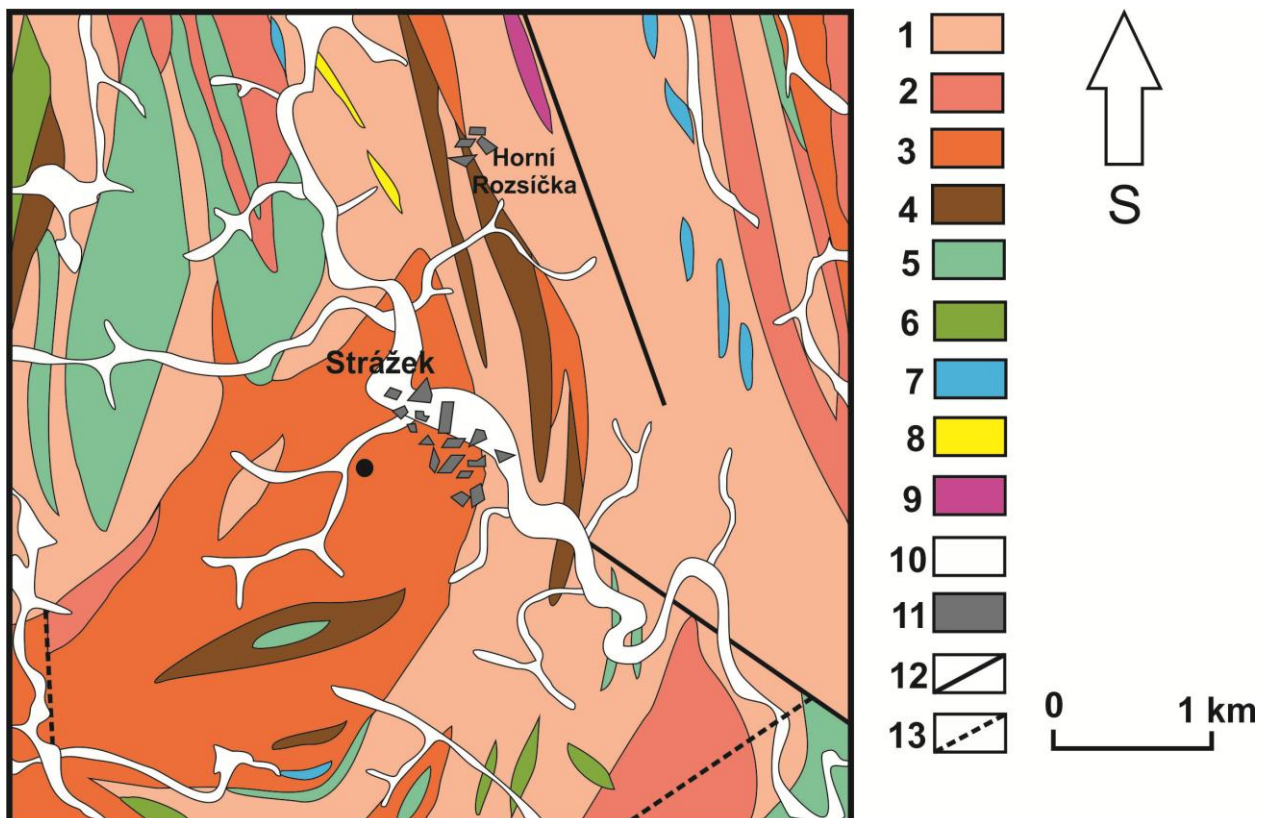
Gadas et al. (2012b) se ve své práci zaměřují na podmínky vzniku dutinových pegmatitů moldanubika. Studiu byly podrobeny zonální krystaly turmalínů z různých lokalit. Vzorek turmalínu z dutinového pegmatitu z lokality Suky byl zkoumán metodou LA-ICP-MS, již byly naměřeny variabilní obsahy stopových prvků v jednotlivých zónách. Velmi podobné koncentrace byly naměřeny v jádrové a střední zóně, avšak okrajová zóna vykazovala zvýšené obsahy Mn, Ni, Zn, Sc a Ga a naopak nižší koncentrace V, Cr, Co, Sr a prvků vzácných zemin. Tento zonální turmalín spolu s dalším krystalem z lokality Hodíškov byly dále zkoumány Mössbauerovým spektrometrem, pomocí něhož bylo všechno Fe z jádrových a středních zón stanoveno jako Fe²⁺. Minerální asociace pegmatitů (andalusit+cordierit) a celková geologická a petrografická situace indikují P-T podmínky krystalizace za teplot ~500-650 °C a tlaků ~300-400 MPa. Naopak žíly s absencí K-živce a hojným muskovitem vykazují nižší teploty krystalizace ~400-200 °C.

Nejnovější poznatky přineslo studium stopových prvků v křemeni z různých typů pegmatitů moldanubika. V lepidolitovém pegmatitu z Rožné mírně narůstají obsahy Li, Al a Ge, zatímco obsahy Ti naopak klesají směrem z granitické zóny ke křemennému jádru. Podobné hodnoty byly zjištěny i u beryl-columbitového pegmatitu z Věžné, avšak zde byly naměřeny nejvyšší koncentrace Ti v blokové zóně. V anatektickém dutinovém pegmatitu u Znětínku mírně klesají obsahy Al, Ti, B, Rb, Sn, Mn a Fe z grafické do blokové zóny a dále pak klesají u dvougeneračních dutinových krystalů záhněd. Tento reverzní jev není zcela typický pro granitické horniny. Z obsahů Ti v křemeni byly u pegmatitu Znětínek stanoveny teplotní podmínky krystalizace ~670 °C za předpokládaných tlaků 300 MPa (Breiter et al. 2014).

2.3.1. Dutinový pegmatit Strážek

Pegmatitová žíla na lokalitě Strážek se nachází v zalesněném svahu přibližně 700 m jihozápadně od kostela v obci (obr. 4) a dosahuje délky téměř 100 m a mocnosti okolo 3 m. Pegmatit je světle zbarvená nehomogenní hornina s měnící se zrnitostí od okraje směrem ke středu žíly. Ložní žíla je uložena v biotitické rule s cordieritem. Mikroskopickým studiem byly v rule zjištěny plagioklas odpovídající oligoklasu, K-živce mírně obohacené albitovou složkou, křemen a slídy zastoupené biotitem, který svým složením odpovídá siderofylitu a lupínky

muskovitu. Z akcesorických minerálů byly pozorovány apatit, zirkon, monazit, xenotim, pyrit a rutil (Kupská 2015). V pegmatitu byly Kupskou (2015) rozlišeny následující zóny: granitická, grafická, bloková a centrální část tvořená křemenným jádrem a dutinami. Granitická jednotka je tvořena křemenem, plagioklasem s viditelnou albitizací a sericitizací podél štěpných trhlin, dále xenomorfně omezeným K-živcem a tabulkovými krystaly biotitu odpovídajícími svým složením siderofylitu. V této zóně se vyskytují primární (dravit až skoryl) a sekundární (skoryl) turmalíny. V grafické jednotce byla pozorovatelná zrna křemene, který vytváří písmenkové srůsty s xenomorfně omezeným K-živcem, dále se zde vyskytuje plagioklas a také dvě generace turmalínů, které odpovídají skorylu. V blokové jednotce vytváří křemen (o velikosti až 5 cm) a K-živec (až 10 cm) velká zrna. K-živec je často pertitický. Zde byly také stanoveny dvě generace turmalínů odpovídající skorylu až foititu. Centrální část žíly tvoří křemenné jádro s turmalínem o velikosti krystalů až 15 cm. V této části se nacházejí i dutiny o velikosti 1-15 cm, kde do prostoru vyrůstají dokonale omezené krystaly křemene (záhněd) v asociaci s K-živcem, albitem, muskovitem, granátem a turmalínem. Typické jsou zde pouze primární turmalíny se složením skoryl-foitit. Granáty tvoří neprůhledné hnědé nebo červené krystaly převážně o velikosti do 5 mm, ale ojediněle mohou dosahovat až 2 cm. Nacházejí se pouze v dutinách a jejich složení kolísá kolem hranice almandin-spessartin. Zajímavý je vývoj zonálních turmalínů a granátů, kde byly zjištěny zvýšené koncentrace Mg, Ti a Ca v okrajových zónách. K tomuto obohacení pravděpodobně došlo po utužení taveniny pegmatitu, kdy během krystalizace došlo k otevření systému a Ca a Mg byly přineseny fluidy z okolního prostředí. Naopak jádra a přechodné zóny krystalů naznačují změny od magmatogenní krystalizace k hydrotermální. Jádra tedy vznikala nejspíš v uzavřeném systému (Kupská 2015).



Obr. 4 Geologická mapa širšího okolí Strážku s černě vyznačenou lokalitou. Vysvělivky – 1 – rula, 2 – rula až migmatit, 3 – cordieritická pararula, 4 – pararula, 5 – amfibolit, 6 – amfibolit, rula, 7 – erlan, 8 – migmatit, 9 – granit až syenit, 10 – kvartérní sedimenty, 11 – zástavba, 12 – zlom zjištěný, 13 – zlom předpokládaný (www 1, upraveno)

2.4. Fluidní systémy v pegmatitech moldanubika

Prvotní poznatky o fluidních inkluzích z pegmatitů moldanubika přinesli Staněk a Plch (1981). Zabývali se studiem inkluzí z křišťálů a záhněd metodou homogenizace z lokalit západní Moravy – Sklené, Suky, Bobrůvka, Cyrilov a Rousměrov. Popisují zde všechny genetické typy fluidních inkluzí – P, PS a S. Na lokalitách Sklené a Suky byla zjištěna inkluze s převahou plynné fáze nad kapalnou. Chromatografické analýzy plynné fáze (extrahované termodekrepitačně) ukázaly vysoký obsah CO₂ (12,7-21,1 mol. %), H₂ (26,4-52,9 mol. %) a N₂ (5,2-29,4 mol. %). Vodné inkluze homogenizovaly převážně na kapalinu a to v širokém rozpětí teplot od 185 do 337 °C.

Nejvíce výzkumů bylo realizováno na lokalitě Bory a v blízkém okolí. V lomu Horní Bory byly podrobeny studiu fluidní inkluze z dolomitové mineralizace v pegmatitové žíle (Dolníček et al. 2003). Autoři rozlišují dva typy inkluzí:

- **Vodné dvoufázové inkluze (L+V)**, které homogenizují v úzkém intervalu od 136 do 167 °C. Ve fluidech byla prokázána přítomnost chloridů Na a Ca. Poslední tající pevnou fází byl v části inkluzí led ($T_{m_{ice}} = -7,4$ až -14 °C, což odpovídá salinitě 11-17,8 hm. % NaCl ekv.), v části hydrohalit ($T_{m_{hh}} = -17$ až $+1,6$ °C, což odpovídá salinitě 24-26,3 hm. % NaCl ekv.).
- **Plynné jednofázové inkluze (V)** homogenizují za teplot -97,5 až -99,1 °C na plyn. Vymražená pevná fáze (CO₂?, H₂S?) sublimuje za teplot -94 až -60 °C. Tyto plynné inkluze se vyskytují společně s výše zmíněnými vodnými inkluzemi a lze usuzovat, že se jedná o systém CH₄-N₂.

Cempírek et al. (2010) zkoumali v okolí Borů křemeny v pegmatitu bohatém na bezvodé borosilikáty, kde popisují tři typy fluidních inkluzí. První jsou fluidní inkluze bohaté na CO₂ fází, která homogenizuje za teplot 12,9 až 21,9 °C. Teploty tání pevného CO₂ jsou nízké (od -58,2 do -59,2 °C), což naznačuje přítomnost příměsi CH₄ nebo N₂. Dalším typem jsou vodné dvoufázové inkluze (L+V) s nízkou salinitou od 3,3 do 6,4 hm. % NaCl ekv. Tento typ inkluzí homogenizoval za teplot od 287 do 365 °C. Posledním typem byly inkluze s variabilním zastoupením plynné a vodné složky. Teploty iniciálního tání byly naměřeny od -54 až -51 °C, což odpovídá trojsložkovému systému NaCl-CaCl₂-H₂O. Inkluze se nejčastěji nacházely na řádcích přes celá zrna, některé byly i samostatně nebo vytvářely trojrozměrné distribuce.

Navrátilová (2011) se ve své diplomové práci zabývá studiem fluidních inkluzí z různých variet křemene (křišťál, růženín, záhněda a mléčný křemen) z okolí Borů a Cyrilova. Popisuje zde inkluze různého fázového složení, nejčastěji dvoufázové (L+V) a trojfázové ($L_{aq}+L_{car}+V$) se systémem $H_2O-NaCl-CO_2$. Dvoufázové FI homogenizují na kapalinu za teplot 79 až 485 °C. Inkluze s plynným a kapalným CO_2 homogenizují většinou na kapalinu a jen ojediněle na plyn za teplot 160 až 508 °C. Sporadicky se vyskytovaly i inkluze s pevnou fází halitu (L+V+S) se salinitou 29-36 hm. % NaCl ekv., což poukazuje na vysokosalinní roztoky. Celková homogenizace probíhala na kapalinu za teplot 142 až 381 °C. U jediné inkluze byla pevná fáze pomocí Ramanovy spektroskopie určena jako kalcit.

Fuksová (2014) studovala fluidní inkluze v turmalinickém pegmatitu a v cordieritickém pegmatitu z lomu Bory.

Turmalinický pegmatit:

Fluidní inkluze byly zkoumány ve dvou minerálech - v křemeni a turmalínu z grafické zóny pegmatitu. V křemeni se nejčastěji vyskytovaly sekundární inkluze. Z hlediska fázového složení se zde vyskytovaly dvoufázové inkluze (L+V; $L_{aq}+L_{car}$), jednofázové (L) vodné inkluze a plynné (V) inkluze s obsahem CO_2 . Sporadicky se vyskytovaly i taveninové (skelné) inkluze, které nereagovaly na změnu teplot v rozsahu od -196 do +550 °C. V menší míře se objevovaly i dvoufázové (L+V; $L_{aq}+L_{car}$) nebo trojfázové ($L_{aq}+L_{car}+V$) pseudosekundární a primární inkluze.

Turmalín byl inkluzemi bohatý, ale většinou šlo o minerální inkluze. Nejčastěji se vyskytovaly průhledné sekundární inkluze vyplněné sklem. Ojediněle se vyskytovaly P a PS dvoufázové (L+V) fluidní inkluze.

V obou minerálech byly rozlišeny tři typy fluidních systémů:

- ***Vodné systémy bez plynných složek*** v křemeni s teplotou homogenizace 100-383 °C. Teploty iniciálního tání se pohybovaly od -32 do -34 °C. U turmalínu se teploty homogenizace pohybovaly od 100 do 190 °C. Hodnota eutektické teploty byla stanovena na -36 °C. Lze usuzovat systémy $H_2O-NaCl-FeCl_2$ a $H_2O-NaCl-MgCl_2$.
- ***Vodné systémy s obsahem plynů*** byly zastoupeny v menším počtu. Primární, pseudosekundární a sekundární inkluze se vyskytovaly jako dvoufázové a třífázové s CO_2 . Teplota tání klatrátu byla v rozsahu 3,1-11,3 °C. V turmalínu se podařila zachytit jen jediná inkluze s obsahem CO_2 . U všech inkluzí byly naměřeny nižší teploty tání pevného CO_2 , což pokazuje na přítomnost dalších plynů, které byly

pomocí Ramanovy spektroskopie určeny jako CH₄ a N₂. Teploty eutektika jsou obdobné jako u výše zmíněných čistě vodných inkluzí, tudíž zde byl stanoven systém H₂O-CO₂-FeCl₂ nebo H₂O-CO₂-MgCl₂.

- **Plynné systémy** v křemeni byly zjištěny převážně u sekundárních inkluzí, které měly variabilní fázové složení - (L+V, V+S, L, V). V inkluzích bohatých na kapalinu tál CO₂ při nízkých teplotách (-62 až -56 °C), kde byly Ramanovou spektroskopií detekovány příměsi CH₄ a N₂. Parciální homogenizace CO₂ probíhala na kapalinu od 23 do 31 °C. U některých inkluzí byla změřena i homogenizace CH₄ na plyn při teplotách -138 a -136 °C. Tento typ inkluzí obsahuje systém CO₂±N₂±CH₄.

Cordieritický pegmatit:

P, PS a S fluidní inkluze se vyskytovaly pouze v křemeni. Nejčastějším typem byly jednofázové (L, V), černé sekundární inkluze. Objevovaly se také tmavé dvoufázové L_{car}+V inkluze, vodné dvoufázové (L+V) inkluze a dvoufázové kapalně (L_{aq}+L_{car}) inkluze. Primární a pseudosekundární inkluze byly i trojfázové (L_{aq}+L_{car}+V) nebo jednofázové (L či V).

V cordieritickém pegmatitu se také nacházejí 3 typy inkluzí:

- **Vodné inkluze bez příměsí plynů** zahrnovaly P, PS i S dvoufázové (L+V) inkluze. U primárních inkluzí se nepodařilo změřit teplotu homogenizace (>550 °C). Homogenizace pseudosekundárních inkluzí probíhala na kapalinu a nejčastěji v rozmezí od 210 do 300 °C. Sekundární inkluze homogenizovaly na kapalinu od 100 do 179 °C. Hodnoty iniciálního tání se pohybovaly okolo od -34 do -36 °C. Jedná se o vodné roztoky s obsahem chloridů H₂O-NaCl-FeCl₂ a H₂O-NaCl-MgCl₂.
- **Vodné inkluze s obsahem plynů** se vyskytovaly často jako primárně-sekundární a sekundární inkluze, jen výjimečně jako primární. Opět jsou zde typické nižší teploty tání pevného CO₂, což způsobuje příměs dalších plynů, které byly Ramanovou spektroskopií identifikovány jako CH₄ a N₂. Tání klatrátu vykazuje široký interval od -9,5 až +9,9 °C. Homogenizační teploty se pohybují od 86 do 434 °C. Inkluze patří k systému H₂O-CO₂-FeCl₂ nebo H₂O-CO₂-MgCl₂.
- **Plynné inkluze** byly zastoupeny všemi genetickými typy (P, PS a S). Inkluze jsou svými mikrotermometrickými parametry velmi podobné inkluzím v turmalinickém pegmatitu. V inkluzích podle Ramanovské analýzy dominuje N₂, CH₄ a v menším množství je zastoupen C₂H₆ a stopově i C₃H₈. Inkluze tohoto typu obsahují systém N₂-CH₄±C₂H₆±C₃H₈.

Fluidním inkluzím v křišťálech z deluviofluviálních sedimentů z okolí Žďáru nad Sázavou se věnovali Halavínová a Přichystal (2008). Výzkum byl zaměřen na lokality Sklené nad Oslavou, Rousměrov, Brtnice a Kněžice. Ve Skleném nad Oslavou popsali dva typy inkluzí (L+V; $L_{aq}+L_{car}+V$). Z genetického hlediska se jedná o sekundární inkluze. Nízké teploty iniciálního tání (-52 až -38 °C) identifikují komplexní vodné roztoky $H_2O-NaCl\pm CaCl_2\pm KCl\pm FeCl_2\pm MgCl_2$. Celková homogenizace probíhala vždy na kapalinu v rozmezí 117 až 221 °C. Na lokalitě Rousměrov se vyskytovaly dvoufázové inkluze bohaté na CO_2 . Teploty iniciálního tání se pohybují okolo -40 °C a teploty homogenizace na kapalinu jsou v intervalu 156-223 °C. Dvoufázové inkluze z lokality Brtnice byly podrobeny Ramanově spektrometrii, již byla prokázána přítomnost oxidu uhličitého, metanu a dusíku. Nepodařilo se naměřit teplota iniciálního tání, ale další mikrotermometrické parametry jsou obdobné jako na předešlých lokalitách. Poslední zkoumanou lokalitou byla Kněžice, kde se vyskytují pouze vodné L+V inkluze. Homogenizace probíhala výhradně na kapalinu v rozsahu od 203 do 244 °C.

Fišerová a Dolníček (2014) se věnovali fluidním inkluzím v záhnědách z dutinových pegmatitů ze dvou lokalit od Krásněvsí. V záhnědách byly hojně zastoupeny P, PS i S inkluze. Tvar primárních inkluzí byl velmi různorodý od izometrických přes okrouhlé až po tzv. „negativní krystaly“. Velikost primárních FI byla často od 50 do 90 μm , ojediněle se vyskytovaly inkluze, které dosahovaly až 190 μm . Pseudosekundární FI byly oválného až protáhlého tvaru o velikosti 45-70 μm . Sekundární inkluze se tvarově lišily na obou lokalitách a jejich velikost se pohybovala od 25 μm do 55 μm . Na obou lokalitách byly zjištěny dva typy fluid, a to vodné systémy (L+V) bez přítomností plynů a vodné systémy s obsahem plynů (L+V; $L_{aq}+L_{car}+V$). Je tedy patrné, že na vzniku dutinových pegmatitů se podílelo více typů fluid. Na lokalitě „Lom“ se jednalo o vysokoteplotní ($T_h = 241-364$ °C), nízkosalinní (2,6-5,4 hm. % NaCl ekv.) a nízkoteplotní ($T_h = 118-171$ °C), nízkosalinní (2,1-4,4 hm. % NaCl ekv.) fluida. Starší generace fluid působila za výrazně vyšších teplot než mladší a docházelo tedy k postupnému ochlazování. U inkluzí z lokality „Pole“ naopak došlo k míchání roztoků, které se lišily teplotou, a sice vysokoteplotních ($T_h = 163-374$ °C), středněsalinních (3,9-10,1 hm. % NaCl ekv.) fluid a nízkoteplotních ($T_h = 89-194$ °C), středněsalinních (5,3-10,9 hm. % NaCl ekv.) roztoků. Dalším typem byly inkluze s příměsí plynů, v nichž byla pomocí Ramanovy spektroskopie v plynné fázi zjištěna převaha CO_2 s příměsí N_2 a CH_4 . Tato fluida byla vysokoteplotní ($T_h = 330-398$ °C) a nízkosalinní (0,4-6,1 hm. % NaCl ekv.). Průběhy izochor rámcově korelují s dříve publikovanými PT údaji pegmatitové krystalizace a vzniku dutinových pegmatitů.

Ackerman et al. (2007) se ve své práci zaměřili na dva mineralogicky a texturně odlišné pegmatity z Vlastějovic – lithný a jednoduchý typ, kde se snažili vymezit P-T podmínky jejich vzniku a odhadnout původ fluid. V lithném pegmatitu studovali fluidní inkluze pouze v křemenu, zatímco v primitivním pegmatitu v křemenu, fluoritu, apatitu a titanitu. V obou typech se nacházejí primární dvoufázové inkluze H_2O-CO_2 s příměsí dalších plynů (N_2 , CH_4) a třífázové inkluze (L+V+S), v nichž byla pevná fáze identifikována pomocí Ramanovy spektroskopie jako kalcit. U jednoduchého pegmatitu byla tato fluida obohacena vápníkem, který pochází z okolních hornin (Ca-bohaté skarny), což je patrné z minerální asociace kontaktní zóny pegmatitu, kde je hojně zastoupen fluorit, hornblend a granát. V lithném pegmatitu nebyl zjištěn Ca, ale naopak se jedná o více komplexnější fluida $H_2O-CO_2(N_2)-H_3BO_3-NaCl$, kde během jejich vývoje docházelo k poklesu obsahu CO_2 a ke zvyšování salinity. Odhadované P-T podmínky pegmatitové krystalizace se u obou typů liší jen nepatrně, a to 600-640 °C a 420-580 MPa pro primitivní pegmatity a 500-570 °C a 310-430 MPa pro lithné pegmatity.

Fluidními inkluzemi z granitických pegmatitů moldanubika z Vlastějovic a Vepic se zabývala Surmová (2014). Vepický pegmatit spadá mezi Y-REE-Nb-Ta-Ti pegmatity a je tvořen dutinami s pegmatitovou výplní v syenodioritu Čertova břemene. Hlavními minerály vyskytujícími se v pegmatitové dutině jsou křemen, K-živec a v menší míře titanit, ilmenit, zirkon, pyrit a galenit. Na této lokalitě byly studiu podrobeny vzorky křemene, kde byly zjištěny pouze P a PS fluidní inkluze, u kterých se teplota iniciálního tání pohybovala v širokém rozsahu od -33 do -11 °C. Homogenizace probíhala na kapalinu a nejčastěji od 240 do 260 °C. Inkuze tedy obsahují pouze vodné roztoky systému $H_2O-NaCl$ a jedná se o středněteplotní a středněsalinní roztoky. Z naměřených hodnot autorka vyvozuje P-T podmínky za teplot alespoň 300 °C a tlaků 50-100 MPa, ne však více než 400 °C a 260 MPa. V lithném pegmatitu z Vlastějovic byly z jednoho vzorku popsány pouze pseudosekundární inkluze, avšak s velkým množstvím pevných fází. Teplota iniciálního tání byla v rozmezí -40 až -38 °C, podle kterých lze usuzovat na systém $H_2O-NaCl-MgCl_2$ nebo $H_2O-NaCl-FeCl_2$. Homogenizace plynné fáze probíhala za teplot 150-160 °C a i většina pevných fází tála v rozmezí od 30 do 70 °C, ale některé na zvýšení teplot nereagovaly. Pomocí Ramanovy spektroskopie se mezi pevnými fázemi v inkluzích podařilo s jistotou identifikovat sassolin, u ostatních fází lze jen odhadovat, že by se mohlo jednat o křemen či lepidolit, nordenskiöldin, hematophanit či bystrit a arsenolit, jeremejevit či fluoroelbait.

3. METODIKA

Studium inkluzí bylo provedeno ve všech genetických jednotkách pegmatitu. Ze vzorků byly zhotoveny oboustranně leštěné destičky na leštičce Struers RotoPol-35 za použití diamantových suspenzí o zrnitosti 3 a 0,25 μm . Destičky byly lepené za studena vteřinovým lepidlem. Fluidní inkluze byly nejdříve zkoumány petrograficky v polarizačním mikroskopu Olympus BX 50 v procházejícím světle. Následně byly vzorky vloženy do nitrometanu na cca 24 hodin, aby se docílilo dokonalého odlepení od podložních skel. Po vyjmutí byly destičky rozlámány na potřebnou velikost a dále byly zkoumány metodou optické mikrotermometrie na aparatuře LINKAM THMSG 600 s rozsahem měřitelných teplot -196 až 600 $^{\circ}\text{C}$, instalované na polarizačním mikroskopu Olympus BX 51 (Katedra geologie PřF UP v Olomouci). U inkluzí byly měřeny následující veličiny: teplota zamrznutí (T_f), teplota iniciálního tání (T_e), teplota tání ledu ($T_{m_{ice}}$), teplota homogenizace (T_h), teplota celkové homogenizace ($T_{h_{tot}}$), teplota zamrznutí CO_2 ($T_{f_{\text{CO}_2}}$), teplota tání CO_2 fáze ($T_{m_{\text{CO}_2}}$), teplota parciální homogenizace nevodné fáze ($T_{h_{car}}$) a teplota tání klatrátu ($T_{m_{cla}}$). Salinita vodných inkluzí byla vypočtena na základě teploty tání posledního ledu podle Bodnara (1993). Pro výpočet salinity, složení a hustoty inkluzí obsahující plyny byly použity programy ICE s kalibrací podle Duana et al. (1996) a BULK s kalibrací dle Thiéryho et al. (1994). U vodných inkluzí bez plynných složek byly hustoty a složení vypočítány v programu FLINCOR s kalibrací dle Zhanga a Frantze (1987). Pro výpočet izochor bylo využito programu ISOC s kalibrací dle Duana et al. (1992a,b) a FLINCOR s kalibrací dle Bowerse a Hegelsona (1983).

U vybraných vzorků bylo využito i Ramanovy spektroskopie k identifikaci plynných složek a pevných fází. Analýza byla provedena dr. V. Maškem na Ústavu molekulární a translační medicíny LF UP v Olomouci. Vzorky byly zkoumány 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). Získaná spektra byla následně upravena a vyhodnocena pomocí softwaru LabSpec4. Pro určení zastoupení jednotlivých plynných složek bylo využito rovnice dle Burkeho (2001) a identifikace pevných fází byla provedena dle údajů Frezzottiho et al. (2012).

Vzorky turmalínu pro analýzu izotopového složení vodíku byly rozetřeny v achátové misce na analytickou jemnost a přečištěny koncentrovanou kyselinou fluorovodíkovou pro odstranění zbytků živců. Analýza byla provedena dr. H. Taubaldem na Fakultě matematiky a přírodních věd (Eberhard Karls Universität, Tübingen) na hmotnostním spektrometru Finnigan

MAT 252 po termickém uvolnění vody z minerálu, její redukci zinkem na elementární H₂ a kryogenním přečištění získaného plynu. Výsledky izotopových analýz jsou uvedeny v hodnotách δD vzhledem ke standardu SMOW. Chyba při měření je ±2 ‰. Pro výpočet izotopového složení vody byla použita rovnice dle Kotzera et al. (1993) použitelná v teplotním intervalu 350-600 °C:

$$1000 \ln \alpha_{\text{turmalín-voda}} = -27,2 \frac{(10^6)}{T^2} + 28,1$$

4. VÝSLEDKY

Fluidní inkluze byly zkoumány ve všech zónách pegmatitu, a to v granitické zóně, grafické zóně, blokové zóně a v centrální části. Současný stav lokality (obr. 5) neumožňuje systematický odběr vzorků z jednotlivých zón pegmatitu, tudíž všechny zkoumané vzorky mi zapůjčili dr. Gadas a dr. Dolníček.

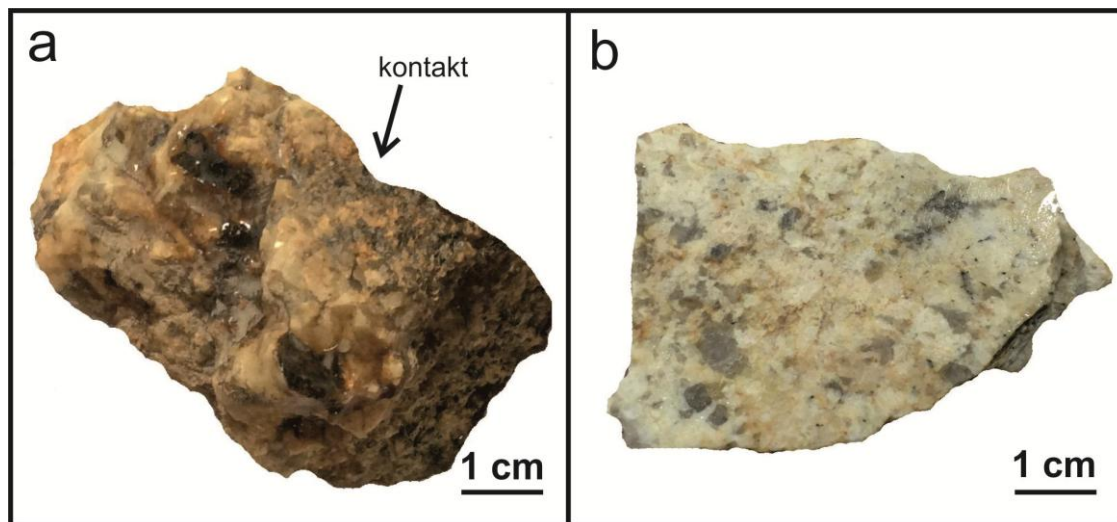


Obr. 5 Výskyt dutinového pegmatitu na lokalitě Strážek (stav říjen 2014)

4.1. Granitická zóna

Z granitické zóny byly zkoumány dva vzorky. U prvního z nich (GRZ1) je patrný kontakt biotitické ruly a dané jednotky pegmatitu (obr. 6a). Biotitická rula se vyznačuje všesměrně zrnitou texturou a má hnědočerné zbarvení. Pozorovatelné jsou nepravidelná zrna křemene světle šedé barvy (do 4 mm), dále jsou patrná zrna živců s narůžovělým zbarvením a xenomorfním až hypautomorfním omezením (do 3 mm). Ze slíd mají největší zastoupení šupinky černě lesklého biotitu (do 3 mm) a méně viditelné jsou i stříbřitě lesklé lupínky muskovitu (do 1 mm). U granitické jednotky pegmatitu je patrná všesměrně zrnitá textura, kde lze pozorovat minerály o velikosti ~1 cm (obr. 6a,b). Hojně jsou zastoupena zrna našedlého křemene, mléčně zakalených až narůžovělých živců a patrné jsou i větší šupinky biotitu. Tyto minerály jsou pozorované i u

druhého vzorku (GRZ2), zde jsou však navíc patrné jehličky černého turmalínu o velikosti 4 mm.



Obr. 6 a) vzorek GRZ1 - kontakt biotitické ruly a granitické jednotky, b) vzorek GRZ2 - granitická jednotka

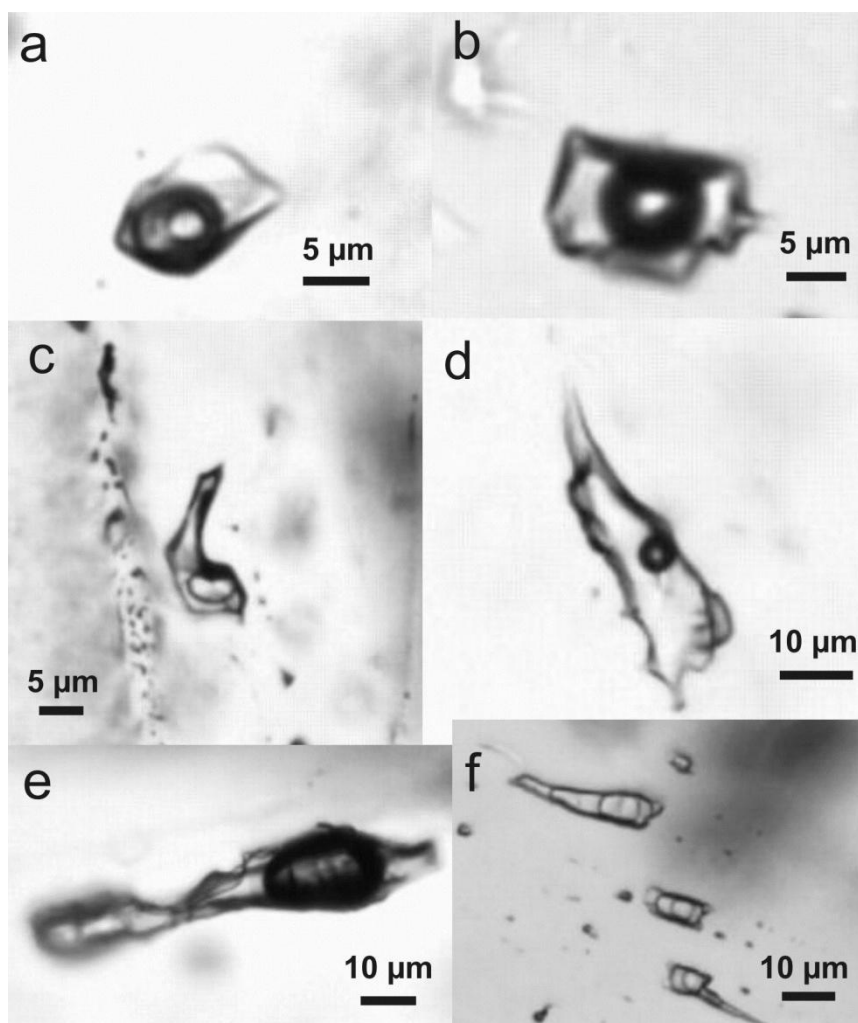
4.1.1. Petrografie inkluzí

Fluidní inkluze byly studovány ve dvou minerálech, a to v křemeni u obou vzorků (GRZ1,2) a v turmalínu pouze u vzorku GRZ2.

Křemen byl na inkluze bohatý a obsahoval všechny jejich genetické typy. Největší zastoupení měly sekundární (S) inkluze, méně primární (P) a pseudosekundární (PS) fluidní inkluze. Primární inkluze dosahovaly největších rozměrů (až 60 μm) a vyskytovaly se převážně soliterně při okraji zrna nebo náhodně rozmístěné po celém krystalu, kde také vytvářely menší skupinky inkluzí. Inkluze byly okrouhlého, nepravidelného, ale i tvaru negativního krystalu (obr. 7a,b). U obou vzorků (GRZ 1,2) se převážně vyskytovaly dvoufázové (L+V) vodné inkluze, kde plynná složka zaujímala 30-50 obj. %. Ve vzorku GRZ1 byly zjištěny tři trojfázové ($L_{\text{aq}}+L_{\text{car}}+V$) inkluze s obsahem nevodné fáze 50 obj. %. Ve vzorku GRZ2 byla nalezena jediná dvoufázová ($L_{\text{car}}+V$; obr. 7c) inkluze (plynná fáze zaujímala do 50 obj. %). Jednotlivé typy inkluzí se ve vzorcích vyskytují společně, zejména uprostřed zrn. Pseudosekundární inkluze byly kónického, oválného tvaru a menších rozměrů okolo 10 μm a jejich řádky nikdy nedosahovaly až k okraji zrna. Z hlediska fázového složení byly u obou vzorků zastoupeny opět dvoufázové (L+V) FI s obsahem plynné fáze 10-30 obj. % a pouze ve vzorku GRZ2 se vyskytovaly i trojfázové

($L_{aq}+L_{car}+V$) inkluze, v nichž nevodná fáze zaujímá až 60 % celkového objemu. Jednotlivé typy FI se nacházely společně a tvořily krátké řádky. Sekundární inkluze jsou si velmi podobné v obou vzorcích, kde tvořily řádky protínající celá zrna i planární skupinky vyplňující vyhojené trhliny. Tvarově jsou velmi variabilní, a to nepravidelné, měňavkovité, protáhlé, ploché a dosahují velikosti až 25 μm (obr. 7d). Jsou zastoupeny jen dvoufázovými (L+V) vodnými inkluzemi často s velmi malým obsahem plynné fáze (5-10 obj. %).

Turmalín se v granitické jednotce vyskytuje v podstatně menší míře než v následujících zónách, a proto výskyt FI byl spíše ojedinělý (GRZ2). Přesto byly rozlišeny primární FI okrouhlého, oválného až protáhlého tvaru a větších rozměrů až (80 μm ; obr. 7e), které se vyskytují výhradně osamoceně při okraji zrna jako L+V inkluze s obsahem plynné fáze 50 obj. %. Častěji se zde nachází pseudosekundární ($L_{aq}+L_{car}+V$) inkluze protáhlého tvaru, kde nevodná fáze zaujímá 30-50 % obj. (obr. 7f).



Obr. 7 Příklady fluidních inkluzí v granitické zóně: a) trojfázová P-FI v křemeni (vzorek GRZ1), b) dvoufázová P-FI tvaru „negativního krystalu“ v křemeni (vzorek GRZ2) c) dvoufázová

(L_{car+V}) P-FI nepravidelného tvaru v křemeni (vzorek GRZ2), d) dvoufázová S-FI nepravidelného tvaru v křemeni (vzorek GRZ2), e) P-FI protáhlého tvaru v turmalínu (vzorek GRZ2), f) třífázové PS-FI protáhlého tvaru v turmalínu (vzorek GRZ2)

4.1.2. Mikrotermometrie

Měřením inkluzí byly u obou vzorků (GRZ1,2) zjištěny vodné inkluze typu H_2O -soli, dále inkluze typu H_2O - CO_2 -soli a i dvousložkový typ H_2O - CO_2 .

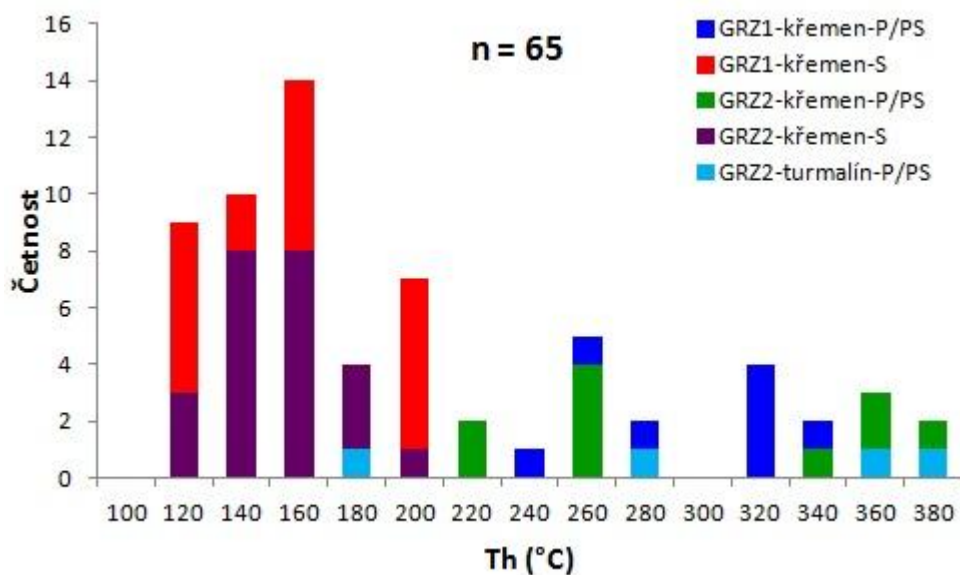
Inkluze typu H_2O -soli všech genetických typů byly zastoupeny v křemeni. V turmalínu se vyskytovaly pouze P a PS inkluze. Výsledky mikrotermometrických měření jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab 1. Výsledky mikrotermometrických měření pro vodné inkluze typu H_2O -soli z granitické zóny

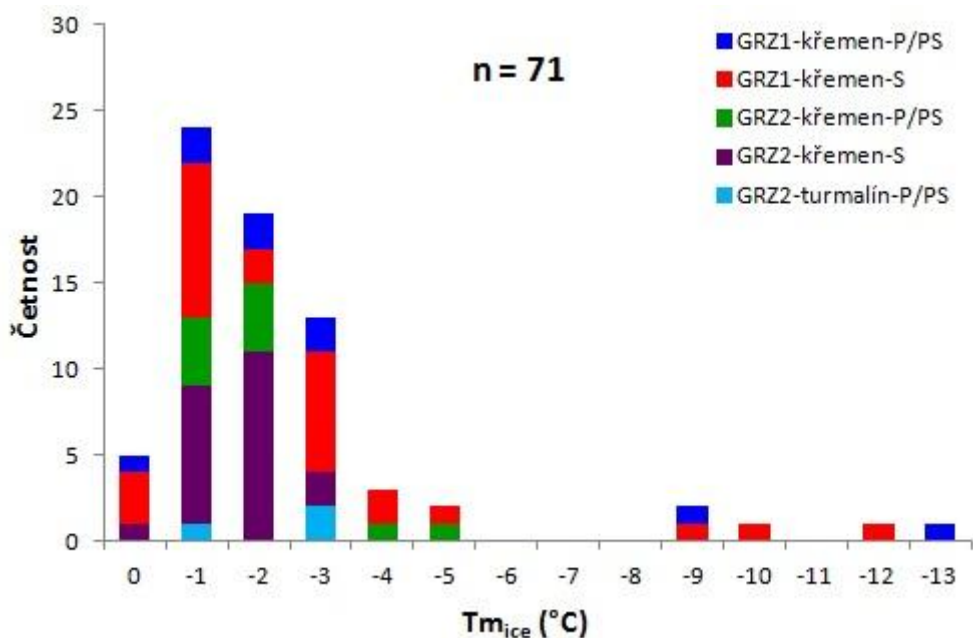
Vzorek	GRZ1		GRZ2		
Minerál	křemen		křemen		turmalín
Geneze	P/PS	S	P/PS	S	P/PS
Fáz. složení	L+V	L+V	L+V	L+V	L+V
Th(L) (°C)	239-336	100-195	212-373	115-188	174-361
Tf (°C)	-35 až -60	-33 až -55	-34 až -42	-31 až -47	-36 až -42
Te (°C)	-19 až -26	-19 až -46	-21 až -30	-18 až -38	nd.
Tm _{ice} (°C)	-1,8 až -13,2	-0,5 až -12,8	-1,2 až -5,2	-0,8 až -3,1	-1,8 až -3,8
Salinita (hm. % NaCl ekv.)	3,1-17,1	0,9-16,7	2,1-8,1	1,4-5,1	3,1-6,2

Vodné inkluze v křemeni zamrzají v rozmezí teplot $-31^{\circ}C$ až $-60^{\circ}C$. Zamrznutí se projevilo vznikem granulární struktury vzniklých pevných fází nebo deformací plynné bubliny. U několika inkluzí se podařilo zachytit také teplotu iniciálního tání v rozmezí -18 až $-46^{\circ}C$. Primární a pseudosekundární FI homogenizovaly na kapalinu v širokém rozptylu teplot mezi 212 a $373^{\circ}C$ (obr. 8). Teploty tání posledního ledu jsou nejčastěji v intervalu od $-1,2$ do $-5,2^{\circ}C$, ale ve dvou případech byla Tm_{ice} podstatně nižší ($-9,5^{\circ}C$ a $-13,2^{\circ}C$; obr. 9). Teploty zamrznutí sekundárních inkluzí jsou obdobné jako u předešlých genetických typů inkluzí. Homogenizace probíhala na kapalinu, v rozmezí 100 - $195^{\circ}C$ (obr. 8). Hodnoty Tm_{ice} se obvykle pohybují od $-0,5$ do $-5,1^{\circ}C$, ale i zde se objevovaly inkluze s nižší hodnotou (až $-12,8^{\circ}C$; obr. 9).

V turmalínu byly naměřeny pouze čtyři vodné inkluze (P a PS), které zamrzaly za teplot -36 °C až -42 °C. Jako poslední fáze tál led (-1,8 až -3,8 °C) a homogenizační teploty byly v rozsahu 174-361 °C (obr. 8 a 9).



Obr. 8 Histogram homogenizačních teplot pro vodné inkluze typu H₂O-soli



Obr. 9 Histogram teplot tání ledu pro vodné inkluze typu H₂O-soli

Inkluze typu H₂O-CO₂-soli mají v obou minerálech výrazně menší zastoupení.

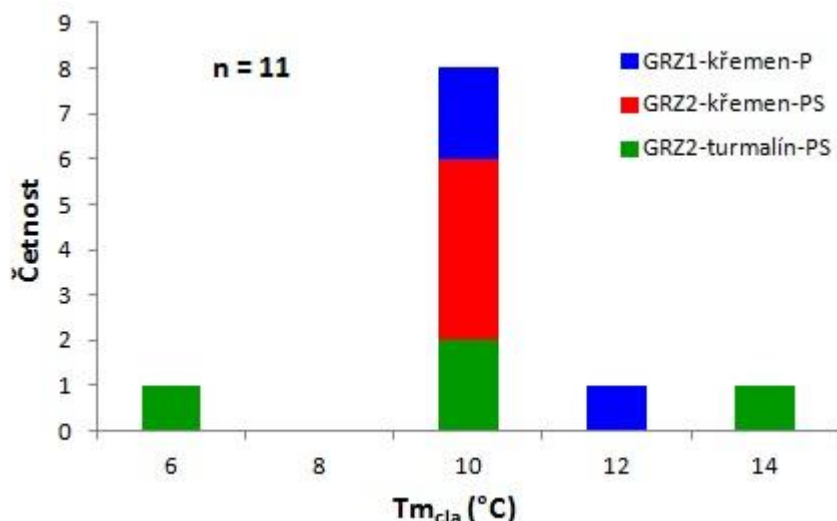
V křemenu byly popsány primární a pseudosekundární trojfázové (L_{aq}+L_{car}+V) inkluze, kde teplota tání CO₂ vykazovala hodnoty -57,5 až -59,4 °C (tab. 2). Jako poslední fáze tál klatrát v rozmezí 8,3 až 10,1 °C (obr. 10) a následným zahříváním došlo k rozpuštění nevodné fáze ve vodném roztoku (tzv. „bubble-point“ homogenizace). Teploty celkové homogenizace byly změřeny pouze u dvou PS inkluzí za teplot 262 a 271 °C. Jedna primární inkluze homogenizovala vymizením vodné fáze ve fázi nevodné (tzv. „dew-point“ způsobem) při teplotě 360 °C (tab. 2; obr. 11). Podařilo se zachytit i parciální homogenizaci nevodné fáze na kapalinu za teplot od 16,9 do 28,4 °C. Ve vzorku GRZ2 byla v křemenu nalezena i jedna primární? dvoufázová (L_{car}+V) inkluze, která zamrzala při teplotě -98 °C a CO₂ tál při -58,9 °C. Homogenizace proběhla na kapalinu za teploty 27,1 °C.

V turmalínu se vyskytují pouze trojfázové (L_{aq}+L_{car}+V) pseudosekundární inkluze s podobnými teplotami tání CO₂ jako v křemenu. Stejně tak i zde jako poslední fáze taje klatrát, ale v širším rozsahu od 5,6 do 12,7 °C (obr. 10). U těchto inkluzí nevodná fáze homogenizovala téměř vždy na kapalinu (26,6-29,9 °C), výjimkou byla jen jedna jediná inkluze, kde došlo k parciální homogenizaci na plyn při teplotě 27,5 °C. Většina inkluzí homogenizovala v módu „dew-point“ od 283 do 328 °C (obr. 11) a u jediné inkluze byla zachycena celková homogenizace v módu „bubble-point“ za teploty 300 °C.

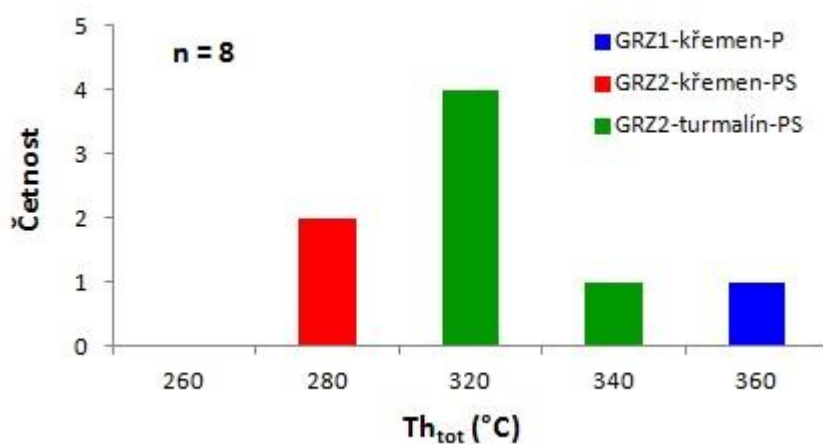
Tab 2. Výsledky mikrotermometrických měření pro inkluze typu H₂O-CO₂-soli a H₂O-CO₂

Vzorek	GRZ1	GRZ2	
Minerál	<i>křemen</i>	<i>křemen</i>	<i>turmalín</i>
Geneze	P	P?/PS	PS
Fáz. Složení	L _{aq} +L _{car} +V	L _{car} +V/L _{aq} +L _{car} +V	L _{aq} +L _{car} +V
Tf (°C)	-97 až -102	-97 až -100	-91 až -97
TmCO ₂ (°C)	-57,5 až -59,4	-57,5 až -58,9	-57,2 až -57,8
Tm _{ice} (°C)	-4,1 a -5,2	-2,6 až -3,9	-1,7 až -3,8
Tm _{cla} (°C)	9,1-10,1	8,3-9,7	5,6-12,7
Th(V) _{car} (°C)	-	-	27,5
Th(L) _{car} (°C)	16,9 a 25,7	21,6-28,4	26,6-29,9
Th _{tot} (dph) °C	-	262 a 271 (n=2)	283-328 (n=4)
Th _{tot} (bph) °C	360	-	300

Vysvětlivky: (dph)-, „dew-point“ homogenizace, (bph) – „bubble-point“ homogenizace



Obr. 10 Histogram teplot tání klatrátu pro inkluze typu H₂O-CO₂-soli

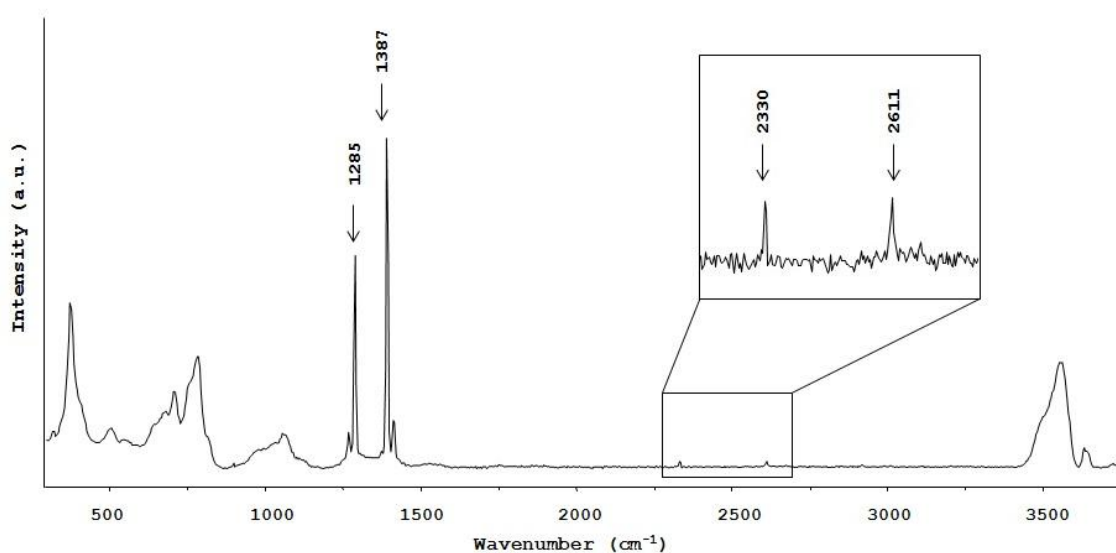


Obr. 11 Histogram teplot celkové homogenizace pro inkluze typu H₂O-CO₂-soli

4.1.3. Ramanova spektroskopie

Chemické složení nevodné fáze bylo stanoveno pomocí Ramanovy spektroskopie (obr. 12). Pro měření byla vybrána jedna pseudosekundární trojfázová inkluze z turmalínu (vzorek GRZ2), kde teplota tání CO₂ byla -57,8 °C, teplota tání ledu byla při teplotě -3,6 °C, klatrát tál při teplotě 5,6 °C, parciální homogenizace nevodné fáze probíhala na plyn za teploty 27,5 °C a celková homogenizace („bubble-point“) byla zachycena při teplotě 300 °C. V nevodné fázi byla prokázána přítomnost oxidu uhličitého (1285 cm⁻¹ a 1387 cm⁻¹), dusíku (2330 cm⁻¹) a sirovodíku (2611 cm⁻¹). Zastoupení jednotlivých plynů bylo vypočteno dle Burkeho (2001). U tohoto

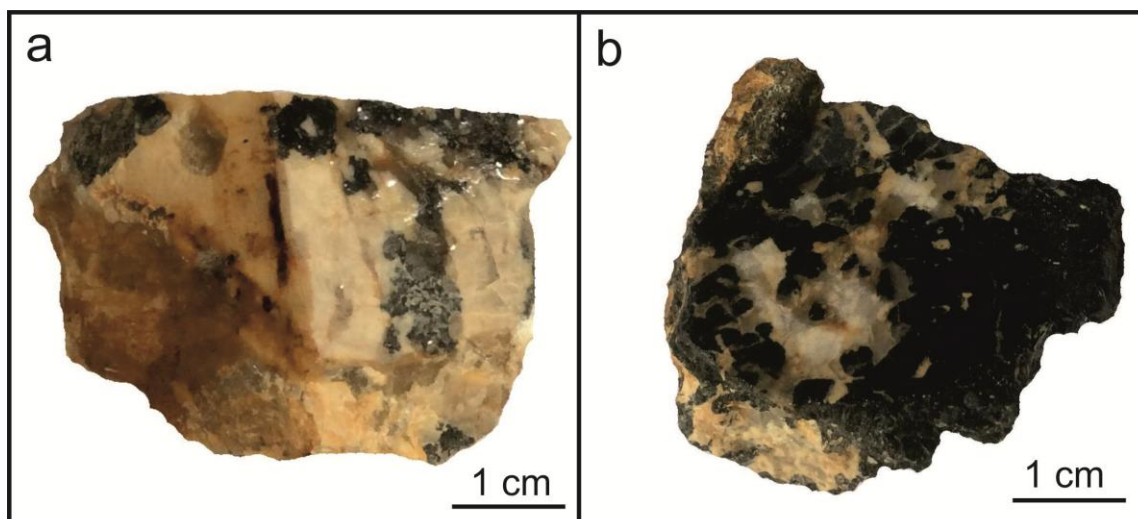
vzorku dominoval CO_2 (98,5 mol. %) a jen v malém množství byl zjištěn N_2 (1,2 mol. %) a H_2S (0,3 mol. %).



Obr. 12 Ramanovské spektrum pro nevodnou fázi z pseudosekundární trojfázové ($L_{aq}+L_{car}+V$) inkluze v turmalínu ze vzorku GRZ2

4.2. Grafická zóna

Pro středně zrnitou až hrubozrnnou grafickou jednotku je typické prorůstání křemene a K-živce (vzorek GFZ1; obr. 13a). Typickými minerály jsou našedlý křemen a narůžovělé až nažloutlé živce. Dále se zde v hojném počtu vyskytují černé turmalíny se skelným leskem (GFZ2; obr. 13b). Vytváří krátce sloupcovité krystaly s hypautomorfním až automorfním omezením o velikosti do 1 cm.



Obr. 13 a) grafická jednotka s prorůstajícím křemenem, K-živcem a turmalínem (vzorek GFZ1), b) grafická jednotka – turmalín, křemen, živce (vzorek GFZ2)

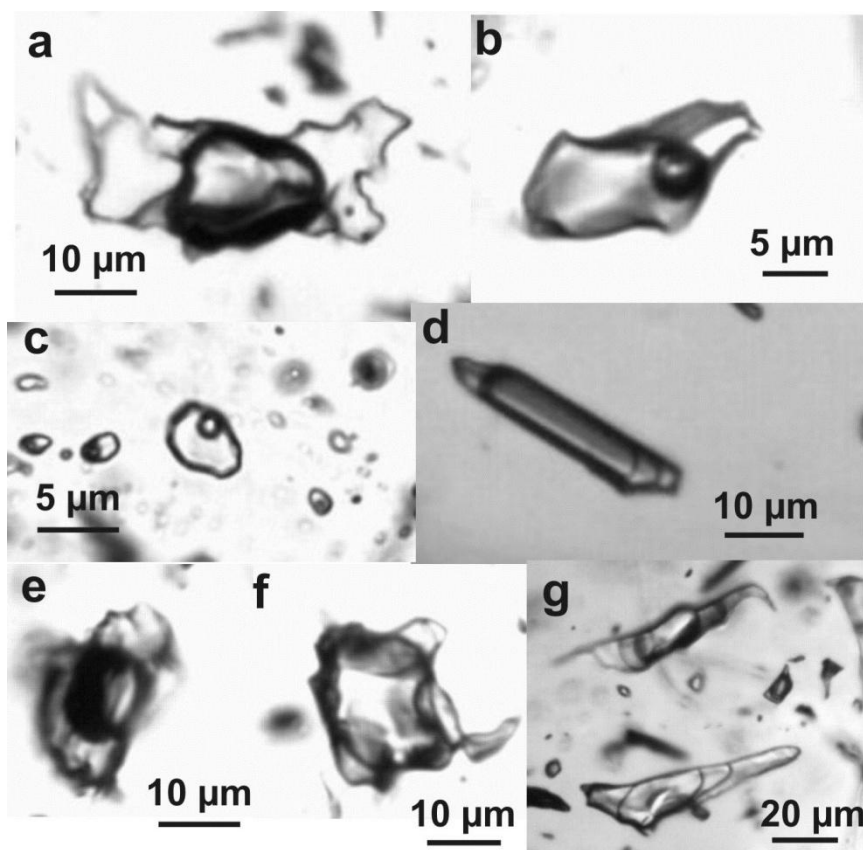
4.2.1. Petrografie inkluzí

Ve vzorku GFZ1 se fluidní inkluze vyskytovaly převážně v křemeni, naopak v turmalínu se vyskytovaly ojediněle. U vzorku GFZ2 se FI nacházely v hojném počtu u obou minerálů. V turmalínech (GFZ 1,2) se také často vyskytovaly velmi tmavé taveninové inkluze vyplněné rekrystalizovaným sklem.

V křemeni (GFZ 1,2) se nejčastěji vyskytují sekundární (L+V) vodné inkluze nepravidelného tvaru s četnými výběžky, které byly distribuovány v menších shlucích při trhlinách (obr. 14c). Inkluze pravidelnějších tvarů vytvářely traily napříč celým zrnem. Tyto inkluze obsahovaly plynnou fázi, která zaujímala do 10 obj. % inkluze. Trojfázové ($L_{aq}+L_{car}+V$) sekundární inkluze se vyskytovaly pouze ve vzorku GFZ2 a byly spíše měňavkovitého tvaru a tvořily skupinky. Inkluze s kontrastním fázovým složením se vyskytovaly společně. Nevodná fáze zaujímala více než 50 obj. % inkluze. Velikost obou typů inkluzí nepřesahovala 20 μm . Primární a pseudosekundární inkluze se vyskytují v menší míře a také jsou zastoupeny dvoj- (L+V) i trojfázovými ($L_{aq}+L_{car}+V$) typy, dosahují velikosti až 80 μm a vyskytují se společně převážně uprostřed zrn. Vývin inkluzí těchto typů u obou vzorků (GFZ 1,2) je velmi variabilní. Inkluze jsou zastoupeny pravidelnými, oválnými až okrouhlými, nepravidelnými tvary a i tvary tzv. negativních krystalů. Nevodná fáze zaujímá 20-50 obj. % (obr. 14 a,b,e,f).

Turmalín častěji obsahoval primární trojfázové ($L_{aq}+L_{car}+V$) fluidní inkluze oválného až okrouhlého, místy protaženého tvaru o velikosti do 40 μm . Inkluze byly hodně tmavé s převahou nevodné fáze o objemu 50 až 70 obj. % a často se vyskytovaly soliterně při okraji zrna nebo byly

náhodně rozmístěné. Pseudosekundární inkluze byly protaženého až kónického tvaru (obr. 14d) o velikosti maximálně 30 μm . Jsou distribuovány na drobných řádcích, které neprocházely skrz celá zrna. Oba tyto genetické typy se hojně vyskytovaly u obou vzorků (GFZ 1,2) a ojedinelé se s nimi společně nacházely i dvoufázové (L+V) inkluze s obsahem plynné fáze 30 až 50 obj. %. Sekundární inkluze se vyskytují častěji ve vzorku GFZ2 a jsou trojfázové ($L_{\text{aq}}+L_{\text{car}}+V$) s obsahem nevodné fáze od 20 do 40 obj. %. Jsou hodně zploštělého, nepravidelného, místy i protaženého tvaru s výběžky a jejich velikost nepřesahuje 35 μm (obr. 14g). Ve vzorku GFZ1 byly zřídka patrné i nepravidelné dvoufázové vodné L+V inkluze se stupněm zaplnění $F=0,9$ a o velikosti do 20 μm .



Obr. 14 Příklady fluidních inkluzí v grafické zóně: a) dvoufázová P-FI nepravidelného tvaru v křemenu (vzorek GFZ1), b) dvoufázová PS-FI protáhlého tvaru v křemenu (vzorek GFZ1), c) dvoufázové S-FI okrouhlého tvaru v křemenu (vzorek GFZ1), d) trojfázová PS-FI kónického tvaru v turmalínu (vzorek GFZ1), e) dvoufázová P-FI protáhlého tvaru v křemenu L+V s příměsí plynů (vzorek GFZ2), f) trojfázová P-FI okrouhlého tvaru v křemenu (vzorek GFZ2), g) trojfázové nepravidelné S-FI v turmalínu (vzorek GFZ2)

4.2.2. Mikrotermometrie

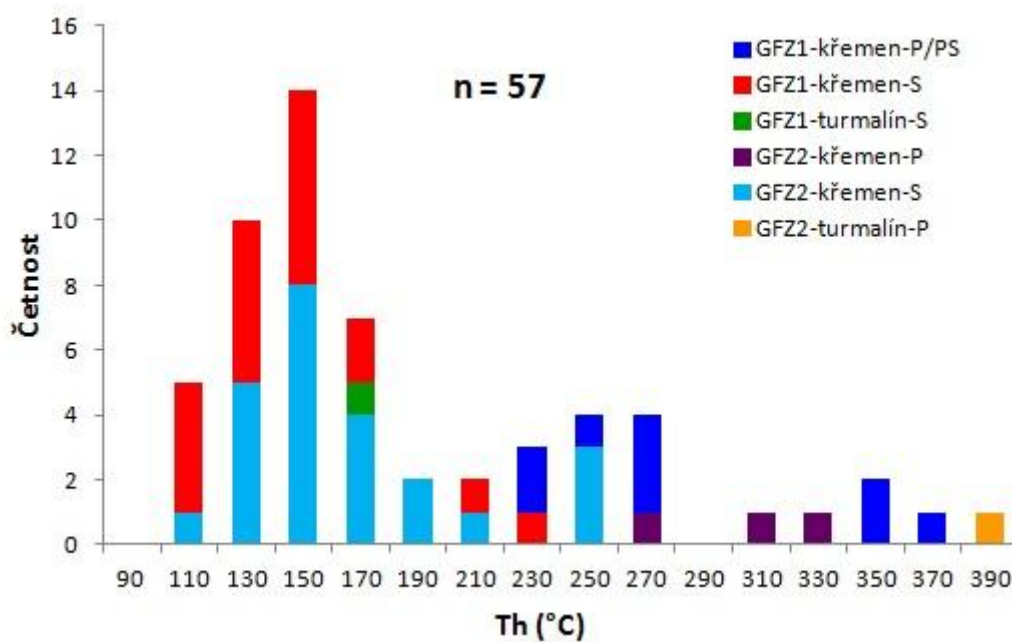
Inkluze v obou studovaných vzorcích (GFZ 1,2) obsahují vodné systémy typu H₂O-soli a vodné systémy s plynnými složkami – inkluze typu H₂O-CO₂-soli a H₂O-příměs plynů-soli.

Vodné inkluze typu H₂O-soli byly nejhojněji zastoupeny v křemeni, kde zahrnovaly všechny genetické typy inkluzí. V turmalínu se tento typ vyskytoval pouze u dvou inkluzí. Přehled mikrotermometrických měření je uveden v tabulce 3.

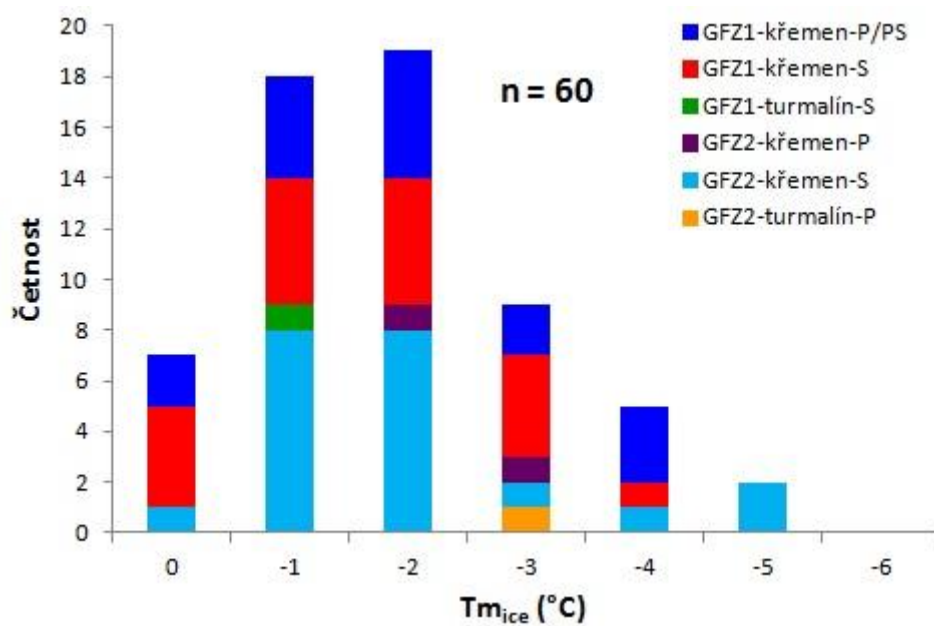
Tab 3. Výsledky mikrotermometrických měření pro vodné inkluze typu H₂O-soli

Vzorek	GFZ1			GFZ2		
	křemen		turmalín	Křemen		turmalín
Minerál						
Geneze	P/PS	S	S	P	S	P
Fáz. složení	L+V	L+V	L+V	L+V	L+V	L+V
Th(L) (°C)	223-355	94-222	160	258-319	106-244	374
Tf (°C)	-30 až -44	-38 až -45	-42	-39 až -42	-30 až -47	-43
Te (°C)	-18 až -26	-33 až -37	nd.	nd.	-21 až -37	nd.
Tm _{ice} (°C)	-0,7 až -4,5	-0,7 až -4,5	-1,7	-2,3 a -3,1	-0,6 až -5,2	-3,8
Salinita (hm. % NaCl ekv.)	1,2-7,2	1,2-7,2	2,9	3,9-5,0	1,1-8,1	6,2

Inkluze v křemeni zamrzají v rozmezí od -30 až -47 °C, teplota tání posledního ledu byla -5,2 až -0,6 °C (tab. 3). Primární a pseudosekundární inkluze homogenizují za teplot od 223 do 355 °C na kapalinu, zatímco teploty homogenizace sekundárních inkluzí se pohybovaly v nižších hodnotách od 94 do 244 °C (obr. 15). Ve všech genetických typech inkluzí se podařilo zachytit teplotu iniciálního tání v rozpětí -37 až -18 °C. V turmalínu byly změřeny pouze dvě (P a S) dvoufázové (L+V) vodné inkluze, kde teploty tání posledního ledu byly -3,8 a -1,7 °C (obr. 16). U sekundární inkluze byla změřena poměrně nízká teplota homogenizace (160 °C), zatímco u primární dosahovala hodnoty 374 °C.



Obr. 15 Histogram teploty homogenizace vodných inkluzí typu H₂O-soli



Obr. 16 Histogram teploty tání posledního ledu vodných inkluzí typu H₂O-soli

Inkluze typu H₂O-CO₂-soli se vyskytují v obou minerálech, ale největší zastoupení mají v turmalínech. Mikrotermometrické údaje jsou shrnuty v tabulce 4.

Tab 4. Výsledky mikrotermometrických měření pro inkluze typu H_2O-CO_2 -soli

Vzorek	GFZ1		GFZ2			
	křemen	turmalín	křemen		turmalín	
Geneze	P	P/PS	P	S	P/PS	S
Fáz. složení	$L_{aq}+L_{car}+V$	$L_{aq}+L_{car}+V$	$L_{aq}+L_{car}+V$	$L_{aq}+L_{car}+V$	$L_{aq}+L_{car}+V$	$L_{aq}+L_{car}+V$
Tf (°C)	-92 až -98	-93 až -99	-90 až -96	-92 až -95	-94 až -102	-94 až -97
TmCO ₂ (°C)	-57,1 až -58,6	-57,1 až -58,7	-57 až -57,6	-57,6 až -58,1	-58,3 až -61,7	-57,4 až -59,1
Tm _{ice} (°C)	-2,0 až -2,7	-2,0 až -2,4	-1,3 a -2,3	nd.	-1,2 a -2,1	nd.
Tm _{cla} (°C)	6,8-8,4	6,9-9,1	6,1-8,9	7,8-8,9	6,8-10,3	8,1-10,6
Th(V) _{car} (°C)	28,2 a 28,6	16,7 až 29,0	20,1 až 24,7	-	12,4 až 27,6	-
Th(L) _{car} (°C)	28,1	-	-	24,3 až 26,8	-	19,8 až 24,7
Th _{tot} (dph) °C	276-365 (n=3)	302-399 (n=9)	dekr.	dekr.	314-387 (n=11)	302-320 (n=4)
Th _{tot} (bph) °C	-	371	-	-	-	-

Vysvětlivky: (dph)-, „dew-point“ homogenizace, (bph) – „bubble-point“ homogenizace, nd. – nezměřeno, dekr. - dekrepitace

V křemeni se častěji vyskytují primární třífázové inkluze, v nichž CO₂ tál při -57,1 až -58,6 °C. Teplota tání klatrátu byla zachycena při 6,1 až 8,9 °C (obr. 17), parciální homogenizace nevodné fáze probíhala na plyn (20,1 až 28,6 °C) a pouze u jedné inkluze na kapalinu za teploty 28,1 °C. Celková „dew-point“ homogenizace byla zachycena jen u dvou inkluzí za teplot 276-365 °C (obr. 18). Sporadicky se také vyskytovaly sekundární třífázové inkluze s obdobnými mikrotermometrickými parametry jako u P inkluzí, zde se však nepodařilo naměřit teplotu celkové homogenizace inkluzí z důvodu dekrepitace.

Turmalín byl velmi bohatý na třífázové inkluze všech genetických typů. Primární a pseudosekundární $L_{aq}+L_{car}+V$ inkluze zamrzaly při teplotách -93 až -102 °C. Pevný CO₂ tál v rozmezí od -57,1 do -61,7 °C a tání klatrátu proběhlo v rozmezí 6,8-10,3 °C (obr. 17). Parciální homogenizace nevodné fáze probíhala na plyn v rozsahu od 16,7 do 29,0 °C. Celková „dew-point“ homogenizace probíhala za teplot 302-399 °C. Sekundární inkluze měly opět nízké teploty tání CO₂, klatrát tál v rozsahu 8,1-10,6 °C. Parciální homogenizace nevodné fáze probíhala na kapalinu a celková homogenizace typu „dew-point“ byla zachycena za teplot 302-320 °C (obr. 18).

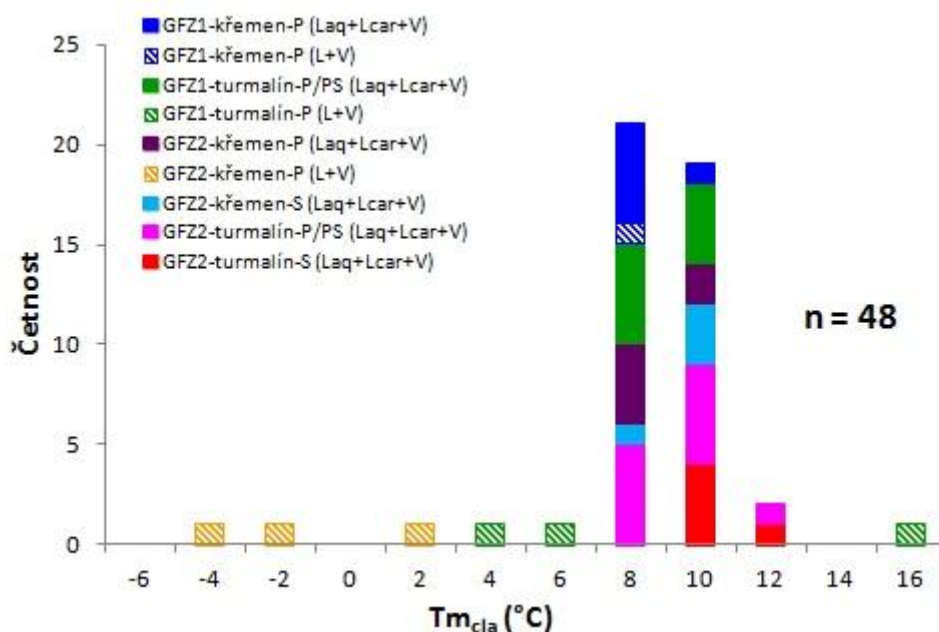
Sporadicky se u obou minerálů vyskytovaly i vodné dvoufázové L+V inkluze, v nichž byla při kryometrii zjištěna příměs plynů, dále označované jako typ **H₂O-plyny-soli**. Jejich mikrotermometrické parametry jsou shrnuty v tabulce 5.

Tab 5. Výsledky mikrotermometrických měření pro inkluze typu H_2O -plyny-soli

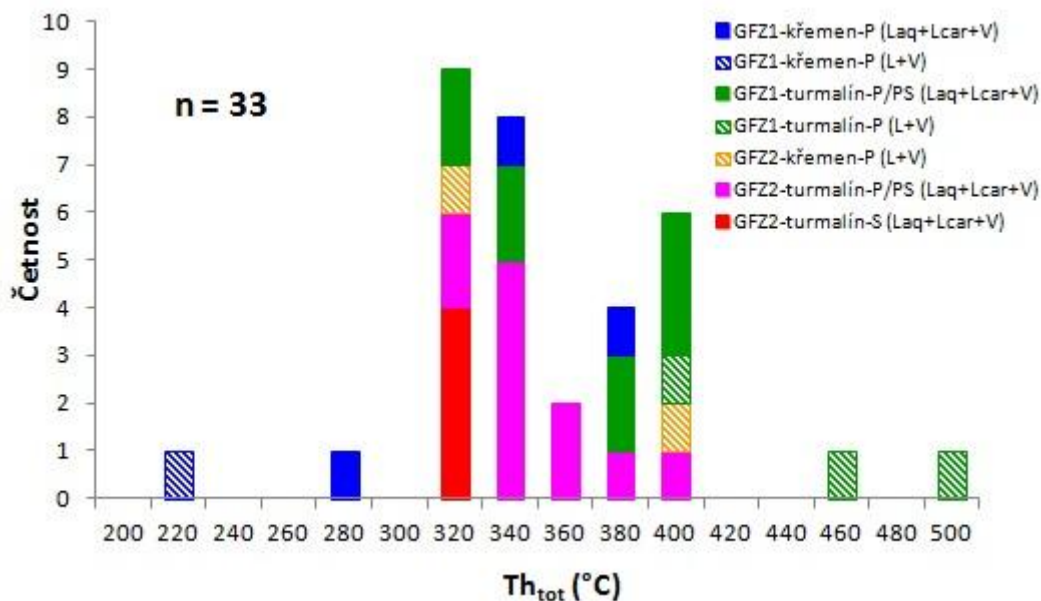
Vzorek	GFZ1		GFZ2
Minerál	křemen	turmalín	křemen
Geneze	P	P	P
Fáz. složení	L+V	L+V	L+V
Tf (°C)	-38	-41 až -55	-40
Te (°C)	-	-37	-
Tm _{ice} (°C)	-2,5	-2,7 až -9,5	-2,3 a -1,3
Tm _{cla} (°C)	6,8	3,4 až 14,3	-4,4
Th(V) (°C)	-	385-485 (n=3)	380
Th(L) (°C)	212	-	320

V křemeni byly zjištěny tři primární dvoufázové inkluze, v nichž při kryometrii vznikl klatrát, který tál za teplot -4,4 až 6,8 °C (obr. 17). Homogenizace na kapalinu byla zachycena u dvou inkluzí za teplot 212 a 320 °C a u jediné inkluze byla zjištěna homogenizace na plyn při teplotě 380 °C (tab. 5).

V turmalínu byly naměřeny také tři primární L+V inkluze, kde byla zachycena i teplota tání posledního ledu (-9,5 až -2,7 °C) a klatrát tál při teplotách 3,4 až 14,3 °C. Homogenizace na plyn probíhala za teplot 385 až 485 °C (obr. 18).



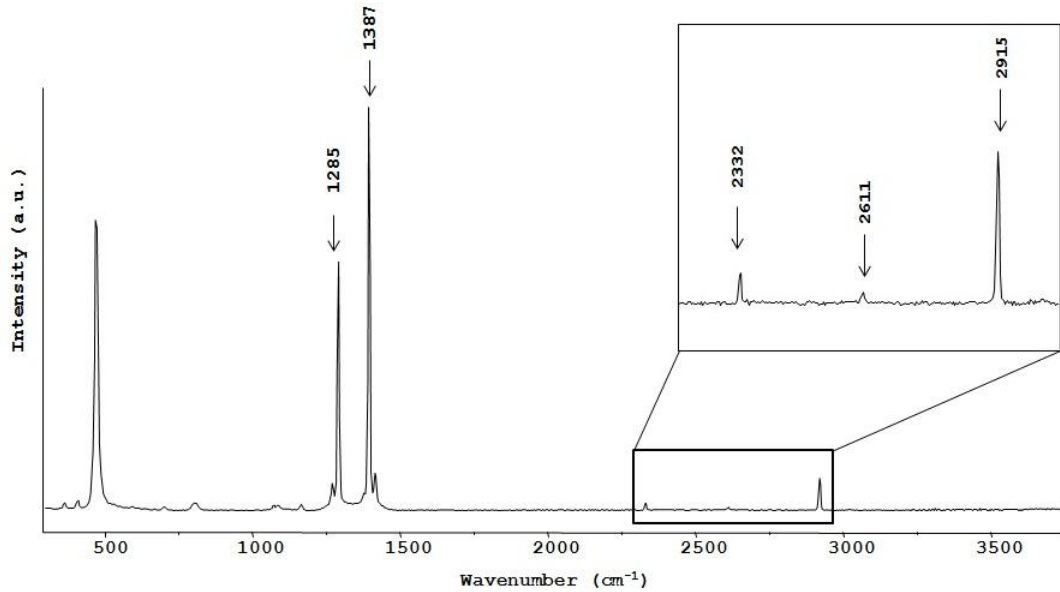
Obr. 17 Histogram teploty tání klatrátu pro inkluze typu H_2O - CO_2 -soli a H_2O -plyny-soli



Obr. 18 Histogram celkových homogenizací pro inkluze typu H_2O-CO_2 -soli a H_2O -plyny-soli

4.2.3. Ramanova spektroskopie

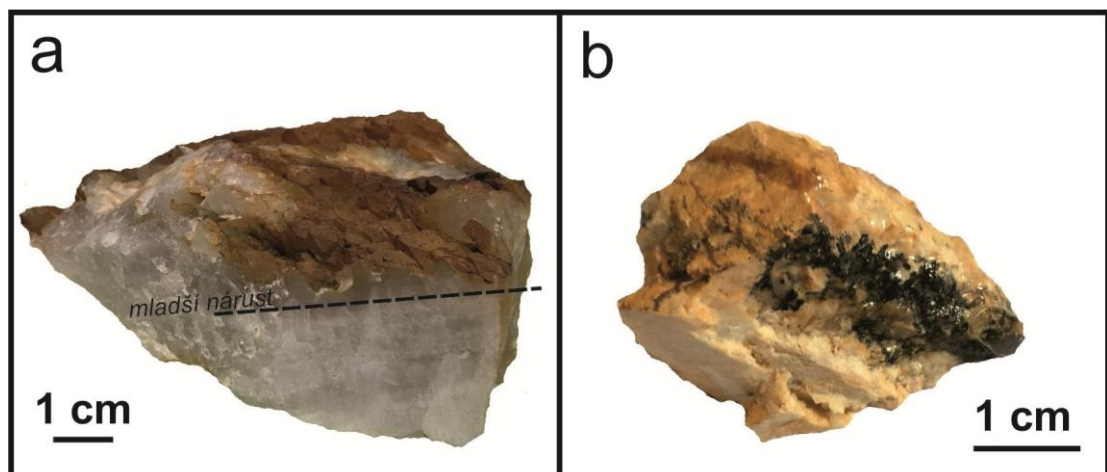
Z grafické zóny byla pro Ramanovskou analýzu (obr. 19) vybrána primární trojfázová inkluze z křemene (vzorek GFZ1), kde teplota tání pevného CO_2 byla $-57,2\text{ }^\circ C$, teplota tání ledu byla $-2,7\text{ }^\circ C$, kladrát tál při teplotě $7,9\text{ }^\circ C$, parciální homogenizace nevodné fáze probíhala na plyn za teploty $28,6\text{ }^\circ C$ celková homogenizace „dew-point“ byla zachycena při teplotě $325\text{ }^\circ C$. V nevodné fázi byla zjištěna přítomnost oxidu uhličitého (1285 cm^{-1} a 1387 cm^{-1}), dusíku (2332 cm^{-1}), sirovodíku (2611 cm^{-1}) a metanu (2915 cm^{-1}). Zastoupení jednotlivých plynů bylo vypočteno z ploch píků. Výrazně převažoval CO_2 ($97,7\text{ mol. }%$) nad N_2 ($1,2\text{ mol. }%$) a CH_4 ($1,0\text{ mol. }%$) a jen v nepatrném množství byl zjištěn i H_2S ($0,1\text{ mol. }%$).



Obr. 19 Ramanovo spektrum pro nevodnou fázi trojfázové primární ($L_{aq}+L_{car}+V$) inkluze v křemeni ze vzorku GFZI

4.3. Bloková zóna

Z hrubozrnné blokové jednotky byly vybrány dva vzorky. Jedná se o blokový dvougenerační křemen (vzorek BLK 1) a blokový K-živec s žilkou turmalín+křemen (vzorek BLK 2). Blokový křemen je mléčně zakalený, ale v mladší zóně jsou krystaly průhledné až lehce našedlé (obr. 20a). Blokový K-živec má narůžovělé zbarvení. Žilka je tvořena našedlým křemenem o velikosti zrn do 5 mm a drobnými jehličkami černého lesklého turmalínu do 3 mm (obr. 20b).



Obr. 20 a) blokový křemen s mladším nárůstem (vzorek BLK 1), b) blokový K-živec s žilkou turmalín+křemen (vzorek BLK 2)

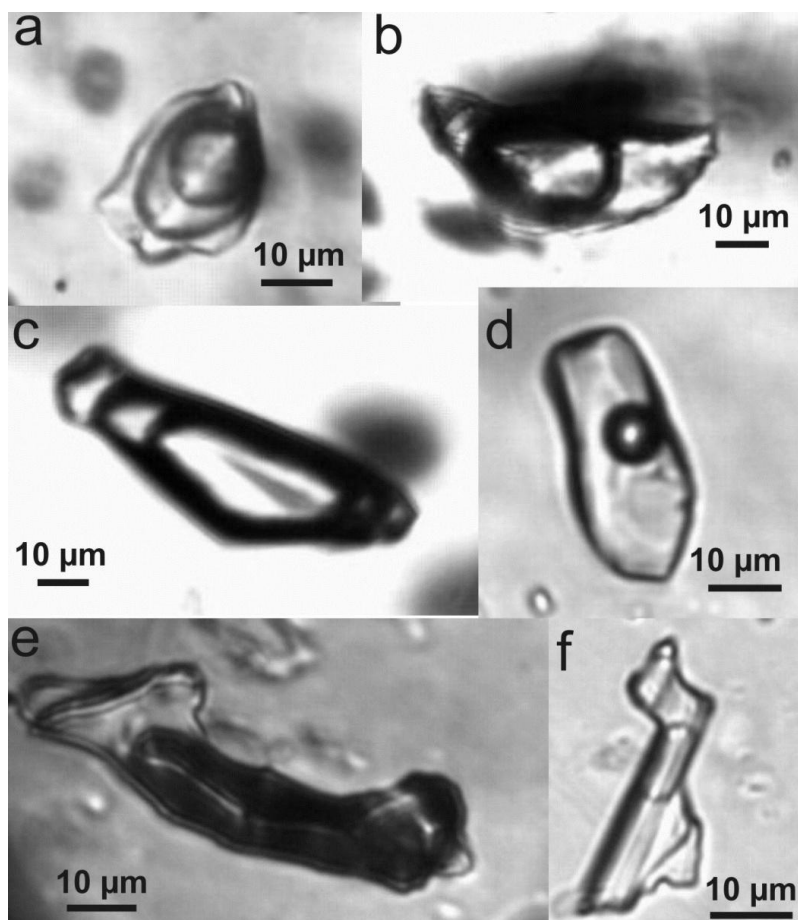
4.3.1. Petrografie inkluzí

Ve vzorku BLK1 byly fluidní inkluze měřeny v blokovém křemeni a v jeho mladším nárůstu. Z druhého vzorku BLK2 byly FI zkoumány v křemeni i turmalínu ze žilky.

Křemen s mladším nárůstem (BLK1) byl na fluidní inkluze velmi bohatý. V obou generacích křemene se vyskytovalo nejvíce sekundárních inkluzí o velikosti do 50 μm . V mladším nárůstu se jednalo pouze o dvoufázové vodné L+V inkluze nepravidelného a měňavkovitého tvaru s četnými výběžky a s obsahem plynné fáze 5-30 obj. %. Tyto inkluze byly distribuovány v menších skupinkách při puklinách. U starší generace křemene se vyskytovaly nepravidelné dvoufázové vodné (L+V) s menším obsahem plynné fáze od 5 do 10 obj. % a taktéž i trojfázové ($L_{\text{aq}}+L_{\text{car}}+V$) nepravidelné inkluze s obsahem nevodné fáze 30-50 obj. %. Dvoufázové FI tvořily spíše menší skupinky, ale trojfázové FI vytvářely zejména trailly napříč celými zrny. U obou generací se zřídka nacházejí také primární a pseudosekundární inkluze, které dosahují velikosti až 75 μm . Vyskytují se opět jako dvoufázové vodné L+V inkluze s plynnou složkou zaujímající 30 až 50 obj. % a i jako trojfázové $L_{\text{aq}}+L_{\text{car}}+V$ s obsahem nevodné fáze 50 obj. % (obr. 21a,b,c). Tyto inkluze měly pravidelný, okrouhlý a negativní tvar. Inkluze s odlišným složením se nacházely ve vzorcích společně a vyskytovaly se převážně soliterně při okraji zrna, nebo byly náhodně rozmístěné po celém krystalu. Ve vzorku BLK2 se v křemeni vyskytovaly pouze vodné (L+V) inkluze. Primární a pseudosekundární L+V inkluze se vyskytovaly zřídka a dosahovaly velikosti maximálně do 35 μm . Plynná fáze zaujímala 30 až 50 obj. % a tvarově byly spíše okrouhlé až izometrické. Největší zastoupení měly sekundární inkluze s obsahem plynné fáze 5 až 30 obj. % (obr. 21d). Jejich vývin byl oválný až nepravidelný a dosahovaly velikosti okolo 20 μm . Tyto inkluze často vytvářely shluky ve středu zrn i při trhlinách.

V turmalínu byly inkluze hůře měřitelné, proto zde byly poměřeny pouze dvě primární dvoufázové vodné (L+V) inkluze s plynnou složkou o objemu 50 %. Jejich velikost byla přibližně 30 μm a byly okrouhlého tvaru. O něco větší zastoupení měly primární trojfázové ($L_{\text{aq}}+L_{\text{car}}+V$) inkluze protaženého, okrouhlého i nepravidelného tvaru o velikosti až 60 μm . Nevodná fáze zaujímala více než 50 až 80 obj. % (obr. 21e). Inkluze obou typů se vyskytovaly

soliterně uprostřed zrn. Sekundární trojfázové ($L_{aq}+L_{car}+V$) FI byly zploštělé a nepravidelného tvaru o velikosti 15 až 30 μm (obr. 21f). Nevodná fáze zaujímala 30-50 % celkového objemu. Inkluze tvořily skupinku při okraji zrna.



Obr. 21 Příklady fluidních inkluzí v blokové zóně: a) trojfázová P-FI okrouhlého tvaru ze staršího křemene (vzorek BLK1), b) dvoufázová P-FI ze staršího křemene (vzorek BLK1), c) trojfázová PS-FI z mladšího nárůstu křemene (vzorek BLK1), d) dvoufázová S-FI oválného tvaru v křemeni ze žilky (vzorek BLK2), e) trojfázová P-FI nepravidelného tvaru v turmalínu ze žilky (vzorek BLK2), f) trojfázová S-FI nepravidelného tvaru v turmalínu ze žilky (vzorek BLK2)

4.3.2. Mikrotermometrie

Mikrotermometrickým měřením byly u obou vzorků (BLK 1,2) zjištěny vodné systémy bez plynných komponent – inkluze typu H_2O -soli a vodné systémy s obsahem plynů - inkluze typu H_2O - CO_2 -soli a H_2O -plyny-soli.

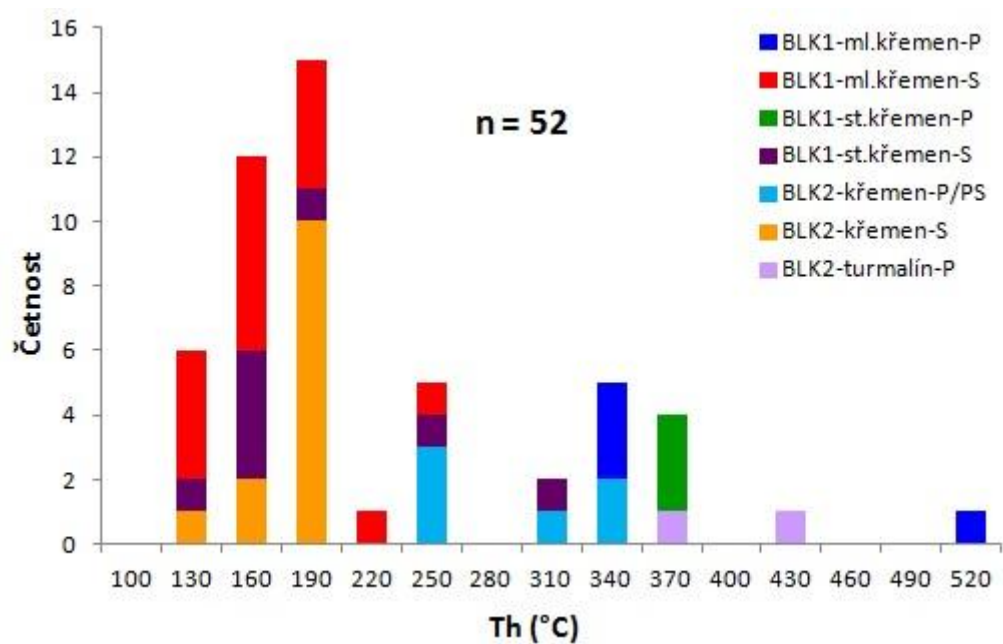
Vodné inkluze typu H₂O-soli měly u obou vzorků největší zastoupení, a to zejména v křemeni. Mikrotermometrické údaje jsou shrnuty v tabulce 6.

Tab 6. *Výsledky mikrotermometrických měření pro inkluze typu H₂O-soli*

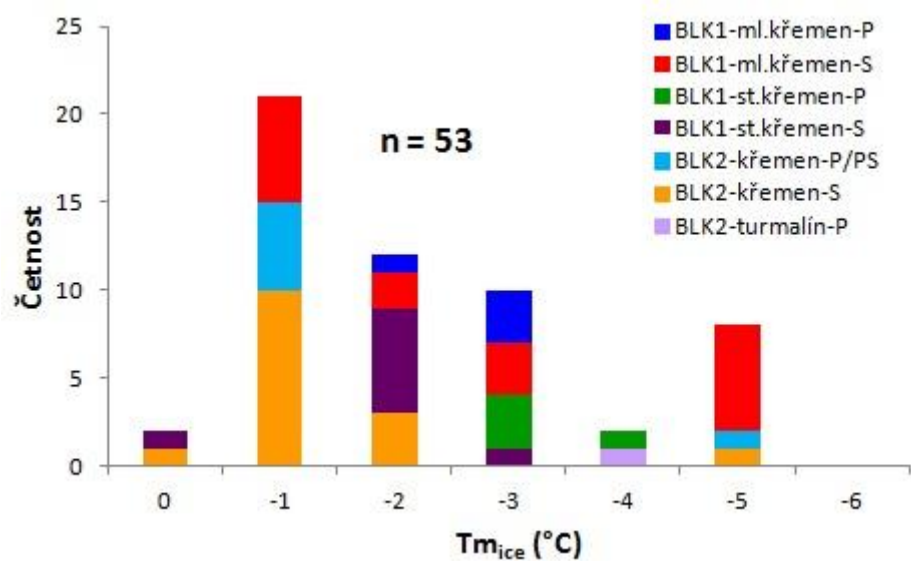
Vzorek	BLK1				BLK2		
	starší křemen		mladší křemen		křemen		turmalín
Geneze	P	S	P	S	P/PS	S	P
Fáz. složení	L+V	L+V	L+V	L+V	L+V	L+V	L+V
Th(L) (°C)	345-349	125-288	322-331	114-230	227-335	104-176	345
Th(V) (°C)	-	-	502 (n=1)	-	-	-	401 (n=1)
Tf (°C)	-29 až -40	-39 až -45	-42	-34 až -50	-30 až -44	-41 až -50	-43 a -45
Te (°C)	-25	-37	-23	-38	nd.	-33 a -38	nd.
Tm _{ice} (°C)	-3,5 až -4,1	-0,5 až -3,1	-2,4 až -3,8	-1,0 až -5,6	-1,2 až -5	-0,8 až -5,2	-4,8
Salinita (hm. % NaCl ekv.)	5,7-7,0	0,9-5,1	4,0-6,2	1,7-8,7	2,1-7,9	1,4-8,1	7,6

Inkluze v křemeni zamrzají v rozsahu od -29 do -50 °C, teplota tání posledního ledu byla -0,5 až -5,6 °C (tab. 6). Primární inkluze ze vzorku BLK1 homogenizují za teplot od 322 do 349 °C na kapalinu. Výjimkou byla jediná inkluze z mladšího nárůstu, která homogenizovala na plyn za teploty 502 °C (obr. 22). U druhého vzorku byly rozlišeny jak primární tak i pseudosekundární FI, v nichž homogenizace probíhala také na kapalinu, ale v širším rozmezí od 227 do 335 °C. Sekundární inkluze se v křemeni vyskytují ze všech genetických typů nejvíce a u vzorku BLK1 homogenizují za teplot 114 až 288 °C. V menším rozsahu teplot pak homogenizují u druhého vzorku BLK2, a to při teplotách 104 až 176 °C. Teplota iniciálního tání byla u obou vzorků hůře pozorovatelná, ale i přesto se podařila u některých inkluzích zachytit v rozmezí -23 až -38 °C.

V turmalínu byly změřeny jen dvě primární inkluze. U první FI probíhala homogenizace na kapalinu (345 °C) a druhá inkluze homogenizovala na plyn (401 °C). Byla zde také zjištěna pouze jedna hodnota teploty tání posledního ledu (-4,8 °C; obr. 23).



Obr. 22 Histogram teploty homogenizace vodných inkluzí typu H_2O -soli



Obr. 23 Histogram teploty tání posledního ledu vodných inkluzí typu H_2O -soli

Inkluze typu H_2O - CO_2 -soli zjištěny u vzorku BLK1 a pouze v turmalínu u vzorku BLK2. Ve vzorku BLK1 u staršího křemene byla zjištěna jediná inkluze typu **H_2O -plyny-soli**. Přehled mikrotermometrických měření je uveden v tabulce 7.

Tab 7. Výsledky mikrotermometrických měření pro inkluze typu H₂O-CO₂-soli a H₂O-plyny-soli

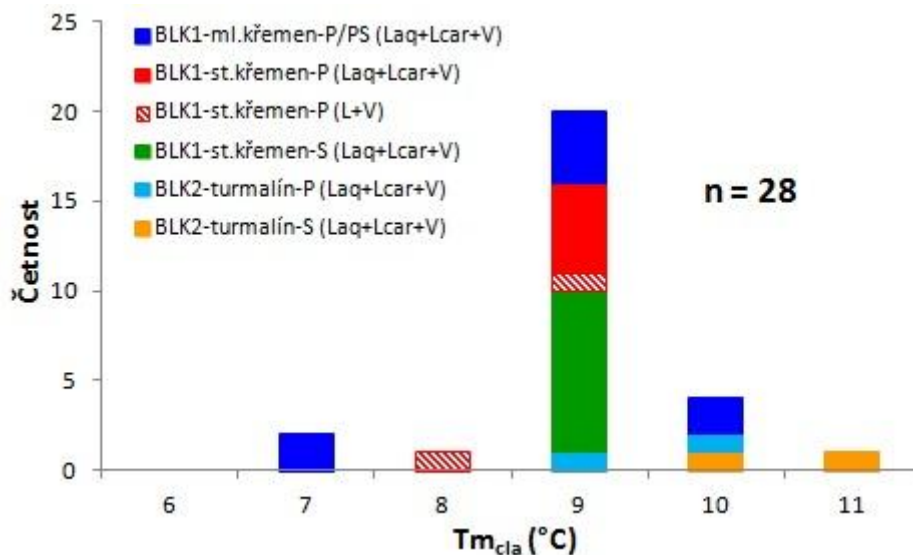
Vzorek	BLK1				BLK2	
Minerál	starší křemen			mladší křemen	turmalín	
Geneze	P	P	S	P/PS	P	S
Fáz. složení	L _{aq} +L _{car} +V	L+V	L _{aq} +L _{car} +V	L _{aq} +L _{car} +V	L _{aq} +L _{car} +V	L _{aq} +L _{car} +V
Tf (°C)	-91 až -97	-40	-91 až -95	-91 až -96	-98 až -100	-97 až -102
TmCO ₂ (°C)	-57,3 až -57,7	-	-57,3 až -58,1	-57,1 až -58,3	-58,6 až -60,7	-57,5 až -58,6
Tm _{ice} (°C)	-4,2 až -2,4	-3,9	-3,9	-2,3	-5,1	nd.
Tm _{cla} (°C)	8,2-8,7	7,9 a 8,5	8,1-8,9	6,7-9,1	8,8-9,5	9,1-10,1
Th(V) _{car} (°C)	27,8 až 29,2	-	-	26,3 až 27,1	12,8	-
Th(L) _{car} (°C)	-	-	28,0 až 29,2	27,8	22,8	22,9 až 24,3
Th _{tot} (dph) °C	311-373	369	232-285	305-343	341-369	268-279
Th _{tot} (bph) °C	-	-	-	374	-	-

Vysvětlivky: (dph) - „dew-point“ homogenizace, (bph) – „bubble-point“ homogenizace

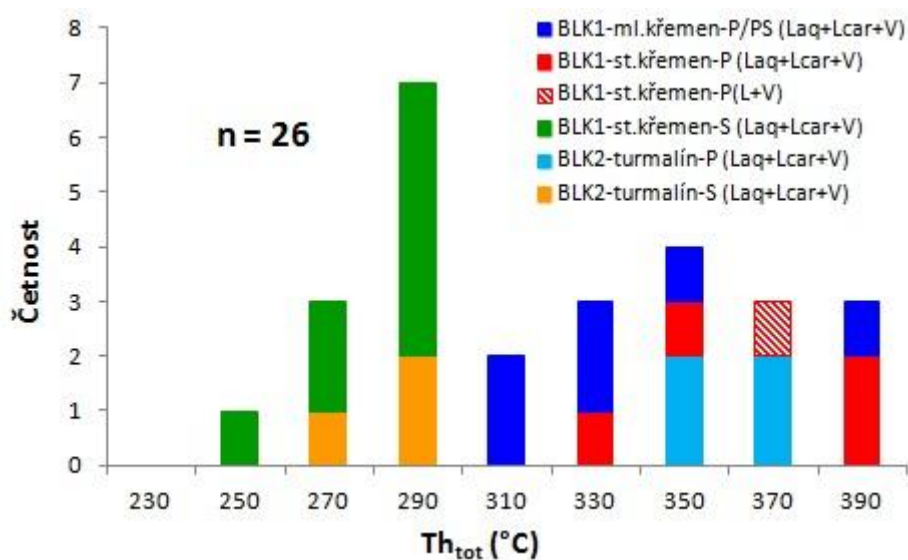
V křemeni (BLK1) se trojfázové inkluze vyskytují nejčastěji. V obou generacích křemene se vyskytují primární a pseudosekundární třífázové inkluze, v nichž CO₂ tál při -57,1 až -58,3 °C. Tání klatrátu probíhalo při 6,7 až 9,1 °C (obr. 24), parciální homogenizace nevodné fáze probíhala na plyn (26,3 až 29,2 °C) a pouze u jedné inkluze z mladšího nárůstu na kapalinu za teploty 27,8 °C. Celková homogenizace „dew-point“ probíhala za teplot (305-343 °C) a opět jedna inkluze z mladšího křemene homogenizovala způsobem „bubble-point“ za teploty 374 °C (obr. 25). U starší generace křemene se vyskytovaly i dvě vodné dvoufázové (L+V) inkluze, v nichž při kryometrii vznikl klatrát, který tál za teplot 7,9 a 8,5 °C. Homogenizaci se podařilo zachytit pouze jedné z nich, a to na plyn při teplotě 369 °C. Sekundární trojfázové inkluze byly zjištěny pouze u starší generace křemene, které měly obdobné hodnoty teplot tání CO₂ a tání klatrátu jako předešlé typy. Tyto inkluze byly však odlišné v parciální homogenizaci nevodné fáze, která probíhala výhradně na kapalinu při 28,0 až 29,2 °C. Celková homogenizace „dew-point“ probíhala za teplot 232 až 285 °C.

Turmalín obsahoval primární a sekundární trojfázové inkluze, kde CO₂ tál při teplotách -57,5 až -60,7 °C a klatrát tál při 8,8 až 10,1 °C. U primárních inkluzí se podařilo zachytit jen dvě parciální homogenizace nevodné fáze, která probíhala jak na plyn (12,8 °C) tak i na kapalinu (22,8 °C). Celková homogenizace „dew-point“ byla v úzkém rozsahu od 341 do 369 °C. U sekundárních inkluzí probíhala parciální homogenizace nevodné fáze vždy na kapalinu za teplot

22,9 až 24,3 °C. Totální homogenizace „dew-point“ probíhala za nižších teplot od 268 až 279 °C (obr. 25).



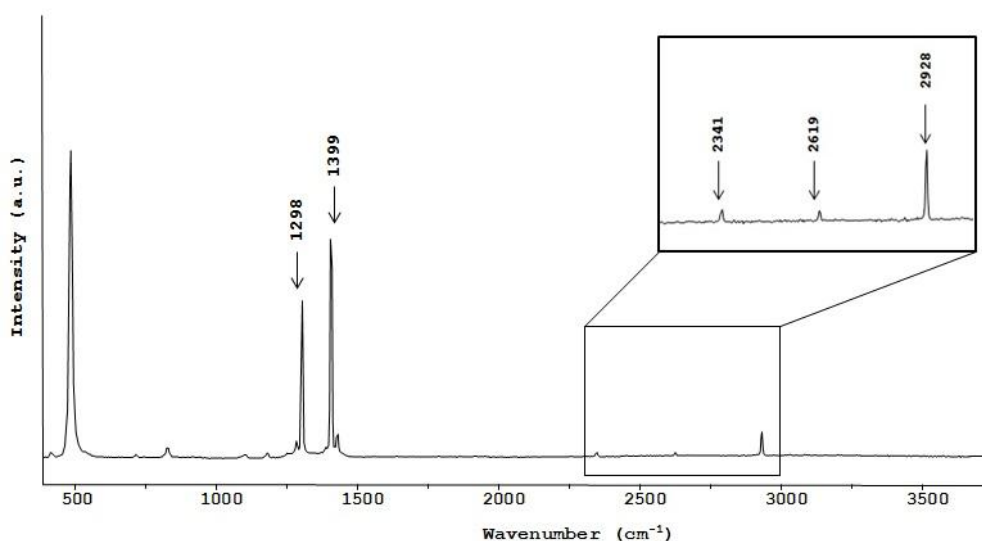
Obr. 24 Histogram teploty tání klatrátu inkluzí typu H_2O-CO_2 -soli a H_2O -plyny-soli



Obr. 25 Histogram teplot celkových homogenizací inkluzí typu H_2O-CO_2 -soli a H_2O -plyny-soli

4.3.3. Ramanova spektroskopie

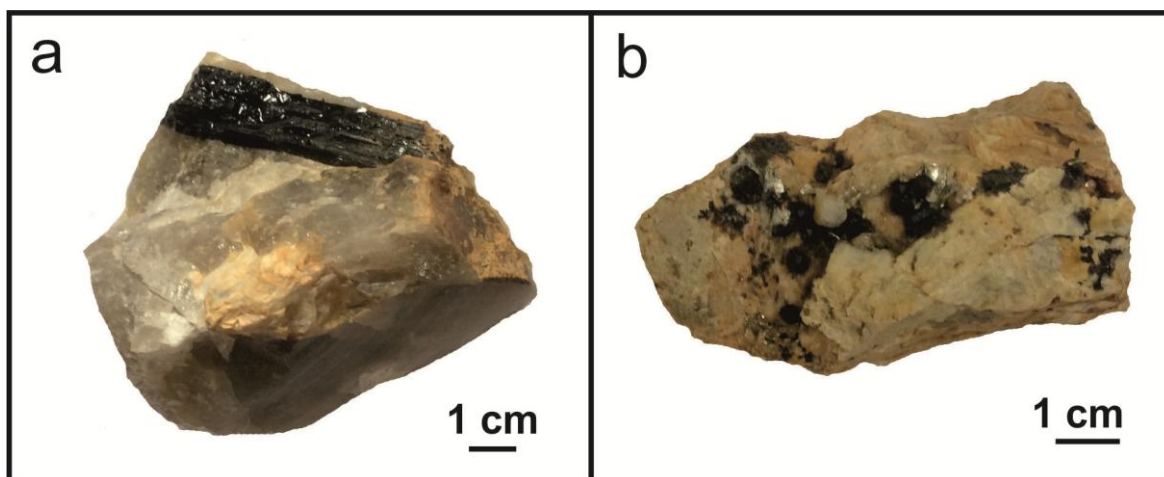
Ramanovské analýze (obr. 26) byla podrobena jedna primární dvoufázová (L+V) inkluze ze vzorku BLK1, která zamrzala při teplotě $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, teplota tání posledního ledu byla $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a jako poslední pevná fáze tál klatrát při teplotě $8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Homogenizace inkluze na plyn byla naměřena při teplotě $369\text{ }^{\circ}\text{C}$. V plynné fázi má největší zastoupení oxid uhličitý (97,3 mol. %), dále je v nepatrném množství přítomen metan (1,3 mol. %), dusík (1,2 mol %) a sirovodík (0,2 mol. %).



Obr. 26 Ramanovské spektrum pro primární plynem bohatou (L+V) inkluzi ze staršího nárůstu křemene ve vzorku BLK1

4.4. Centrální zóna

Z centrální části pegmatitového tělesa byly pro studium fluidních inkluzí vybrány vzorky z křemenného jádra (vzorek KJ) a z dutiny pegmatitu (vzorek DUT). Ve vzorku KJ je křemen našedlé barvy a nachází se v něm i sloupcovitý krystal turmalínu o velikosti 7 cm (obr. 27a). V dutině (DUT) do prostoru vyrůstají dokonale vyvinuté krystaly sytě červeného granátu, tabulkovitého albitu, muskovitu a jehličky turmalínu (obr. 27b).



Obr. 27 a) křemenné jádro s turmalínem (vzorek KJ), b) dutina s krystaly granátu, albitu, muskovitu a turmalínu (vzorek DUT)

4.4.1. Petrografie inkluzí

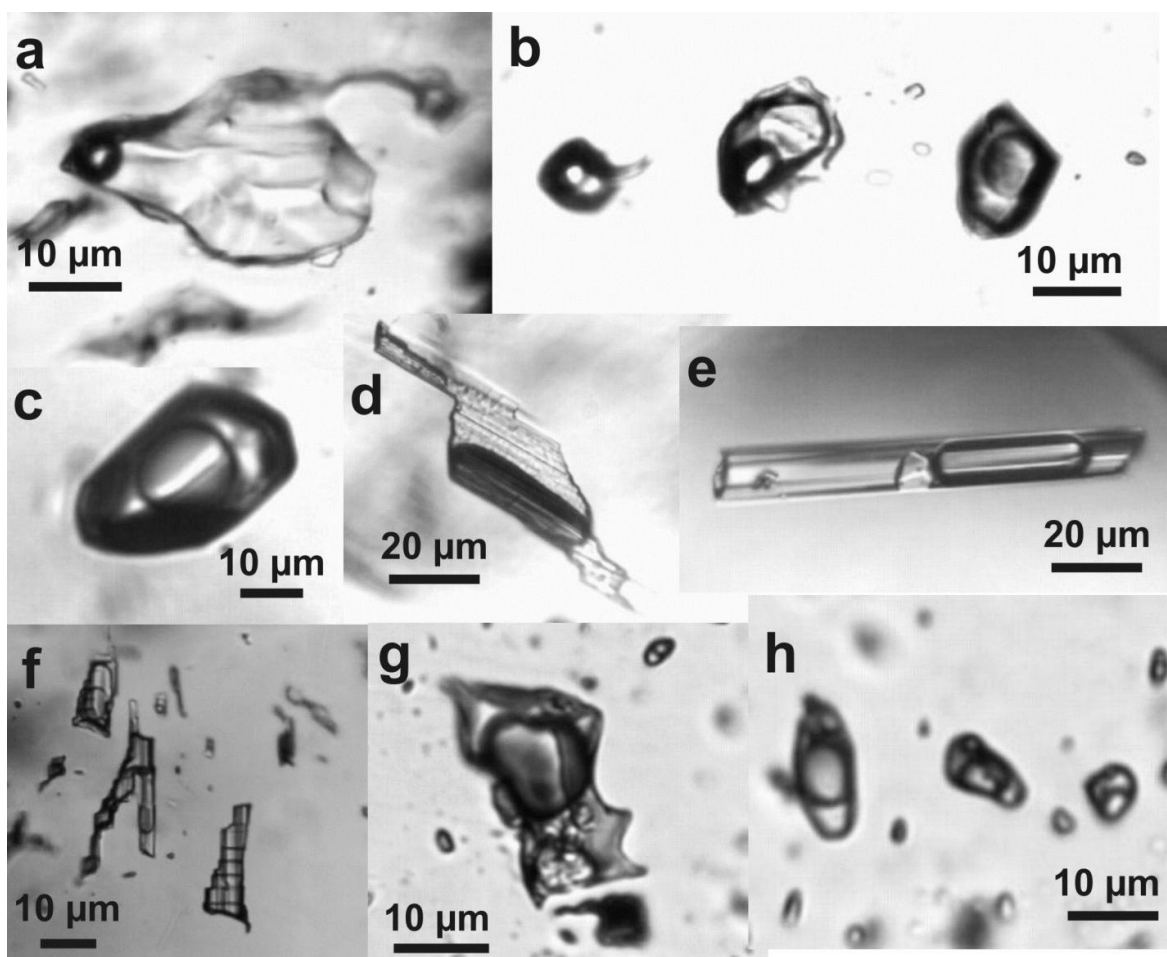
V křemeném jádru s turmalínem (KJ) byly fluidní inkluze studovány v obou minerálech a v dutině (DUT) se fluidní inkluze nacházely v turmalínu a v granátu.

V křemeni převažují sekundární (L+V) inkluze nepravidelného až měňavkovitého tvaru s četnými výběžky, které často vytvářely shluky při trhlinách (obr. 28a). Plynná fáze zaujímala 5 až 30 obj. %. Sporadicky se vyskytovaly i trojfázové ($L_{aq}+L_{car}+V$) inkluze, které měly spíše oválný až okrouhlý tvar a vytvářely řádky napříč celým zrnem (obr. 28b). Nevodná fáze zaujímala 50-60 obj. % inkluze. Tyto inkluze měly velikost maximálně 30 μm , ale u předešlého typu (L+V) dosahovaly až 70 μm . Výskyt primárních a pseudosekundárních inkluzí byl ojedinělý a byly zastoupeny pouze trojfázovými ($L_{aq}+L_{car}+V$; obr. 28c) se stejným obsahem nevodné fáze jako u sekundárních inkluzí. Jejich velikost dosahovala až 75 μm .

Turmalín byl ve vzorku KJ velmi bohatý na primární a pseudosekundární (L+V) inkluze, které se vyskytovaly samostatně při okraji zrn nebo vytvářely menší skupinky protažené ve směru růstových zón v krystalu. Jejich vývin byl protažený, oválný až nepravidelný (obr. 28d). Velikost inkluzí byla nejčastěji od 30 do 80 μm , ale byly pozorovatelné inkluze i větších rozměrů, které dosahovaly až 140 μm . Obsah plynné fáze byl 30 až 50 obj. %. Byla zde zjištěna i jedna primární FI s pevnou fází okrouhlého tvaru, která byla v procházejícím světle anizotropní a zaujímala okolo 10 obj. % inkluze (obr. 28e). Další optické vlastnosti byly obtížně pozorovatelné kvůli velké tloušťce vzorku. Pseudosekundární inkluze byly také trojfázové ($L_{aq}+L_{car}+V$)

s obsahem nevodné fáze 40 až 60 obj. %, u kterých velikost dosahovala až 60 μm a tvar byl dlouze protažený až nepravidelný (obr. 28f). V turmalínu z dutiny se vyskytovaly pouze trojfázové primární a pseudosekundární $L_{\text{aq}}+L_{\text{car}}+V$ inkluze s obsahem nevodné fáze 50 až 70 obj. %.

V granátu se vyskytují pouze primární a pseudosekundární vodné L+V+S inkluze (obr. 28 g, h). Pevné fáze tvoří drobné okrouhlé krystaly, které jsou v procházejícím světle anizotropní. V menších inkluzích se nachází jen jedna pevná fáze drobných rozměrů, ale u větších inkluzích se vyskytují až 4 pevné fáze, které se liší svou velikostí. Pevné fáze v inkluzích zaujímají 5 až 40 obj. %. Inkluze mají variabilní tvar. Jsou nepravidelné, okrouhlé, oválné až kónické. Jejich velikost je od 10 do 50 μm . Obsah plynné fáze je 30 až 60 obj. %. Tyto inkluze se vyskytují samostatně uprostřed nebo při okraji zrn, jen pseudosekundární inkluze vytvářely krátké řádky.



Obr. 28 Příklady fluidních inkluzí z centrální zóny pegmatitu: a) dvoufázová S-FI nepravidelného tvaru v křemeni (vzorek KJ), b) trojfázové S-FI okrouhlého tvaru v křemeni (vzorek KJ), c) trojfázová P-FI tvaru „negativního krystalu“ v křemeni (vzorek KJ), d)

dvoufázová P-FI při roztávání krystalů ledu v turmalínu (vzorek KJ), e) trojfázová P-FI s pevnou fází v turmalínu (vzorek KJ), f) trojfázové PS-FI nepravidelného tvaru v turmalínu (vzorek KJ), g) trojfázová P-FI s pevnými fázemi v granátu (vzorek DUT), h) trojfázové PS-FI s pevnými fázemi v granátu (vzorek DUT).

4.4.2. Mikrotermometrie

Postupným mikrotermometrickým měřením byly u obou vzorků zjištěny vodné systémy bez plynných složek – H₂O-soli a vodné inkluze s plynnými složkami – typ H₂O-CO₂-soli a typ H₂O-plyny-soli.

Inkluze typu H₂O-soli se vyskytovaly v obou minerálech křemenného jádra s turmalínem (vzorek KJ) a u druhého vzorku (DUT) se nacházely pouze v granátech. Výsledky mikrotermometrických měření jsou uvedeny v tabulce 8.

Tab 8. Výsledky mikrotermometrických měření pro vodné inkluze typu H₂O-soli

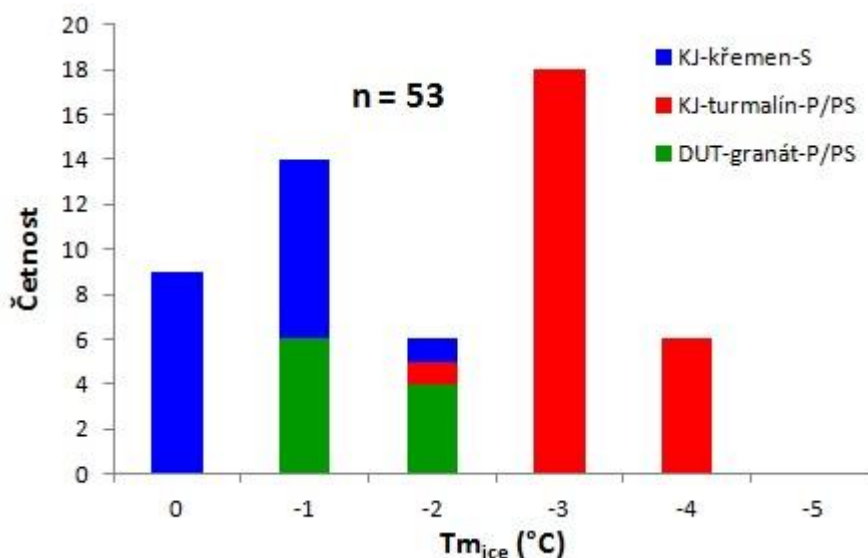
Vzorek	KJ		DUT
Minerál	<i>křemen</i>	<i>turmalín</i>	<i>granát</i>
Geneze	S	P/PS	P/PS
Fáz. složení	L+V	L+V,L+V+S	L+V+S
Th(L) (°C)	120-200	339-379	354-377
Th(V) (°C)	-	-	388 a 392
Tf (°C)	-30 až -44	-35 až -48	-38 až -43
Te (°C)	-20 až -32	-31	nd.
Tm _{ice} (°C)	-0,4 až -2,1	-2,9 až -4,7	-1,3 až -2,5
Salinita (hm. % NaCl ekv.)	0,7-3,5	4,8-7,5	2,2-4,2

V křemenu ze vzorku KJ byly zjištěny pouze sekundární vodné L+V inkluze, které zamrzaly od -30 do -44 °C a jako poslední fáze v nich tál led za teplot od -0,4 do -2,1 °C (obr. 29). Homogenizace probíhala na kapalinu v rozmezí 120-200 °C (obr. 30). Podařila se zachytit i teplota iniciálního tání od v intervalu -20 do -32 °C.

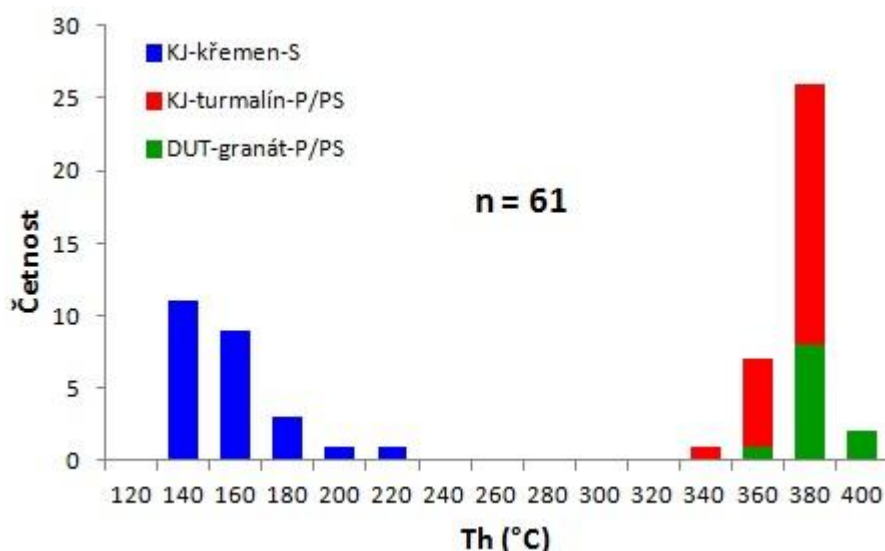
Primární a pseudosekundární dvoufázové FI z turmalínu zamrzaly v rozsahu od -35 do -48 °C a teploty tání posledního ledu byly od -2,9 do -4,7 °C (obr. 29). Tyto inkluze

homogenizují za teplot 339-379 °C na kapalinu a teploty iniciálního jsou velmi podobné sekundárním inkluzím z křemene (obr. 30). Vyskytla se zde také jedna L+V+S inkluze, která zamrzala při -36 °C a jako poslední fáze tál led při -3,4 °C. Na změnu teplot pevná fáze nereagovala a plynná bublina zhomogenizovala při 339 °C. Teploty iniciálního tání v turmalínu byly v rozmezí od -19 do -31 °C.

V granátu byly zjištěny pouze primární a pseudosekundární vodné L+V+S inkluze, které zamrzaly od -38 do -43 °C. Teploty tání posledního ledu jsou v úzkém intervalu od -1,3 do -2,5 °C (obr. 29). Pevná fáze na zahřívání nereagovala a homogenizace fluidní fáze v inkluzích probíhala nejčastěji na kapalinu v rozmezí teplot 354-377 °C, u dvou inkluzí probíhala homogenizace na plyn za teplot 388 a 392 °C (obr. 30). Teplotu iniciálního tání se nepodařilo změřit ani u jedné inkluze.



Obr. 29 Histogram teplot tání ledu pro vodné inkluze typu H_2O -soli



Obr. 30 Histogram homogenizačních teplot pro vodné inkluze typu H_2O -soli

Inkluze typu H_2O - CO_2 -soli byly zjištěny v obou minerálech z prvního vzorku (KJ) a pouze v turmalínech ze vzorku druhého (DUT). V turmalínu z křemenného jádra se vyskytovala jedna **inkluze typu H_2O -plyny-soli**. Výsledky mikrotermometrických měření inkluzí jsou uvedeny v tabulce 9.

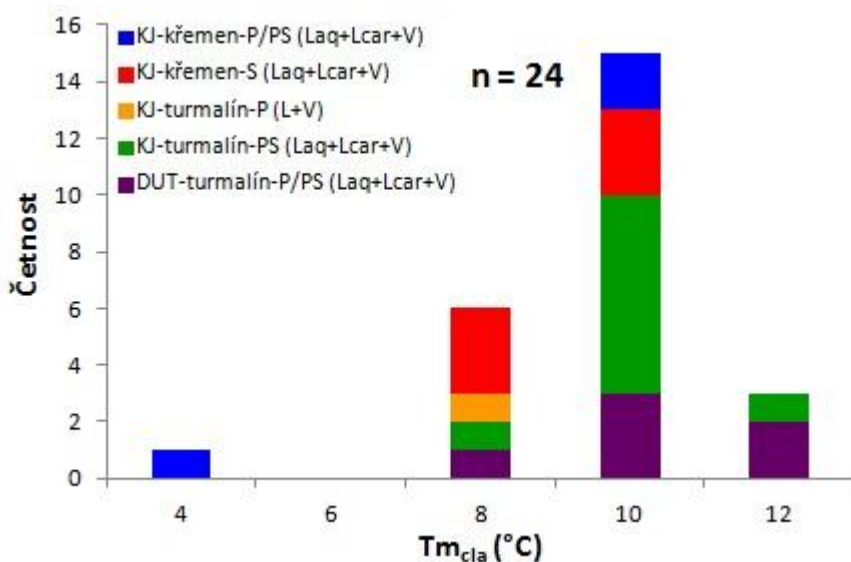
Tab 9. Výsledky mikrotermometrie pro inkluze typu H_2O - CO_2 -soli a H_2O -plyny-soli

Vzorek	KJ				DUT
	křemen		turmalín		
Výskyt					
Geneze	P/PS	S	PS	P	P/PS
Fáz. složení	$L_{aq}+L_{car}+V$	$L_{aq}+L_{car}+V$	$L_{aq}+L_{car}+V$	$L+V$	$L_{aq}+L_{car}+V$
Tf (°C)	-93 až -96	-90 až -94	-91 až -96	-43	-98 až -104
Tm CO_2 (°C)	-58,1 až -57,7	-58 až -57,1	-57,8 až -57,0	-	-58,7 až -61,7
Tm $_{ice}$ (°C)	-2,9	-3,2	-	-3,1	-3,9
Tm $_{cla}$ (°C)	3,2-9,2	7,7-8,7	8,9-10,2	7,9	7,8-10,7
Th(V) $_{car}$ (°C)	-	-	-	-	11,7-23,1
Th(L) $_{car}$ (°C)	27,1 až 28,7	27,4 až 28,6	29,2 až 29,8	-	-
Th(C) $_{car}$ (°C)	28,9 a 29,2	-	29,9	-	-
Thtot(dph) °C	277-318	257-285	289-309	-	305-339
Thtot(bph) °C	-	-	-	354	-

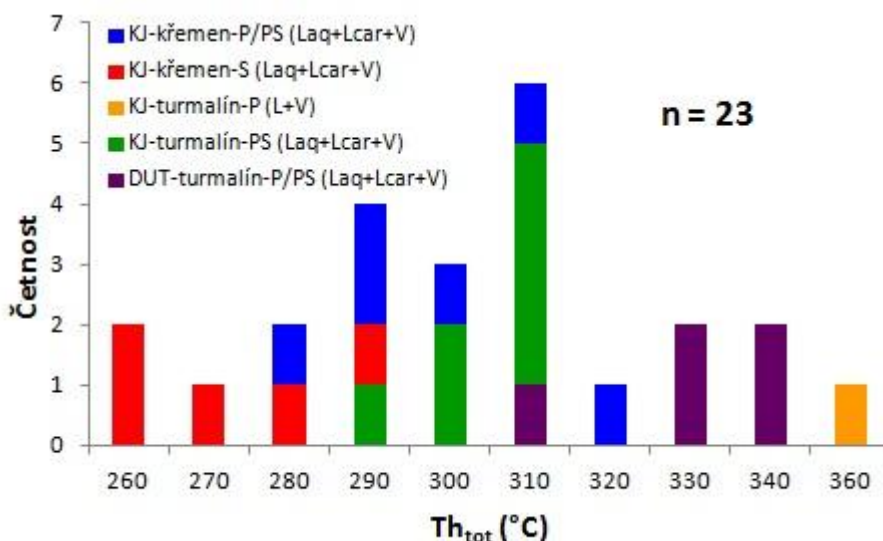
Vysvětlivky: (dph) - „dew-point“ homogenizace, (bph) – „bubble-point“ homogenizace

V křemenu se vyskytují trojfázové ($L_{aq}+L_{car}+V$) inkluze všech genetických typů, které zamrzají od -90 do -96 °C a podařilo se v nich zachytit pouze dvě teploty tání ledu ($-2,9$ a $-3,2$ °C). Primární a pseudosekundární inkluze vykazovaly nízké teploty tání CO_2 od $-58,1$ až $-57,7$ °C. Jako poslední fáze tál klatrát v rozmezí $3,2$ až $9,2$ °C (obr. 31). Podařilo se zachytit i parciální homogenizaci nevodné fáze, která většinou probíhala na kapalinu ($27,1$ až $28,7$ °C) a pouze u dvou inkluzí probíhala kritickým způsobem za teplot $28,9$ a $29,2$ °C (tab. 8). Celková „dew-point“ homogenizace inkluzí probíhala za teplot $277-318$ °C. Sekundární inkluze se lišily užším rozsahem teplot tání klatrátu od $7,7$ do $8,7$ °C a zde probíhala parciální homogenizace pouze na kapalinu od $27,4$ do $28,6$ °C. Celkové homogenizace probíhaly v nižších hodnotách od 257 do 285 °C (obr. 32).

Turmalín v křemenném jádru (KJ) obsahoval převážně pseudosekundární trojfázové FI a jen jednu dvoufázovou FI, ve které při kryometrii vznikl klatrát. Teplota tání CO_2 byla od $-57,8$ do $-57,0$ °C a byla zde zachycena i jedna teplota tání ledu ($-3,1$ °C). Jako poslední fáze tál klatrát v intervalu od $7,9$ do $10,2$ °C. Parciální homogenizace nevodné fáze byla zachycena téměř u všech inkluzí na kapalinu ($29,2$ až $29,8$ °C) a jen u jedné probíhala kritickým způsobem za teploty $29,9$ °C. Celková homogenizace pak probíhala u trojfázových inkluzí výhradně způsobem „dew-point“ ($289-309$ °C) a jen u dvoufázové inkluze na kapalinu při teplotě 354 °C (tab. 8). U druhého vzorku turmalínu z dutiny (DUT) se vyskytovaly primární a pseudosekundární trojfázové inkluze, které zamrzaly od -98 až -104 °C. Byly zde naměřeny i nižší teploty tání CO_2 od $-58,7$ do $-61,7$ °C. Teploty tání klatrátu byly obdobné jako u předešlého vzorku, ale odlišná zde byla parciální homogenizace nevodné fáze, která probíhala pouze na plyn ($11,7$ až $23,1$ °C). Celková homogenizace „dew-point“ byla zachycena za teplot $305-339$ °C (obr. 32).



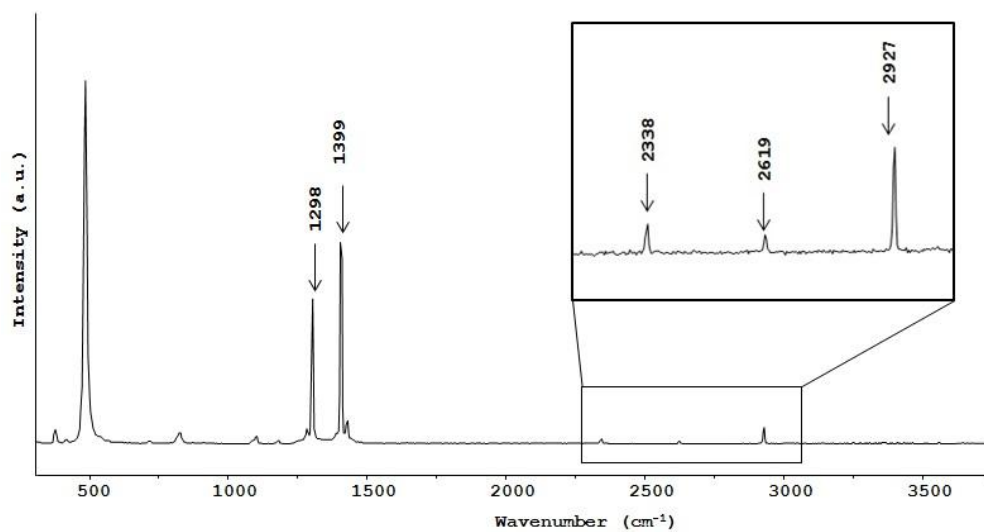
Obr. 31 Histogram teplot tání klatrátu pro inkluze H_2O-CO_2 -soli a H_2O -plyny-soli



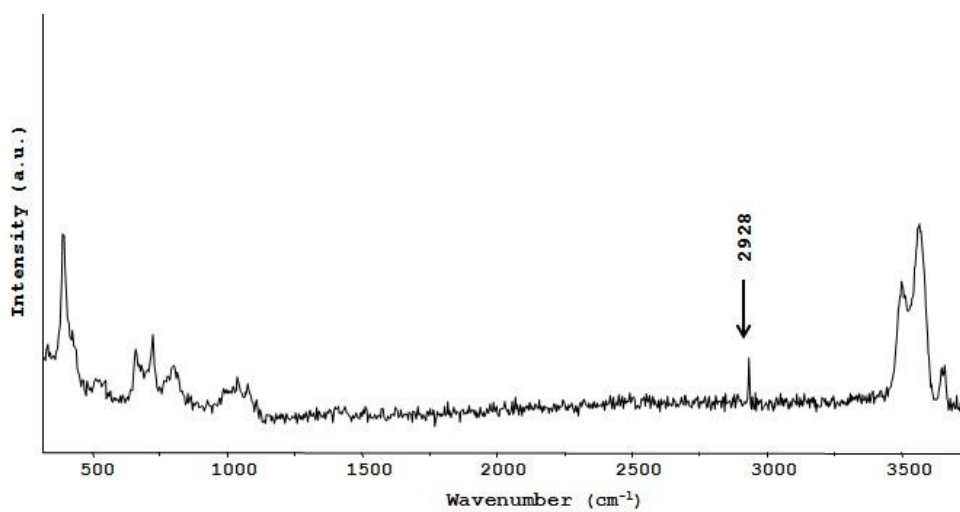
Obr. 32 Histogram teplot celkových homogenizací pro inkluze H_2O-CO_2 -soli a H_2O -plyny-soli

4.4.3. Ramanova spektroskopie

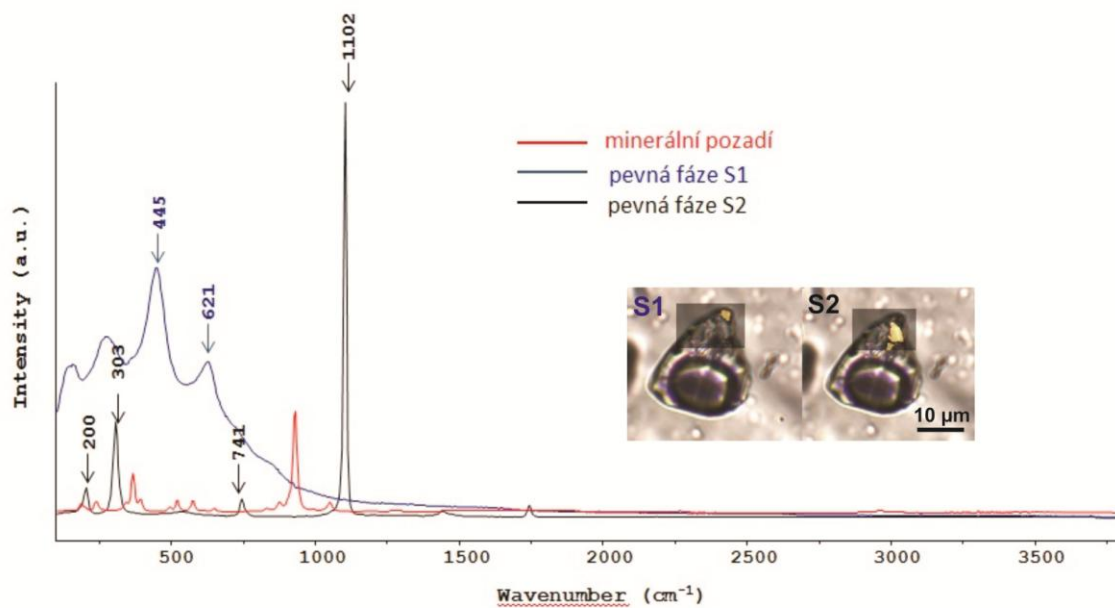
Z centrální části pegmatitu byly pro Ramanovu spektroskopii vybrány dvě plynem bohaté inkluze ze vzorku KJ, a to jedna z křemene a druhá z turmalínu. V křemenu byla měřena jedna trojfázová inkluze, která vykazovala následující mikrotermometrické parametry. Teplota tání pevného CO_2 $-58,0$ °C, teplota tání klatrátu $-9,2$ °C, parciální homogenizace nevodné fáze proběhla na kapalinu za teploty $28,7$ °C a celková homogenizace „dew-point“ byla za teploty 318 °C. Pomocí bodové analýzy byla zjištěna přítomnost oxidu uhličitého (1298 cm^{-1} a 1399 cm^{-1}), dusíku (2338 cm^{-1}), sirovodíku (2619 cm^{-1}) a metanu (2927 cm^{-1}) (obr. 33). Opět výrazně převažoval CO_2 (97,4 mol. %) nad N_2 (1,5 mol. %) a CH_4 (0,9 mol. %) a H_2S (0,2 mol. %). Z turmalínu byla analyzována dvoufázová inkluze, ve které se při mikrotermometrii formoval klatrát. Tato inkluze byla hůře měřitelná kvůli vysoké absorpci turmalínu. Avšak při zvýšení počtu akumulací dat na 100 a prodloužením integračního času na 5s se podařilo detekovat přítomnost metanu (obr. 34). Z druhého vzorku DUT byla Ramanovským mapováním analyzována L+V+S inkluze z granátu, u které se pomocí klastrové analýzy podařilo detekovat dvě pevné fáze S1 a S2 (obr. 35). U první menší fáze jsou dva výrazné píky (445 a 621 cm^{-1}) a u druhé větší pevné fáze S2 jsou výrazné píky o vlnočtu 200, 303, 741 a 1102 cm^{-1} .



Obr. 33 Ramanovo spektrum pro nevodnou fázi P ($L_{aq}+L_{car}+V$) FI v křemení ze vzorku KJ



Obr. 34 Ramanovo spektrum pro plynnou fázi primárně-sekundární L+V inkluze v turmalínu ze vzorku KJ



Obr. 35 Ramanovská spektra pevných fází S1 a S2 z primární fluidní inkluze v granátu; S1- menší pevná fáze kulovitěho tvaru, S2- větší nepravidelná pevná fáze

4.5. Izotopy vodíku

Pro stanovení hodnot δD byly vybrány dva vzorky turmalínu z křemenného jádra a z blokové jednotky. Turmalín z křemenného jádra (KJ) obsahoval 3,52 % vody a měl hodnotu δD -47,2 ‰ SMOW a vzorek turmalínu z blokové jednotky měl 3,46 % vody a hodnotu δD -57,1 ‰ SMOW.

5. DISKUZE

5.1. Chemické složení fluid

Na formování pegmatitu ve Strážku se podílelo více typů fluid. Z naměřených mikrotermometrických dat a pomocí Ramanovy spektroskopie byly v inkluzích ve studovaných zónách pegmatitu zjištěny vodné systémy bez plynných komponent (typ H₂O-soli) a s plynnými složkami (typ H₂O-CO₂-soli a H₂O-plyny-soli).

5.1.1. Inkluze typu H₂O-soli

Ve všech jednotkách pegmatitu měly hojně zastoupení vodné inkluze bez plynných složek, a to zejména v křemeni a v granátu. Naopak v turmalínu se vyskytovaly sporadicky (tab. 10).

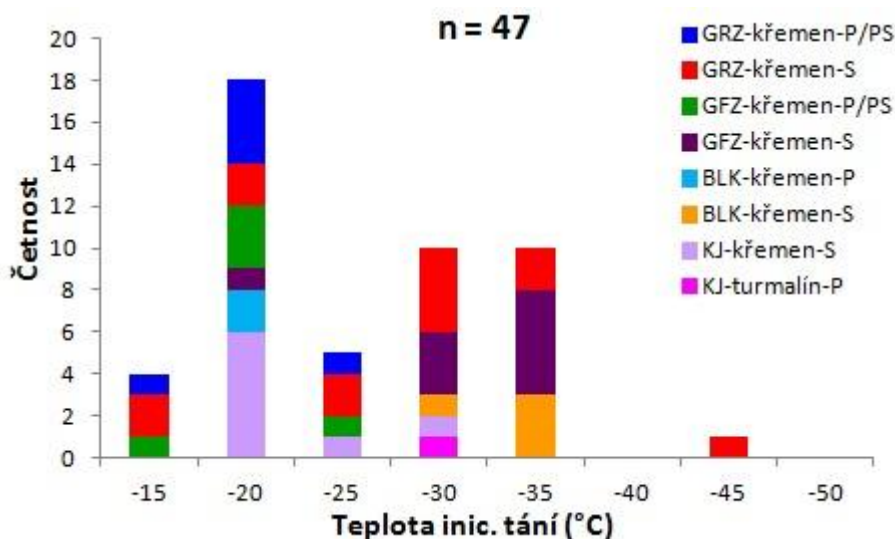
Tab. 10 Srovnání naměřených a vypočítaných charakteristik inkluzí typu H₂O-soli

Vzorek (minerál)	GRZ (Q)		GRZ (T)	GFZ (Q)		GFZ(T)		BLK(Q)		BLK (T)	KJ (T)	KJ (Q)	DUT (G)
	P/PS	S	P/PS	P/PS	S	P	S	P	S	P	P/PS	S	P/PS
Geneze	P/PS	S	P/PS	P/PS	S	P	S	P	S	P	P/PS	S	P/PS
Th (L) (°C)	212-373	100-195	174-361	223-355	94-244	374	160	227-349	104-288	345	339-379	120-200	354-377
Th (V) (°C)	-	-	-	-	-	-	-	502	-	401	-	-	388 a 392
Salinita (hm. % NaCl ekv.)	2,1-17,1	0,9-16,7	3,1-6,2	1,2-7,2	1,1-8,1	6,2	2,9	2,1-7,9	0,9-8,7	7,6	4,8-7,5	0,7-3,5	2,2-4,2
Celkový molární objem (cm³/mol)	21,1-24,2	18,8-20,5	20,0-28,7	21,6-23,7	18,9-21,6	30,1	19,8	21,6-25,7	19,1-21,2	32,4	27,4-29,7	19,0-20,6	30,8-34,9

Vysvětlivky: Q – křemen, T – turmalín, G – granát

V křemeni z granitické, grafické a blokové jednotky mají primární a pseudosekundární inkluze nejčastěji teploty iniciálního tání v rozsahu od -17,8 do -24,6 °C (obr. 36), což poukazuje na solný systém H₂O-NaCl (Borisenko 1977). U dvou inkluzí z granitické a grafické zóny byly hodnoty T_e nižší (-26,2 a -29,8 °C), a proto lze uvažovat o přítomnosti dalších solí (KCl nebo MgCl₂) v roztoku (Borisenko 1977). Sekundární inkluze v křemeni z granitické zóny měly teploty iniciálního tání v širokém rozsahu od -18,8 do -45,7 °C. Tomuto rozsahu odpovídá řada vodných systémů. Lze uvažovat o systému H₂O-NaCl, dále o systému H₂O-NaCl-KCl, pro který stanovil Borisenko (1977) teplotu eutektika rovnou -23 °C. U většiny inkluzí byly naměřeny nižší teploty iniciálního tání (-31,6 až -39,8 °C), které značí přítomnost dalších solí v kombinaci

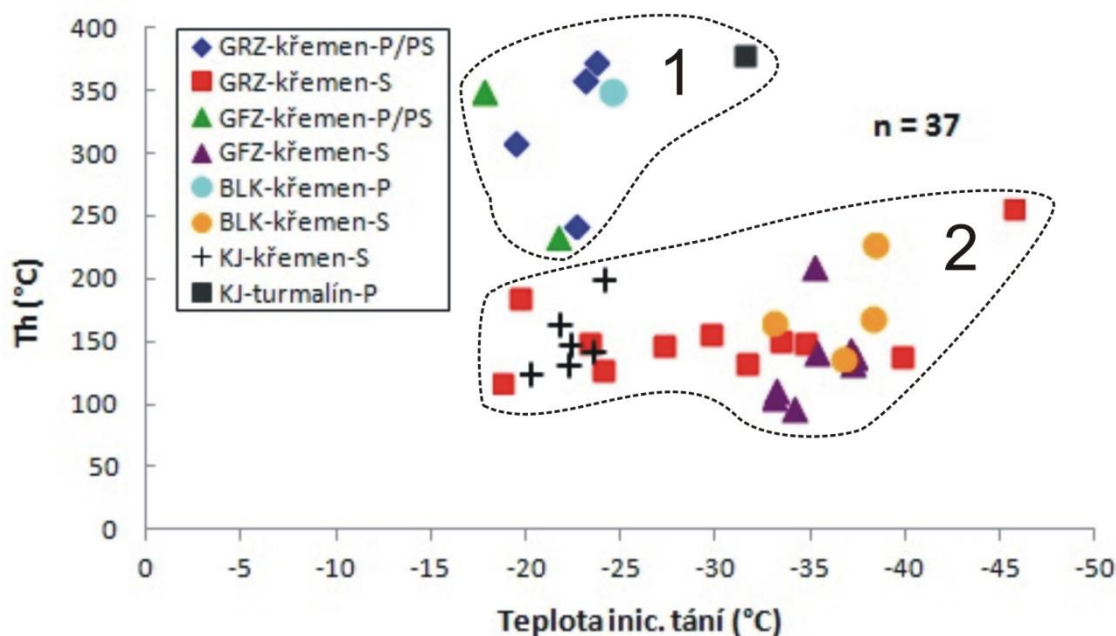
s NaCl. V úvahu připadá systém $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{MgCl}_2$, kde T_e je rovna $-35,0\text{ }^\circ\text{C}$ (Davis et al. 1990) nebo $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{FeCl}_2$, jehož eutektikum je při $-37,0\text{ }^\circ\text{C}$ (Borisenko 1977). Pouze u jediné inkluze byla teplota iniciálního tání $-45,7\text{ }^\circ\text{C}$, což se blíží T_e systému $\text{H}_2\text{O}-\text{CaCl}_2$ (Borisenko 1977). V grafické a blokové zóně jsou si teploty iniciálního tání u sekundárních inkluzí velmi podobné a jsou v rozmezí od $-33,1$ do $-38,4\text{ }^\circ\text{C}$, což opět indikuje systém $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{MgCl}_2$ nebo $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{FeCl}_2$. V křemenu z křemenného jádra byly eutektické teploty u S inkluzí v rozsahu od $-20,3$ do $-32,1\text{ }^\circ\text{C}$, kde lze předpokládat systém $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ popřípadě i přítomnost KCl. V turmalínu se podařilo změřit pouze jednu T_e ($-31,5\text{ }^\circ\text{C}$), která byla zachycena ve vzorku KJ. Ve vzorku z dutiny se u žádného z minerálů nepodařilo zachytit ani jednu teplotu iniciálního tání.



Obr. 36 Histogram teplot iniciálního tání z jednotlivých zón pegmatitu

Teploty iniciálního tání byly vyneseny do grafu proti hodnotám homogenizačních teplot (obr. 37), kde jsou patrné dvě skupiny dat. První menší skupinu tvoří primární a pseudosekundární inkluze z křemene ze vzorku GRZ, GFZ a BLK a pouze jediná primární inkluze z turmalínu ze vzorku KJ. Tato starší fluida mají poměrně široký rozptyl homogenizačních teplot, avšak teploty iniciálního tání jsou si blízké a značí solný systém $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$. Druhá skupina je zastoupena mladšími fluidy ze sekundárních fluidních inkluzí, kde je naopak pozorovatelný menší rozsah homogenizačních teplot a širší rozsah teplot iniciálního tání. Tyto inkluze měly největší zastoupení v křemenu z granitické zóny, které poukazují na

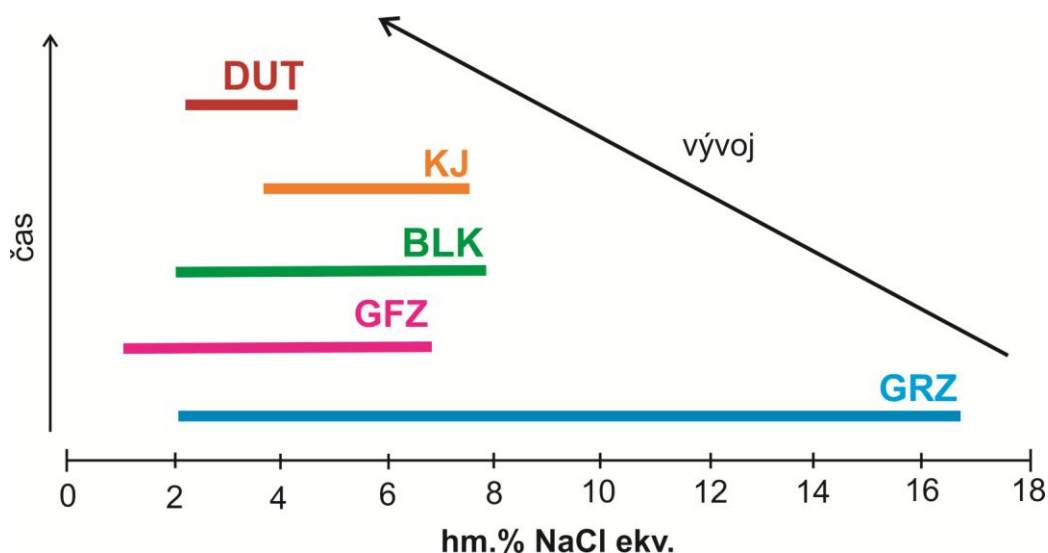
vícesložkové systémy ($\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}\pm\text{KCl}\pm\text{MgCl}_2\pm\text{FeCl}_2$). Mladší inkluze z křemene ze vzorku GFZ a BLK mají nízké teploty iniciálního tání, které opět značí podobné systémy $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}\pm\text{MgCl}_2\pm\text{FeCl}_2$. Naopak mladší fluida z křemenného jádra mají vyšší teploty iniciálního tání spadající převážně do solného systému $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$.



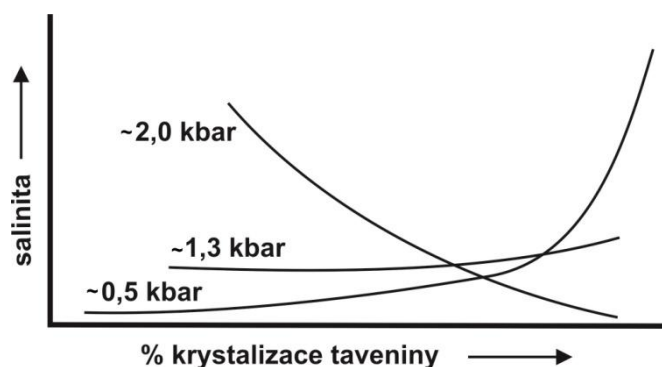
Obr. 37 Graf závislosti teploty iniciálního tání a teploty homogenizace pro inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{soli}$

Na základě teplot tání posledního ledu byla stanovena salinita. Nejširší rozpětí hodnot salinity vykazovaly inkluze všech genetických typů v granitické zóně (vzorek GRZ1), a to 0,9 až 17,1 hm. % NaCl ekv. Naopak inkluze ze vzorku GRZ2 měly rozpětí salinit menší 1,4-8,1 hm. % NaCl ekv. V grafické zóně byla stanovena salinita 1,1 až 8,1 hm. % NaCl ekv. Velmi podobně na tom jsou i inkluze z blokové jednotky, kde salinita odpovídá rozsahu 0,9 až 8,7 hm. % NaCl ekv. Výjimkou bylo křemenné jádro, kde P a PS inkluze v turmalínu vykazovaly průměrně o něco vyšší salinitu (4,8-7,5 hm. % NaCl) a mladší inkluze v křemenu měly hodnoty od 0,7 až 3,5 hm. % NaCl. V granátech z dutiny byla salinita v rozmezí 2,2 až 4,2 hm. % NaCl. Celkově lze hodnotit systémy vyskytující se v pegmatitu ze Strážku jako nízkosalinní až středněsalinní. Z obr. 38 je patrné, že maximální zjištěné hodnoty salinity fluid generelně klesaly během krystalizace, zatímco nejnižší hodnoty salinity zůstávaly víceméně konstantní. Změny salinity mohly být zapříčiněny infiltrací roztoků z okolních metamorfovaných hornin, nebo mícháním magmatické a meteorické vody. Změna salinity může být způsobena i změnami tlaku a pokročilostí krystalizace během tuhnutí magmatu. Při tlaku $\sim 0,5$ kbar je salinita magmatické vody na začátku krystalizace magmatu nízká a salinita oddělující se vodné fáze rapidně roste

během krystalizace. Při zvýšeném tlaku ~1,3 kbar dochází jen k menším změnám, a to směrem k vyšším hodnotám na konci krystalizace. Naopak v hlubších intruzích, kde se tlak pohybuje okolo 2 kbar se nejdříve od taveniny oddělují vysokosalinní fluida a jejich salinita postupně klesá v průběhu krystalizace taveniny (obr. 39; Cline a Bodnar 1991; Fall et al. 2007).



Obr. 38 Vývoj salinity v primárních a pseudosekundárních fluidních inkluzích typu H_2O -soli všech genetických zón pegmatitu

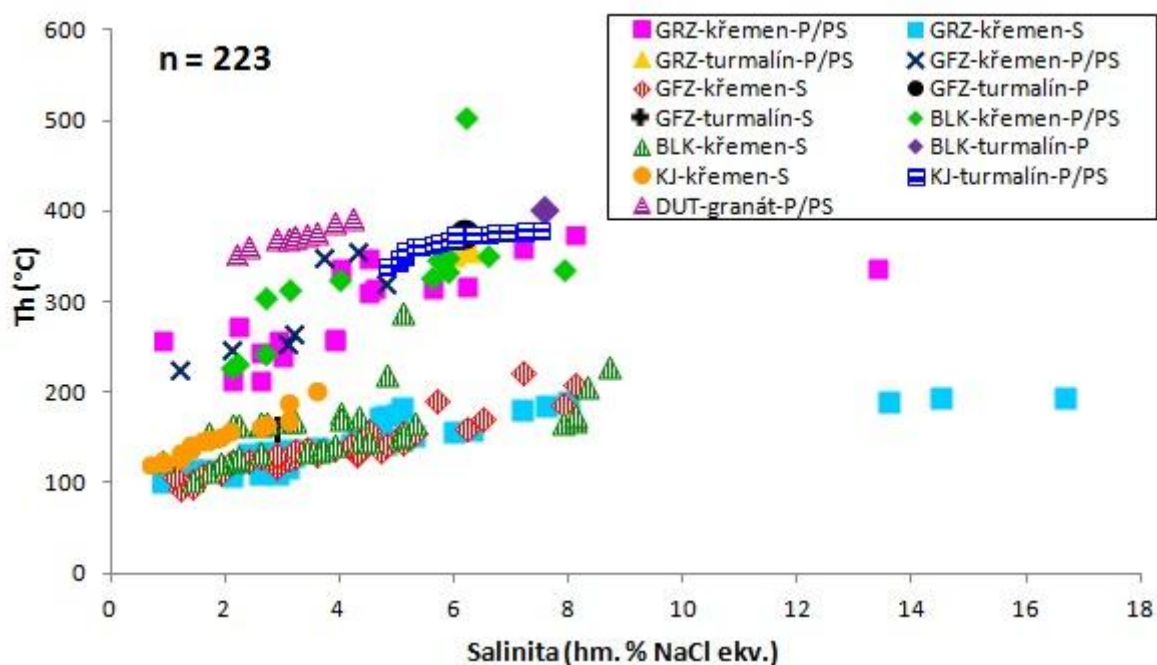


Obr. 39 Vývoj salinity vodné fáze oddělující se z krystalizujícího magmatu jako funkce tlaku a stupně krystalizace magmatu (upraveno dle Cline a Bodnar 1991)

Homogenizace inkluzí probíhala většinou na kapalinu a homogenizační teploty se pohybovaly v širokém intervalu. Na základě teplot homogenizace a vypočítané salinity byl stanoven celkový molární objem fluida, který nabýval hodnot od 18,8 do 34,9 cm^3/mol .

U některých inkluzí probíhala homogenizace i na plyn. V blokové jednotce se jednalo o dvě primární inkluze v křemeni a v turmalínu, které homogenizovaly za teplot 401 a 502 °C. Podobně na tom byly i dvě primární inkluze v granátu z dutiny, kde homogenizace proběhla za teplot 388 a 392 °C. Inkluze homogenizující na plyn bývají zachyceny za podstatně nižších tlaků, z čehož můžeme usuzovat, že v určitých fázích krystalizace pegmatitu mohlo dojít k poklesu tlaku až na hodnotu hydrostatického tlaku.

Homogenizační teploty a salinity byly společně vyneseny do grafu (obr. 40). Pro P a PS inkluze z křemene z granitické, grafické a blokové jednotky můžeme z diagramu interpretovat trend míchání středněteplotních a nízkosalinních fluid spolu s vysokoteplotními a středněsalinními fluidy. U sekundárních inkluzí z křemene ze vzorků GRZ, GFZ a BLK je také viditelný náznak trendu, kde lze usuzovat míchání nízkoteplotních fluid s měnící se salinitou – od nížesalinních po středněsalinní roztoky. Trend inkluzí z turmalínu z výše zmíněných genetických zón pegmatitu je vzhledem k malému počtu naměřených dat statisticky neprůkazný. Naopak P a PS inkluze z turmalínu ze vzorku KJ a z granátu ze vzorku DUT značí míchání vysokoteplotních fluid s proměnlivou salinitou. Sekundární inkluze v křemeni z KJ poukazují na nízkosalinní a nízkoteplotní fluida. Primární a pseudosekundární FI v granátech z dutiny poukazují na výseteplotní a nízkosalinní fluida.



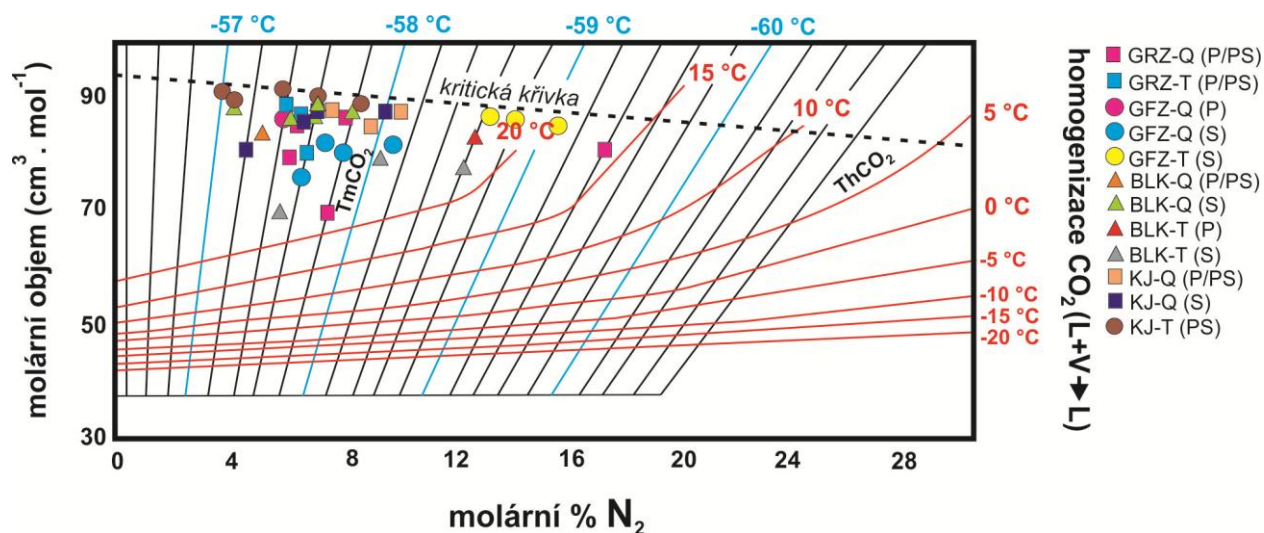
Obr. 40 Graf závislosti teploty homogenizace a salinity pro inkluze typu H_2O -soli

Pomocí Ramanovy spektroskopie byly analyzovány dvě pevné fáze (S1 a S2) v inkluzi z granátu DUT. U první menší fáze S1 byly zjištěny výrazné píky o vlnočtu 445 a 621 cm^{-1} . V tomto případě lze usuzovat, že by se mohlo jednat o rutil (píky 444 a 609 cm^{-1} ; Frezzoti et al. 2012). U druhé větší pevné fáze S2 jsou výrazné píky o vlnočtu 200, 303, 741 a 1102 cm^{-1} a lze ji identifikovat jako siderit (píky 194, 301, 738 a 1090 cm^{-1} ; Frezzotti et al. 2012).

5.1.2. Inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ -soli

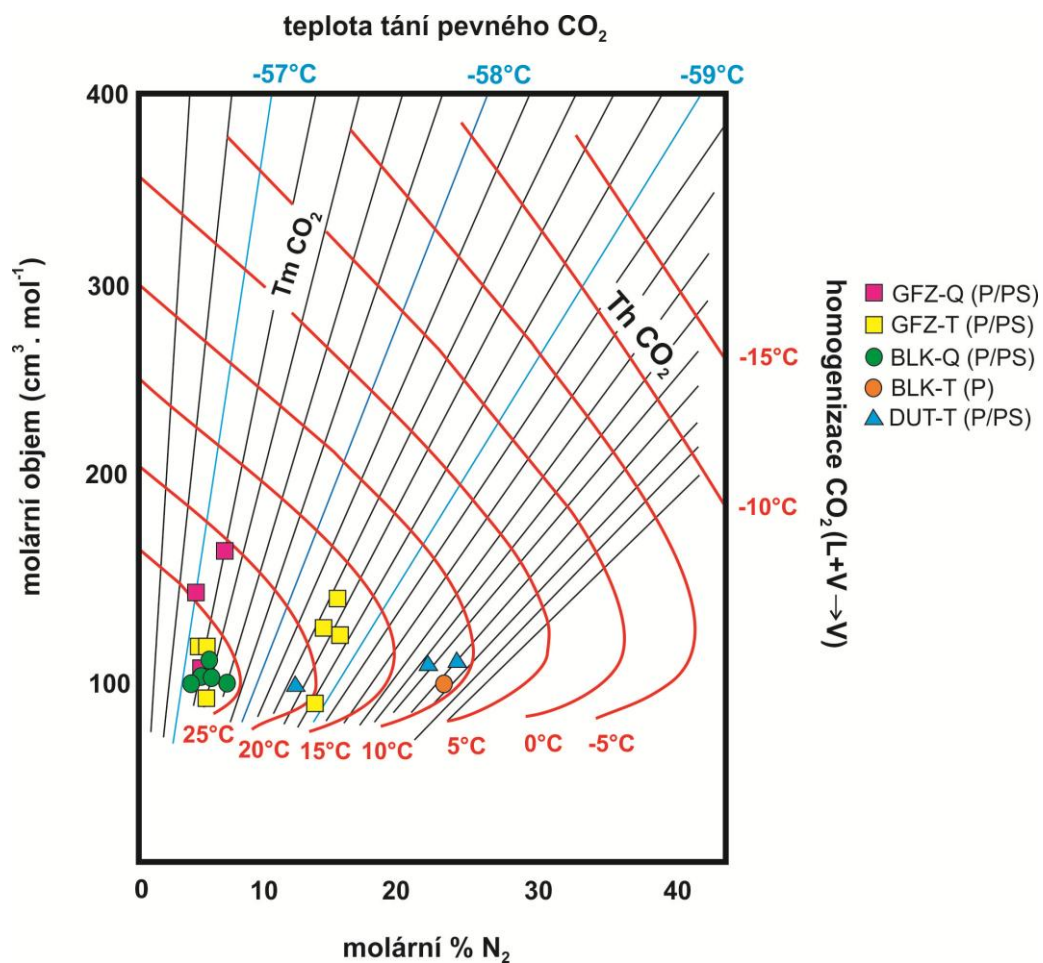
Inkluze typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ -soli se nevyskytovaly v takové míře jako inkluze typu H_2O -soli, ale i přesto byl jejich výskyt značný. Nejčastějším typem byly $\text{L}_{\text{aq}}+\text{L}_{\text{car}}+\text{V}$ inkluze, které měly zastoupení ve všech genetických jednotkách pegmatitu (tab. 11). Teplotu iniciálního tání se podařilo zachytit pouze v křemenu z granitické a z grafické zóny v rozsahu -19,8 až -23,4 $^{\circ}\text{C}$. Na základě těchto naměřených hodnot lze usuzovat, že solnou složku představuje NaCl. V ostatních zónách se nepodařilo teplotu iniciálního tání zachytit, ale vzhledem k podobnosti inkluzí usuzujeme na obdobný systém.

Pevný CO_2 tál při nízkých teplotách v rozsahu od -57 do -62 $^{\circ}\text{C}$, což indikuje příměs dalších plynů (např. CH_4 , N_2 ; Zachariáš, 2000). V některých inkluzích se pomocí Ramanovy spektroskopie podařilo prokázat přítomnost těchto plynů. U pseudosekundární FI z turmalínu z granitické zóny byla zjištěna přítomnost N_2 (1,2 mol. %) a H_2S . V primární FI z křemene z grafické zóny byla detekována příměs N_2 (1,2 mol. %), CH_4 (1 mol. %) a stopy H_2S . Z křemenného jádra byla vybrána jedna P inkluze z křemene, kde se prokázala opět příměs N_2 (1,5 mol. %), CH_4 (0,9 mol. %) a stopové množství H_2S . Pro fluidní inkluze, u nichž nebyla provedena Ramanova spektroskopie, byly vyneseny teploty tání pevného CO_2 a parciální homogenizace nevodné fáze do V-X diagramů systému CO_2 - N_2 (obr. 41 a 42). V pegmatitu převažují inkluze, u kterých homogenizace nevodné fáze probíhala na kapalínu (obr. 41) a zároveň většina z nich má nízké obsahy N_2 (3-9 mol. %). Vyšší podíl N_2 mají sekundární inkluze v turmalínu z grafické jednotky (12-16 mol. %). Nejširšího rozsahu obsahů N_2 (6-17 mol. %) pak dosahovaly P a PS inkluze z křemene z granitické zóny. Je důležité zmínit, že ve skutečnosti budou obsahy N_2 v nevodné fázi daleko nižší, jelikož se zde ve srovnatelných koncentracích vyskytuje i CH_4 . Molární objem nevodné fáze se pohyboval v rozsahu od 65 do 90 cm^3/mol .



Obr. 41 V-X diagram pro stanovení složení a molárního objemu $\text{CO}_2\text{-N}_2$ směsi pro inkluze s parciální homogenizací nevodné fáze na kapalinu. Upraveno dle Heyena et al. (1982).

Z inkluzí, v nichž nevodná fáze homogenizovala na plyn (obr. 42) mají největší podíl N_2 (12-25 mol. %) primární a pseudosekundární inkluze z blokové jednotky a z dutiny. Střední hodnoty obsahu N_2 (5-15 mol. %) mají primární a pseudosekundární inkluze z turmalínu z grafické zóny. Nejnižší hodnoty a zároveň nejmenší rozsah hodnot obsahu N_2 (2-8 mol. %) vykazovaly P a PS inkluze z křemene ze vzorku GFZ a BLK. I zde předpokládáme podobné koncentrace metanu, což způsobuje nadhodnocení výše uvedených modelových obsahů N_2 . Molární objem nevodné fáze se pohyboval od 90 do $170 \text{ cm}^3/\text{mol}$.



Obr. 42 V-X diagram pro stanovení složení a molárního objemu CO₂-N₂ směsi pro inkluze s parciální homogenizací nevodná fáze na plyn. Upraveno dle Heyena et al. (1982).

Nevodná fáze nejčastěji homogenizovala na kapalinu, méně na plyn a v křemenném jádře byla v křemenu i v turmalínu zachycena homogenizace kritickým způsobem za teplot 28 až 30 °C.

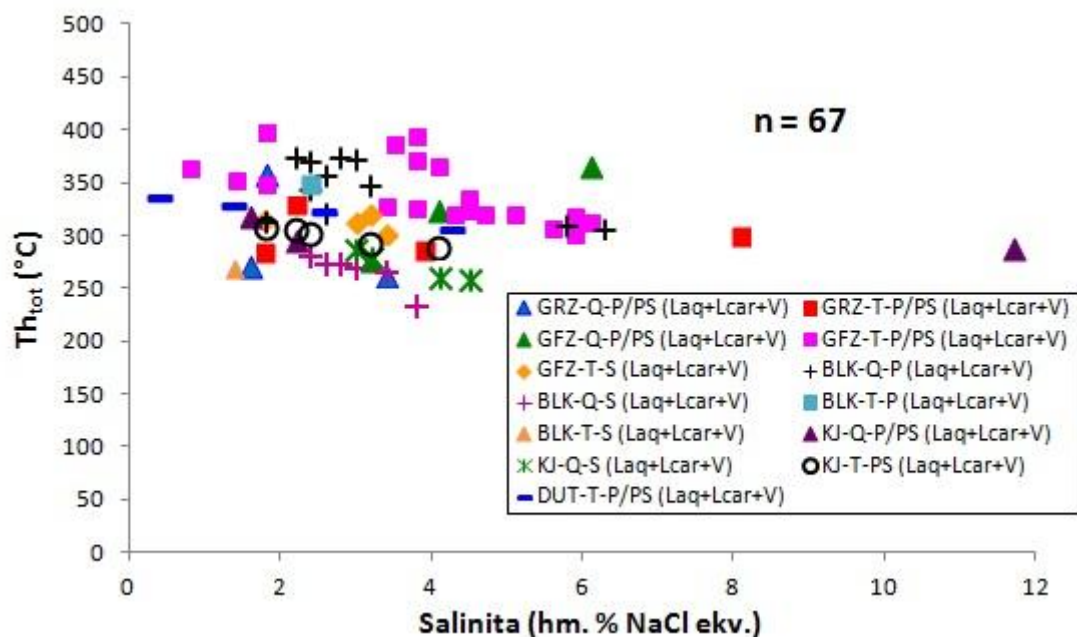
Tab. 11 Srovnání naměřených a vypočítaných charakteristik inkluzí typu H₂O-CO₂-soli

Vzorek (minerál)	Geneze	TmCO ₂ (°C)	Th (L) _{car} (°C)	Th (V) _{car} (°C)	Th (C) _{car} (°C)	Thtot (bph) (°C)	Thtot (dph) (°C)	Salinita (hm. % NaCl ekv.)	Celkový molární objem (cm ³ /mol)	Hustota nevod. fáze (g/cm ³)
GRZ-Q	P	-57,5 až -59,4	16,9-25,7	-	-	360		2,6-4,1	26,0-29,1	0,647-0,887
	P/PS	-57,5 až -58,9	21,6-28,4	-	-	-	262 a 271	0,4-1,8	23,3-27,2	0,805-0,906
GRZ-T	P/PS	-57,2 až -57,8	26,6-29,9	27,5	-	300	-	3,4-3,9	29,8-44,3	0,279-0,599
GFZ-Q	P	-57,0 až -58,6	28,1	20,1-28,6	-	-	276-365	2,2-7,3	24,4-39,4	0,238-0,681
GFZ-T	P	-58,5	-	18,7	-	371	-	4,5	33,7	0,184
	P/PS	-57,1 až -61,7	-	12,4-29,0	-	-	302-399	0,4-1,1	28,6-41,6	0,146-0,311
	S	-57,4 až -59,1	19,8-24,7	-	-	-	302-320	3,8-6,1	20,9-41,5	0,146-0,776
BLK-Q	P	-57,8	24,4	-	-	374	-	6,3	23,0	0,721
	P/PS	-57,3 až -58,3	-	26,3-29,2	-	-	305-373	1,8-6,2	21,2-23,2	0,661-0,695
	S	-57,1 až -58,1	28,0-29,2	-	-	-	232-285	2,2-3,0	21,3-23,2	0,624-0,656
BLK-T	P	-58,6 až -60,7	22,8	12,8	-	-	341-369	1,0-6,8	19,5-22,2	0,148-0,741
	S	-57,5 až -58,6	22,9-24,3	-	-	-	268-279	0,6-3,9	25,0-27,8	0,721-0,740
KJ-Q	P/PS	-57,7 až -58,1	21,7-28,7	-	28,9 a 29,2	-	277-318	1,6-11,7	23,3-27,6	0,639-0,755
	S	-57,1 až -58,0	27,4-28,6	-	-	-	257-285	2,6-3,9	21,2-23,3	0,641-0,669
KJ-T	PS	-57,0 až -57,8	29,2-29,8	-	29,9	-	289-309	1,6-4,1	23,4-29,1	0,603-0,624
DUT-T	P/PS	-58,7 až -61,7	-	11,7-23,1	-	-	305-339	1,4-4,3	41,5-51,2	0,143-0,221

Vysvětlivky: Q – křemen, T – turmalín

Pomocí programů ICE a FLINCOR byly z hodnot teplot tání klatrátu, teplot homogenizace nevodné fáze a teplot tání posledního ledu dle rovnice Bowersa a Helgesona (1983) vypočteny salinity, které byly nejčastěji v rozsahu od 0,4 do 6 hm. % NaCl ekv. Některé P a PS inkluze z křemenného jádra dosahovaly vyšší salinity až 12 hm. % NaCl ekv. Celkově lze tedy usuzovat, že se jedná o nízko až středněsalinní roztoky. Dále byl vypočítán celkový molární objem fluida, který nabývá u P a PS inkluzí z křemene ve všech zónách hodnot 21,2-39,4 cm³/mol. Sekundární inkluze v křemeni mají celkový molární objem v úzkém rozsahu od 21,2 do 23,3 cm³/mol. Největší rozsah (20,9-41,5 cm³/mol) byl zjištěn u S inkluzí z turmalínů z grafické zóny a nejvyšší hodnoty (41,5-51,2 cm³/mol) byly zjištěny u P a PS inkluzí v turmalínech z dutiny. V turmalínech z blokové jednotky a z křemenného jádra měly hodnoty celkového molárního objemu u P a PS inkluzí 19,5 až 29,1 cm³/mol. Na základě mikrotermometrických měření byla stanovena i hustota nevodné fáze, která dosahuje nejvyšších hodnot u P a PS inkluzí v křemeni z granitické jednotky (0,647-0,887 g/cm³). Naopak nejnižší hodnoty mají P a PS inkluze v turmalínu z dutiny (0,143-0,221 g/cm³).

Celková homogenizace probíhala převážně způsobem „dew-point“ v širokém rozsahu teplot (232-399 °C), nicméně sporadicky se vyskytovaly i inkluze s „bubble-point“ homogenizací v užším rozmezí teplot (300-374 °C), v nichž jsou také patrné mírně vyšší salinity (tab. 11). Teploty totální homogenizace byly vyneseny do grafu v korelaci se salinitou (obr. 43). V granitické jednotce bylo získáno malé množství dat, ze kterého nelze stanovit trendy. Primární a pseudosekundární inkluze z křemene z grafické zóny značí možný trend míchání středněteplotních a nízkosalinních roztoků s výšeteplotními a středněsalinními roztoky. Nejvíce získaných dat bylo z turmalínů z grafické jednotky, kde P a PS inkluze poukazují na vysokoteplotní fluida s lehce se měnící salinitou. V blokové jednotce P a S inkluze v křemeni vykazují obdobný trend. V křemeni z křemenného jádra bylo získáno malé množství dat, ale můžeme předpokládat, že u všech genetických typů (P, PS a S) došlo k izotermálnímu míšení s proměnlivou salinitou. P a PS inkluze v turmalínech ze vzorků KJ a DUT lze opět označit jako již výše zmiňovaná vysokoteplotní fluida s lehce proměnlivou salinitou.



Obr. 43 Graf závislosti teploty celkové homogenizace a salinity pro inkluze typu H_2O-CO_2 -soli

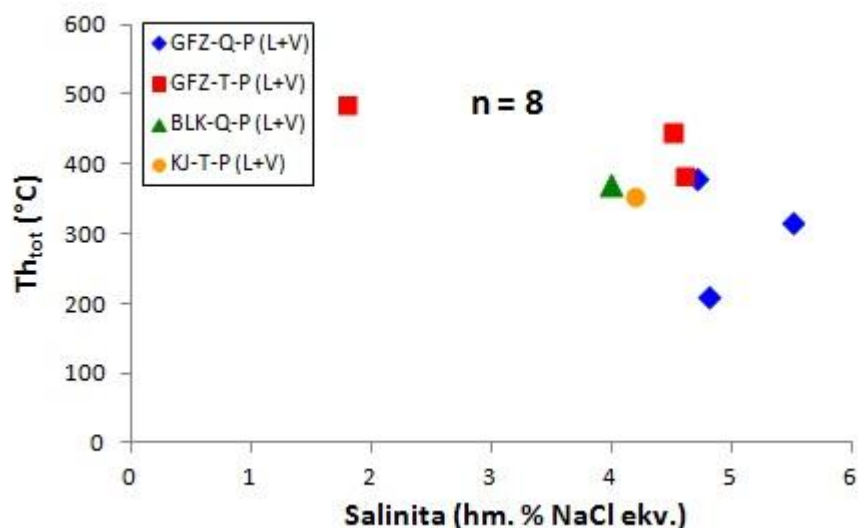
5.1.3. Inkluze typu H_2O -plyny-soli

Inkluze L+V s obsahem klatrátotvorného plynu se v pegmatitu vyskytovaly jen sporadicky. Zjištěny byly pouze v grafické zóně u obou minerálů (křemen i turmalín) a dále byla zjištěna jedna inkluze v křemeni z blokové zóny a jedna v turmalínu z křemenného jádra. Podařily se zachytit tři teploty iniciálního tání ($-24,8$ °C; $-36,7$ °C; $-38,6$ °C), z čehož lze usuzovat na přítomnost NaCl, $FeCl_2$ či $MgCl_2$. Přítomnost plynů byla potvrzena pomocí Ramanovy spektroskopie. U primární inkluze v křemeni z blokové jednotky byla zjištěna přítomnost CO_2 , N_2 a H_2S . V turmalínu z křemenného jádra byla analyzována P inkluze, kde se prokázala nepatrná přítomnost CH_4 .

Z teplot tání klatrátu a tání posledního ledu byly vypočteny salinity, celkově se jednalo o nízkosalinní inkluze, jejichž salinita se pohybovala v rozsahu 1,8-5,5 hm. % NaCl ekv. (program ICE s kalibrací podle Duana et al. 1992).

Homogenizace inkluzí probíhala na plyn i na kapalinu. Celkový rozsah homogenizačních teplot byl v širokém rozsahu od 212 do 485 °C. Nejnižší teplota homogenizace byla zachycena v křemeni z grafické jednotky a probíhala na kapalinu. Naopak nejvyšší homogenizační teploty (445 °C a 485 °C) probíhaly na plyn a byly zjištěny v turmalínu z grafické zóny.

Měřené teploty homogenizace byly vyneseny do grafu v korelaci se salinitou (obr. 44), ovšem pro nedostatečné množství dat nelze stanovit trendy.



Obr. 44 Graf závislosti celkové teploty homogenizace a salinity pro inkluze typu H_2O -plyny-soli

5.2. Interpretace původu fluid

Největší zastoupení v pegmatitu ze Strážku měly vodné inkluze typu H_2O -soli. Salinita těchto fluid je v rozmezí od 1 do 17 hm. % NaCl ekv. Z geologické situace můžeme usuzovat, že by se mohlo jednat o magmatická fluida. Nicméně během krystalizace pegmatitu docházelo ke snižování salinity (obr. 38), což mohlo zapříčinit míchání magmatické vody s jinými typy vod. Např. Masoudi a Yardley (2005) v pegmatitu z Iránu vysvětlují pokles salinity jako důsledek zvyšující se příměsi nízkosalinních metamorfních fluid z okolních hornin. Většina mnou studovaných inkluzí obsahovala jen kapalnou a plynnou fázi (L+V), ale v granátech z dutiny a u jedné inkluze v turmalínu z křemenného jádra byly patrné navíc pevné fáze, které nereagovaly na změny teploty při mikrotermometrii. Jedná se tedy pravděpodobně o zachycené fáze, které v roztoku existovaly již před hermetizací inkluze (Zachariáš 2000). Velmi podobné primární inkluze byly popsány v granátech i turmalínech z pegmatitu v oblasti Nong Sua v Thajsku (Linnen a Williams-Jones 1994). Tato nízkosalinní fluida (do 3 hm. % NaCl) jsou zde považována za magmatogenní. Fuertes-Fuente et al. (2000) ve své práci popisují také trojfázové inkluze (L+V+S) v granátech. Některé pevné fáze byly v těchto inkluzích identifikovány jako

křemen, naopak jiné se nepodařilo blíže specifikovat, ale bylo u nich patrné rozpouštění při vyšších teplotách, pravděpodobně se tedy jedná o dceřinné minerály. Tyto inkluze byly zjištěny v okrajové zóně pegmatitu, což značí opět jejich magmatogenní původ (Fuertes-Fuente et al. 2000).

Dalším hojně zastoupeným typem jsou fluida typu H_2O-CO_2 -soli. Naopak jen sporadicky se vyskytovala fluida typu H_2O -plyny-soli, kde byla detekována přítomnost CO_2 . Kvůli velmi nízké rozpustnosti CO_2 v magmatu není příliš pravděpodobné, že by tato fluida byla magmatického původu (Shilobreeva a Kadik 1987). Fluida bohatá na CO_2 bývají nejčastěji spojována s metamorfními horninami, z čehož lze usuzovat, že by se mohlo jednat o roztoky infiltrované z okolních metamorfítů. Mohlo tedy dojít k přimíchání CO_2 bohatých fluid z okolních hornin. Tuto hypotézu podporují i výsledky Ramanovy spektroskopie, která v nevodné fázi těchto inkluzí detekovala metan. Jeho přítomnost je vysvětlována infiltrací externí fluidní fáze z okolních hornin (Thomas a Spooner 1988). Řada studií poukazuje na to, že i vysokoteplotní fluida vyskytující se v magmatickém prostředí, mohou být přinášena z externích zdrojů (Banks et al. 2000; Dolníček et al. 2012).

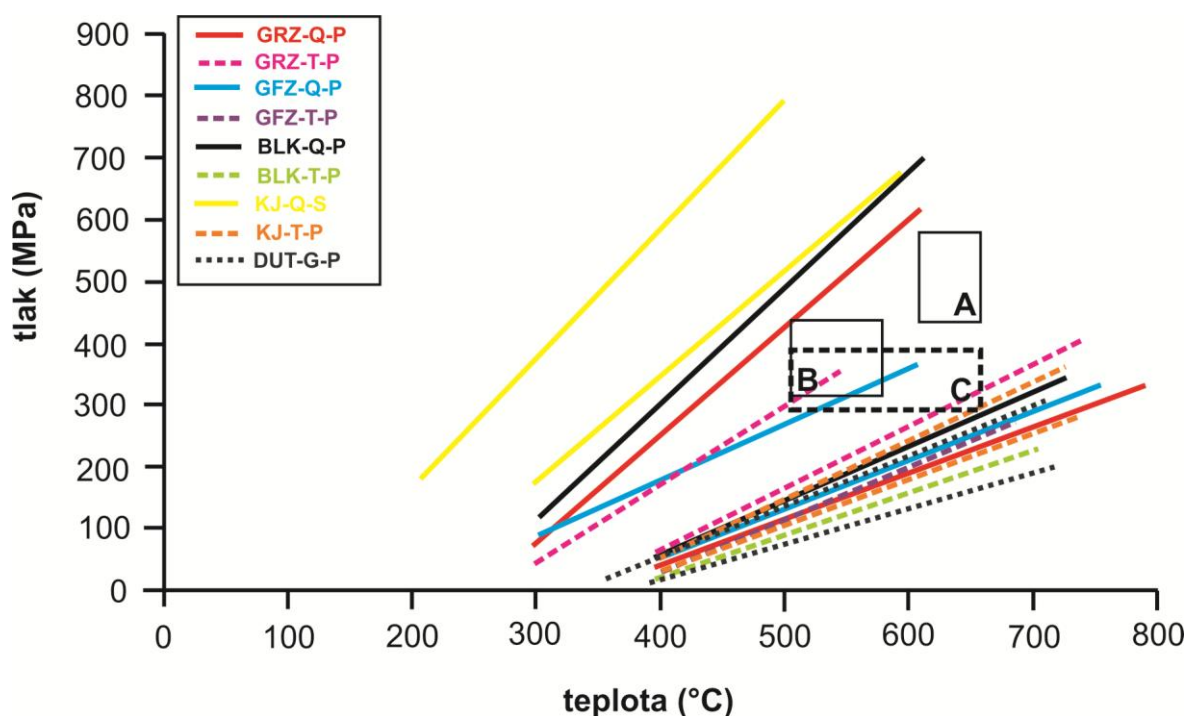
Okrajové zóny turmalínů a granátů v námi studovaném pegmatitu jsou mírně obohaceny o Mg a Ca (Kupská 2015). Tento jev je vysvětlován interakcí magmatické taveniny a Mg obohacenými fluidy pocházejícími z okolních hornin (Linnen a Williams-Jones 1994; Gadas et al. 2012).

Hodnota δD fluid turmalínu z blokové zóny, vypočítaná pro teploty 340 °C až 400 °C, se pohybuje od -35,7 do -43,5 ‰ SMOW. Velmi podobné hodnoty δD mají i fluida z turmalínu z křemenného jádra (od -31,9 do -44,2 ‰ SMOW pro teploty 340 °C až 380 °C). Takové hodnoty jsou typické pro metamorfní vody, jejichž hodnoty δD se pohybují v rozsahu od -70 do -20 ‰ SMOW (Taylor 1974). Naopak vypočítané hodnoty δD fluid leží již mimo interval uváděný pro magmatické vody (-50 do -80 ‰ SMOW; Taylor 1974). Hoefs (2004) uvádí, že hodnoty δD se při varu magmatogenní vody mění. U reziduální kapalně fáze se hodnoty δD zvyšují a u odcházející páry se hodnoty naopak snižují. Salinita reziduální kapalně fáze díky těmto procesům výrazně narůstá, což námi naměřené mikrotermometrické údaje neprokazují. Tudíž jako nejvíce pravděpodobné vysvětlení zůstává míchání magmatických vod s metamorfními vodami z okolního horninového prostředí.

5.3. P-T podmínky zachycení fluid

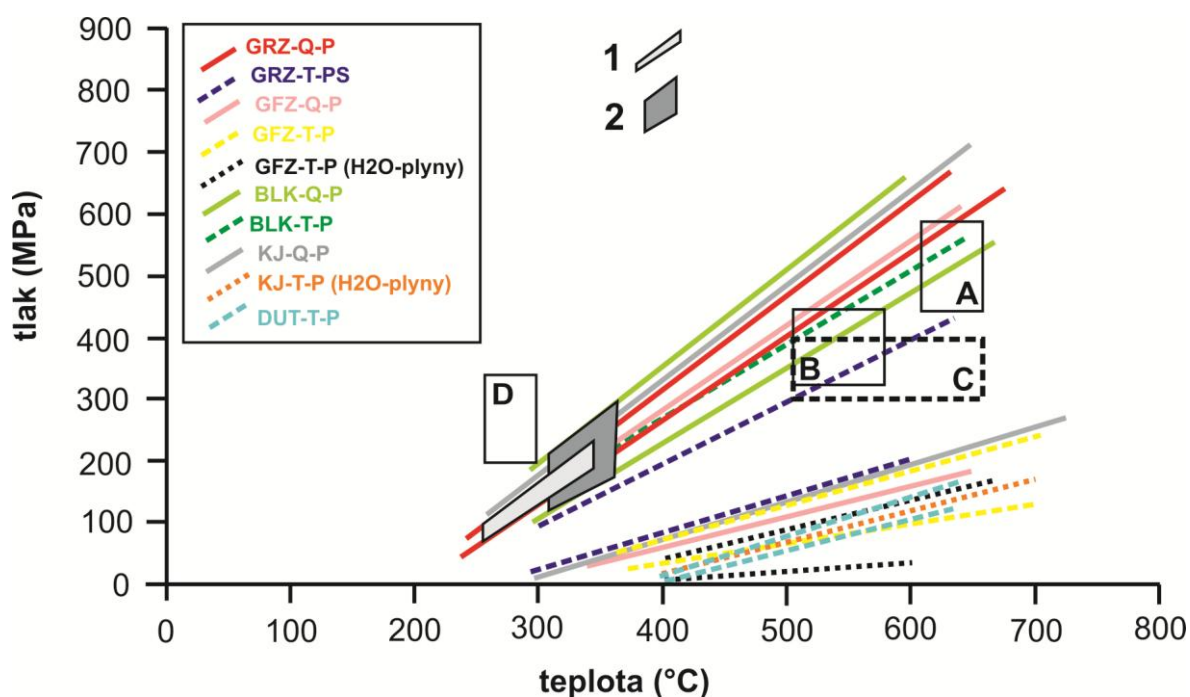
Inkluze vodných roztoků (typ H₂O-soli) ve všech studovaných vzorcích pegmatitu vykazují poměrně stálé fázové poměry, rovněž homogenizace na plyn byla pozorovatelná zcela výjimečně, tudíž lze předpokládat zachycení většiny inkluzí z homogenního fluida. Pro tyto inkluze platí, že jejich homogenizační teploty neodpovídají reálným teplotám vzniku. Skutečné teploty a tlaky vzniku inkluzí bývají většinou vyšší. Pro stanovení reálných P-T podmínek by bylo zapotřebí využít nezávislých termometrů či barometrů (Zachariáš 2000).

Vypočítané izochory pro P a S vodné inkluze z křemene a turmalínu ze všech genetických zón byly vyneseny do P-T diagramu (obr. 45). Isochory pro primární vodná fluida křemene (GRZ-Q, GFZ-Q, BLK-Q) vykazují široký rozptyl možných teplot a tlaků, avšak nejsou v rozporu s publikovanými podmínkami pegmatitové krystalizace a vzniku dutinových pegmatitů v oblasti moldanubika. V křemenu ze vzorku KJ byly zjištěny pouze sekundární inkluze typu H₂O-soli, pro které byly také sestrojeny izochory. Sestrojené izochory pro vodná fluida turmalínu a granátu mají užší rozsah a také korelují s již publikovanými údaji.



Obr. 45 Sestrojené krajní izochory pro vodné primární a sekundární inkluze křemene a turmalínu ze všech genetických zón dutinového pegmatitu ze Strážku. Isochory byly sestrojeny pomocí programu FLINCOR. Pole A a B vymezuje P-T podmínky pegmatitové krystalizace pro primitivní a lithné pegmatity z lokality Vlastějovice (Ackerman et al. 2007). Pole C znázorňuje P-T podmínky vzniku dutinových pegmatitů (Gadas et al. 2012)

Fluidní inkluze typu H_2O-CO_2 -soli vykazují za pokojové teploty variabilní obsahy nevodné fáze (30-80 obj. %) a rozdílné způsoby celkové homogenizace. U většiny inkluzí probíhala celková homogenizace způsobem „dew-point“, avšak vyskytovaly se i inkluze s homogenizací „bubble-point“. Z toho můžeme usuzovat, že by se mohlo jednat o zachycení z heterogenního fluida. Teploty totální homogenizace by v tomto případě odpovídaly reálným teplotám zachycení fluid (Zachariáš 2000). Příkladem heterogenního fluida by mohly být primární inkluze z křemene z granitické zóny s teplotami celkové homogenizace 262 °C a 360 °C a stejně tak i P inkluze z křemene z blokové jednotky s teplotami totální homogenizace 305 °C a 374 °C (obr. 46). Pravděpodobné P-T podmínky zachycení fluid v granitické zóně se pohybují v rozsahu cca 260 °C až 360 °C a tlaků cca 50 až 200 MPa. V blokové jednotce byly stanoveny podmínky zachycení fluid při teplotě cca 300 až 370 °C a tlaku 100-300 MPa. Fuksová (2013) stanovila přibližné podmínky zachycení obdobného typu fluid u turmalinického pegmatitu z lokality Bory (obr. 45; pole D). Avšak tyto teploty neodpovídají pegmatitové krystalizaci, pravděpodobně tedy došlo k reekvilibraci nebo k výměně obsahu primárních inkluzí během následných změn P-T podmínek.



Obr. 46 P-T diagram s vynesnými krajními izochorami pro P a PS inkluze typu H_2O-CO_2 -soli a H_2O -plyny-soli v jednotlivých zónách dutinového pegmatitu ze Strážku. 1) vymezení P-T

podmínek zachycení fluid z křemene z granitické jednotky, 2) vymezení P-T podmínek zachycení fluid z křemene z blokové jednotky. Isochory byly sestrojeny na základě výpočtů v programu FLINCOR a kombinace programů ICE a ISOC. Pole A a B vymezuje P-T podmínky pegmatitové krystalizace pro primitivní a lithné pegmatity z lokality Vlastějovice (Ackerman et al. 2007). Pole C znázorňuje P-T podmínky vzniku dutinových pegmatitů (Gadas et al. 2012). Pole D znázorňuje P-T podmínky pro fluidní inkluze z turmalinického pegmatitu z lokality Bory (Fuksová 2013)

5.4. Srovnání s dosavadními poznatky z moldanubika

Vodné inkluze typu H₂O-soli byli popsány na více lokalitách moldanubika (tab. 12). Fuksová (2014) popisuje fluidní systémy H₂O-NaCl-FeCl₂±MgCl₂ v turmalinickém a cordieritickém pegmatitu a v erlanu z lomu Bory (tab. 12). Mikrotermometrické parametry korelují s námi naměřenými hodnotami. Patrný rozdíl je však v salinitě, kde se jedná o nízkosalinní až vysokosalinní roztoky (0-28 hm. % NaCl ekv.). V pegmatitu ze Strážku byly zjištěny pouze nízkosalinní až středněsalinní roztoky, které se vyskytovaly i v dutinových pegmatitech od Krásněvsi (Fišerová a Dolníček 2014). Chloridy Na-Fe±Mg byly také popsány z fluidních inkluzí v křišťálech z deluviofluviálních sedimentů ve Skleném nad Oslavou (Halavínová a Přichystal 2008). V pegmatitu s bezvodými borosilikáty (Cempírek et al. 2010) a v primitivním pegmatitu (Dolníček et al. 2003) z Borů byl na základě nižších teplot iniciálního tání stanoven systém H₂O-NaCl-CaCl₂. Naše inkluze vykazují výhradně vyšší teploty iniciálního tání, které poukazují na výše zmíněné systémy. Nicméně u jedné inkluze z granitické zóny se nám podařilo zachytit systém s Na-Ca chloridy. Tato fluida byla zjištěna v křemenu z tmavého granulitu a v granátu ze světlého granulitu, které pocházely z borského granulitového masivu (Fuksová 2014). Lze tedy předpokládat, že na krystalizaci pegmatitu se podílela částečně i externí fluida z okolních metamorfítů. Infiltraci fluid z okolního prostředí potvrzují také zvýšené koncentrace Ca a Mg v okrajových zónách turmalínu a granátů ve strážeckém pegmatitu (Kupská 2015).

Dalším hojným typem jsou fluida typu H₂O-CO₂-soli, kde se nám pomocí Ramanovy spektroskopie podařilo detekovat minoritní příměs N₂, CH₄ a H₂S. Systémy obsahující CO₂ popisuje i Fuksová (2014) v turmalinickém i cordieritickém pegmatitu a v granulitech z Borů. V turmalinickém pegmatitu z Borů byla zachycena i homogenizace metanu na plyn (-135 a -150 °C). Parciální homogenizace nevodné fáze probíhala převážně na kapalinu, což je typické i pro

mnou studovaný pegmatit. Naopak celková homogenizace převažovala v módu „bubble-point“, ale ve Strážku byla častěji pozorována „dew-point“ homogenizace. Teploty inicálního tání značí přítomnost Fe a Mg chloridů. V pegmatitu ze Strážku se podařilo určit jako solnou složku pouze NaCl. Plynné systémy s CO₂ a příměsí N₂ a CH₄ se hojně vyskytovaly i v granulitech z Borů, z čehož můžeme předpokládat, že zdrojem těchto fluid by mohly být okolní metamorfované horniny. Systém H₂O-CO₂-NaCl byl také popsán v dutinových pegmatitech od Krásněvsi (Fišerová a Dolníček 2014) a v jednoduchém pegmatitu z Vlastějovic (Ackerman et al. 2007). V křemenných žilách z okolí Borů a Cyrilova byly zjištěny vysokosalinní inkluze (29-36 hm. % NaCl ekv.) výše zmiňovaného fluidního systému (Navrátilová 2011), což je v rozporu s našimi nízko- až středněsaliními fluidy. Celková homogenizace opět probíhala na kapalinu i na plyn od 79 do 508 °C. Takto vysoké teploty dosáhla jediná primární inkluze v křemenu z blokové zóny (502 °C).

Inkluze s obsahem klatrátotvorného plynu měly v pegmatitu nejmenší zastoupení. Pomocí Ramanovy spektroskopie byla v plynné fázi těchto inkluzí potvrzena přítomnost CO₂, N₂ a CH₄. V dutinových pegmatitech od Krásněvsi byly zjištěny inkluze stejného typu. Homogenizace v námi studovaném pegmatitu probíhala na plyn i na kapalinu, a to v podstatně širším rozsahu teplot (212-485 °C), než tomu bylo na lokalitě Krásněves (tab. 12). Buriánek et al. (2016) popisují v turmalínech z pegmatitu z oblasti třebíčského plutonu nepatrnou příměs metanu, což se podařilo zjistit i v námi studovaném vzorku z křemenného jádra. Teploty homogenizace mají rozpětí 251-377 °C a jsou srovnatelné s homogenizačními teplotami z dutinového pegmatitu ve Strážku. Přítomnost metanu také podporuje hypotézu, že se jedná o částečnou infiltraci externích fluid z okolních metamorfítů.

Tab. 12 Srovnávací data – Th a salinity fluidních inkluzí vybraných pegmatitů a křemenných žil

Lokalita	Typ horniny	Minerál	Typ fluida	Th(V) _{car} (°C)	Th(L) _{car} (°C)	Th(L) _{tot} (°C)	Th(V) _{tot} (°C)	Salinita (hm.% NaCl ekv.)	Autor/-ři	
Lom Bory	pegmatit s bezvodými borosilikáty	křemen	CO ₂		12-22				Cempírek et al. (2010)	
			H ₂ O-NaCl			287/365		3-6		
			H ₂ O-NaCl-CaCl ₂			148/164		12		
	primitivní pegmatit	dolomit	CH ₄ -N ₂					-97/-99	Dolníček et al. (2003)	
			H ₂ O-NaCl-CaCl ₂			136/167		11-18		
	turmalinický pegmatit	křemen	H ₂ O-NaCl-FeCl ₂ ±MgCl ₂			100/383			Fuksová (2014)	
			H ₂ O-CO ₂ -FeCl ₂ ± MgCl ₂		9-29	142/390		1-12		
			CO ₂ ±N ₂ ±CH ₄	30	13-31					
		turmalín	H ₂ O-NaCl-FeCl ₂ ±MgCl ₂			103/211				2-27
			H ₂ O-CO ₂ -FeCl ₂ ± MgCl ₂		26		290			5
	cordieritický pegmatit	křemen	H ₂ O-NaCl-FeCl ₂ ±MgCl ₂			100/405			0-21	
H ₂ O-CO ₂ -FeCl ₂ ±MgCl ₂			16-31	9-29	86/391	397/434	0-20			
N ₂ -CH ₄ ±C ₂ H ₆ ±C ₃ H ₈			8-30	7-31		-82/-138				
Bory a Cyrilov	křemenné žíly	křemen	H ₂ O-NaCl-CO ₂	20-28	22-28	79/381	160/508	29-36	Navrátilová (2011)	
Krásnéves	dutinový pegmatit	křemen	H ₂ O-NaCl±FeCl ₂ -MgCl ₂			89/374		2-10	Fišerová a Dolníček (2014)	
			H ₂ O-NaCl-CO ₂	25-27		348/371	353/398	3-4		
			H ₂ O-NaCl-plyny			330/361		0-6		
Vlastějovice	lithný pegmatit	křemen	H ₂ O-CO ₂ (N ₂)-H ₃ BO ₃ -NaCl		21-28	136/356	271/420	4-6	Ackerman et al. (2007)	
	jednoduchý pegmatit	křemen	H ₂ O-CO ₂ -NaCl		28-29		410/440	4-5		
		fluorit	H ₂ O-NaCl			160/372		0-8		

6. ZÁVĚR

V dutinovém pegmatitu ze Strážku byly podrobně studovány fluidní inkluze ve všech jeho texturně-paragenetických jednotkách. Konkrétně se jednalo o fluidní inkluze v granitické zóně, v grafické zóně, v blokové zóně, v křemenném jádru a v dutině. Cílem práce byla snaha identifikovat možný vývoj fluid během krystalizace pegmatitu. Bylo využito metod optické mikrotermometrie, Ramanovy spektroskopie a analýzy izotopového složení vodíku. Největší zastoupení měly inkluze v křemenu, poté v turmalínu a v neposlední řadě v granátu.

Na formování pegmatitu se podílelo více typů fluidních systémů – vodná fluida bez plynných složek a s plynnými složkami. Nejčastěji pozorovaným typem ve všech genetických zónách pegmatitu byly inkluze typu H_2O -soli. Podle teplot iniciálního obsahu inkluzí lze soudit, že jde o fluidní systém H_2O - $NaCl$ - $FeCl_2$ ± $MgCl_2$. Mikrotermometrické údaje ukazují, že v případě starších fluid se jedná o středněteplotní/nízkosalinní až vysokoteplotní/středněsalinní fluida. Mladší inkluze představují nízkoteplotní fluida s proměnlivou salinitou (nízkosalinní až středněsalinní). Během krystalizace jednotlivých texturně-paragenetických zón pegmatitu docházelo k poklesu nejvyšších salinit vodných fluid, což mohlo být způsobeno změnami ve stupni pokročilosti magmatické krystalizace, změnami tlaku při krystalizaci, mísením magmatických vod s externími (nemagmatickými) roztoky nebo mohlo dojít k sekundárnímu vyplnění části inkluzí fluidy pocházejícími z okolního horninového prostředí. Infiltraci externích fluid potvrzuje i přítomnost Ca a Mg chloridů.

Dalším hojně zastoupeným typem jsou fluida H_2O - CO_2 -soli, u kterých byla pomocí Ramanovy spektroskopie zjištěna přítomnost N_2 , CH_4 a H_2S . Na základě teplot iniciálního tání jsme tento systém blíže určili jako H_2O - CO_2 - $NaCl$. Inkluze tohoto typu byly pozorovány napříč celým pegmatitem. Z Th-Tm diagramu je patrné, že se jedná o středněteplotní až vysokoteplotní fluida s mírně proměnlivou salinitou. CO_2 bohatá fluida byla dřívějšími výzkumy prokázána i v okolních metamorfitech, z čehož usuzujeme, že došlo k míchání s roztoky z okolního prostředí. To nám potvrzují i L+V inkluze ze vzorku GFZ, BLK a KJ s příměsí klatrátotvorného plynu, kde pomocí Ramanovy spektroskopie byla také zjištěna přítomnost CO_2 , N_2 a CH_4 .

Metamorfnímu původu vody studovaných fluid nasvědčuje i provedená izotopová analýza. Vypočítané hodnoty δD fluid, které koexistovaly se studovanými turmalíny, jsou v rozmezí od -31,9 do -44,2 ‰ SMOW. Jelikož salinita reziduální fluidní fáze během krystalizace pegmatitu nenarůstala, jako nejpravděpodobnější vysvětlení takto vysokých hodnot

δD fluid zůstává míchání magmatogenních vod s metamorfními vodami z okolního horninového prostředí.

Dříve interpretované P-T podmínky pegmatitové krystalizace a P-T podmínky vzniku dutinových pegmatitů v zájmové oblasti korelují s průběhem sestrojených izochor primárních fluidních inkluzí.

7. POUŽITÁ 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.
- Banks D. A., Green R., Cliff R. A., Yardley B. W. D. (2000): Chlorine isotopes in fluid inclusions: determination of the origins of salinity in magmatic fluids. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 1785-1789.
- 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.
- Bodnar R. J. (1993): Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, 683-684.
- Borisenko A. S. (1977): Izučeniye solevogo sostava rastvorov gazovožidkikh vključenij v mineralach metodom kriometrii. – *Geol. i Geofiz.*, 8, 16-27, Novosibirsk.
- 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.
- Buriánek D., Dolníček Z., Novák M. (2016): Textural and compositional evidence for a polyphase saturation of tourmaline in granitic rocks from the Třebíč Pluton (Bohemian Massif). – *J. Geosci.*, 61, 309-334.
- 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.
- Cline J. S., Bodnar R. J. (1991): Can economic porphyry copper mineralization be generated by typical calc-alkaline melt? – *J. Geophys. Res.*, 96, 8118-8126.
- Černý P. (1991): Rare-element granitic pegmatites I. Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. – *Geosci. Can.*, 18, 49-67.
- Dallmeyer R. D., Franke W., Weber K. (1995): Pre-Permian geology of central and eastern Europe. Springer. Berlín, Heidelberg, New York.

- 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.
- Dolníček Z., Malý K., Dvořák J. (2003): Origin of the dolomite mineralization from a pegmatite dike at Horní Bory, Moldanubicum, Czech Republic. – *Mitt. Österr. Miner. Ges.*, 148, 124-125. Wien.
- Dolníček Z., René M., Prochaska W., Kovář M. (2012): Fluid evolution of the Hub Stock, Horní Slavkov-Krásno Sn-W ore district, Bohemian Massif, Czech Republic. – *Miner. Depos.*, 47, 821-833.
- Duan Z., Moller N., Weare J. H. (1992a): An equation of state for the CH₄-CO₂-H₂O system: I. Pure systems for 0 to 1000 °C and 0 to 8000 bar. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 2605–2617.
- Duan Z., Moller N., Weare J. H. (1992b): An equation of state for the CH₄-CO₂-H₂O system: II Mixtures from 50 to 1000 °C and 0 to 1000 bar. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 2619–2631.
- 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.
- Fall A., Bodnar R. J., Szabó Cs., Pál-Molnár E. (2007): Fluid evolution in the nepheline syenites of the Ditrău Alkaline Massif, Transylvania, Romania – *Lithos*, 95, 331-345.
- Fiala J. (1995): General characteristics of the Moldanubian Zone. - In: Dallmeyer R. D., Franke W., Weber K. (eds.): *Pre-Permian geology of central and eastern Europe*. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 417-429.
- Fišerová R., Dolníček Z. (2014): Fluidní systémy v záhnědách z dutinových pegmatitů od Krásněvsi (strážecké moldanubikum). – *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz.*, Praha, 22, 2, 363-370.
- Foord E. E., Spaulding L. B., Mason R. A., Martin R. F. (1989): Mineralogy and paragenesis of the Little Three Mine pegmatites, Ramona District, San Diego County, California. – *Min. Record*, 20, 101-127.

- Frezzotti M. L., Tecca, F., Casagli, A. (2012): Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis. – *J. Geochem. Explor.*, 112, 1–20.
- Fuertes-Fuente, M., Boiron M. A., Mangas J. (2000): Fluid evolution of rare-element and muscovite granitic pegmatites from central Galicia, NW Spain. *Mineral. Deposita* 35, 332-345.
- Fuchs G. (1976): Zur Entwicklung der Böhmisches Masse. – *Jahrb. Geol. Bundesanst.*, 119, 45-61.
- Fuksová A. (2014): Fluidní systémy ve vybraných horninách lomu Bory u Velkého Meziříčí (strážecké moldanubikum). – MS, diplomová práce. PřF UP, Olomouc.
- Gadas P., Novák M., Staněk J. (2012a): Dutinové turmalíny pegmatitů a muskovitických žil strážeckého moldanubika. – *Minerál*, 20, 5, 410-415.
- Gadas P., Novák M., Staněk J., Filip J., Vašinová Galiová M. (2012b): Compositional evolution of zoned tourmaline crystals from pockets in common pegmatites of the Moldanubian Zone, Czech Republic. – *Can. Mineral.*, 50, 743-760.
- Gerdes A., Friedl G., Parrish R. R., Finger F. (2003): High-resolution geochronology of Variscan granite emplacement - the South Bohemian Batholith. – *J. Czech Geol. Soc.*, 48, 53-54.
- 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*, 67-73. Vyd. Úst. geol. věd PřF MU a Moravské zemské muzeum. Brno.
- 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. Paris.
- Hoefs, J. (2004): *Stable isotope geochemistry*. – Springer, Berlin.
- Holub F. V., Klečka M., Matějka D. (1995): Igneous activity. – In: Dallmeyer R. D., Franke W., Weber K. (eds.): *Pre-Permian geology of central and eastern Europe*. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 444-447.
- Cháb J., Suk M. (1977): Regionální metamorfóza na území Čech a Moravy. – *Knih. Ústř. úst. geol.*, 50, 156pp. Praha.

- Cháb J., Breitr K., Fatka O., Hladil J., Kalvoda J., Šimůnek Z., Štorch P., Vašíček Z., Zajíc J., Zapletal J. (2008): *Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu*. ČGS. Praha.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2002): *Geologická minulost České republiky*. – Academia. Praha.
- Kupská H. (2015): *Studium dutinových pegmatitů Českomoravské vrchoviny na příkladu pegmatitu u Strážku, strážecké moldanubikum*. – MS diplomová práce, PřF MU Brno.
- Kotzer T. G., Kyser, T. K., King R. W., Kerrich R. (1993): An empirical oxygen- and hydrogen-isotope geothermometer for quartz-tourmaline and tourmaline-water. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, 3421-3426.
- Linnen R. L., Williams-Jones A. E. (1994): The evolution of pegmatite-hosted Sn-W mineralization at Nong Sua, Thailand: evidence from fluid inclusions and stable isotopes. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, 2, 735-747.
- Masoudi F. a Yardley B. W. D. (2005): Magmatic and metamorphic fluids in pegmatite development: Evidence from Borujerd Complex, Iran. – *Jour. Sci.*, 16, 1, 43-53.
- Medaris L. G. Jr., Wang H., Jelínek E., Mihaljevič M., Jakeš P. (2005): Characteristics and orogens of diverse Variscan peridotites in the Gföhl Nappe, Bohemian Massif, Czech Republic. – *Lithos*, 82, 1-23.
- Mísař Z., Dudek A., Havlena V., Weiss J. (1983): *Geologie ČSSR I Český masív*. – Stát. ped. nakl. Praha.
- Němec D. (1992): *Pegmatity s drúzovými dutinami západomoravského krystalinika*. – *Přírod. Sbor. Západo-morav. Muz. Třebíč.*, 18, 13-22. Brno.
- Navrátilová P. (2011): *Studium fluidních inkluzí v křišťálech z území Dolních Borů a Cyrilova*. – MS, diplomová práce, PřF MU Brno.
- 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.
- Petrakakis K. (1997): Evolution of Moldanubian rocks in Austria: review and synthesis. – *J. Metam. Geol.*, 15, 203–222.

- Shilobreeva S. N., Kadik A. A. (1987): Carbon and its volatile compounds in silicate melts and crystals: Experimental data. – Proc. First Indo-Soviet Workshop on Exp. Mineral. Petrol., New Delhi, 39-41.
- Staněk J. (1959): Problematika pegmatitového procesu a přehled výzkumů moravských pegmatitů. – MS, disertační práce, PřF MU Brno.
- Staněk J. (1986): Paragenesis mineralov miarolovych pegmatitov Zapadnoj Moravii, Českoslovakija. - Proceedings of the General Meeting of IMA, Varna 1982, 403-410.
- Staněk J., Plch M. (1981): Mineralogie der Mährischen Paläolitischen Bergkristallindustrie und Beitrag zur Lösung ihrer Provenienz. – Scr. Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun., 11, 1, 49–61. Brno.
- Stárková I., Veselá M., Moupic Z., Chmelař J. (1993): Příspěvky k problematice západomoravského krystalinika. – In: Přichystal A., Obstová V., Suk M. (eds.): Geologie Moravy a Slezska, pp. 15-30. Vyd. MZM a Sekce geol. Věd PřF MU Brno.
- Surmová P. (2014): Studium fluidních inkluzí v pegmatitech z Vepic a Vlastějovic. – MS diplomová práce, PřF UK v Praze.
- Štípská P., Schulmann K. (1995): Inverted metamorphic zonation in a basement-derived nappe sequence, eastern margin of the Bohemian Massif. – Geol. J., 30, 385-413.
- Taylor H. P. (1974): The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. – Econ. Geol., 69, 843–883.
- Thiéry R., van der Kerkhof A. M., Dubessy J. (1994): VX properties of CH₄-CO₂ and CO₂-N₂ fluid inclusions: modelling for T < 31 °C and P < 400 bars. – Europe. J. Mineral., 6, 753-771.
- Thomas A. V., Spooner E. T. C. (1988): Fluid inclusions in the system H₂O-CH₄-NaCl-CO₂ from metasomatic tourmaline within the border unit of the Tanco zoned granitic pegmatite, S. E. Manitoba. – Geochim. Cosmochim. Acta., 52, 1065-1075.
- Wendt I., Kröner A., Fiala J., Todt W. (1994): U-Pb zircon and Sm-Nd dating of Moldanubian HP/HT granulites from South Bohemia, Czech Republic. – J. Geol. Soc. London, 151, 83-90.
- Zachariáš J. (2000): Úvod do studia fluidních inkluzí. Vyd. UK 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.

Žák J., Verner K., Finger F., Faryad S. W., Chlupáčová M., Veselovský F. (2011): The generation of voluminous S-type granites in the Moldanubian unit, Bohemian Massif, by rapid isothermal exhumation of the metapelitic middle crust. – *Lithos*, 121, 25-40.

Internetové zdroje:

www1:

http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=625100&x=1130300&r=7000&s=1&legselect=0 (citováno k 11. 3. 2017)