

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA GEOLOGIE



**FLUIDNÍ SYSTÉMY V ZÁHNĚDÁCH Z DUTINOVÝCH
PEGMATITŮ OD KRÁSNĚVSI
(STRÁŽECKÉ MOLDANUBIKUM)**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Radka Fišerová

Environmentální geologie (B1201)

Prezenční

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

Olomouc 2013

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

V Olomouci dne 24. června 2013

.....

Podpis

Ráda bych poděkovala všem, kteří se jakýmkoliv způsobem podíleli na řešení této bakalářské práce. Mé poděkování patří především mému vedoucímu RNDr. Zdeňku Dolníčkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, nesmírnou trpělivost a pomoc při laboratorním výzkumu. Dále bych ráda poděkovala Bc. Fuksové za ochotu a věcné rady. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svým rodičům a blízkým, kteří mne po celou dobu studia podporovali.

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora: Radka Fišerová

Název práce: Fluidní systémy v záhnědách z dutinových pegmatitů od Krásněvsi (strážecké moldanubikum)

Typ práce: Bakalářská práce

Pracoviště: Katedra geologie PřF Olomouc

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

Rok obhajoby práce: 2013

Abstrakt: Tato práce se zabývá studiem fluidních systémů v záhnědách z dutinových pegmatitů ze dvou lokalit od Krásněvsi (moldanubikum). Ve studovaných krystalech záhněd se vyskytují vodné systémy bez plynných složek a vodné inkluze s plynnými složkami. U dvoufázových (L+V) vodných inkluzí bez plynných složek byly zjištěny systémy $H_2O-NaCl$, $H_2O-NaCl-FeCl_2$ a $H_2O-NaCl-MgCl_2$. Vodné inkluze s plynnými složkami se vyskytují jako dvoufázové (L+V) s přítomností klatrátu a trojfázové (L1+L2+V) s vodným roztokem, kapalným a plynným CO_2 . Na vzniku záhněd z lokality lom se podílela vysokoteplotní ($T_h = 241-371$ °C pro primární a primárně-sekundární inkluze) a nízkosalinní fluida (2,7-5,6 hm. % NaCl ekv.). Na lokalitě pole došlo k míchání roztoků s odlišnou teplotou a salinitou (vysokoteplotní/nízkosalinní a nízkoteplotní/středněsalinní); teploty homogenizací se u primárních a primárně-sekundárních inkluzí pohybovaly v rozmezí 163-398 °C a salinita od 0,4 do 10,1 hm. % NaCl ekv. Sestrojené izochory primárních fluidních inkluzí v P-T prostoru naznačují, že složení a hustota fluid jsou v souladu s dříve publikovanými P-T podmínkami pro pegmatitovou krystalizaci a vznik dutinových pegmatitů.

Klíčová slova: strážecké moldanubikum, Krásněves, dutinové pegmatity, záhnědy, fluidní inkluze, mikrotermometrie, P-T podmínky

Jazyk: Český

Počet stran: 40

Počet příloh: 0

Bibliographic identification:

Author's first name and surname: Radka Fišerová

Title: Fluid systems in smoky quartz from vuggy pegmatites from Krásněves (Strážek Moldanubicum)

Type of thesis: bachelor's thesis

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

Supervisor: RNDr. Zdeněk Dolníček, Ph.D.

The year of presentation: 2013

Abstract: This thesis deals with fluid systems in smoky quartz from vuggy pegmatites from two sites in the vicinity of the Krásněves village (Moldanubicum). Aqueous systems without gaseous and aqueous inclusions with gaseous compounds occur in the studied crystals of smoky quartz. The two-phase (L+V) aqueous inclusions without gaseous components contain systems H₂O-NaCl, H₂O-NaCl-FeCl₂ and/or H₂O-NaCl-MgCl₂. Aqueous inclusions with the gaseous components are present as a two-phase (L+V) displaying formation of a clathrate phase on cooling and three-phase (L1+L2+V) with an aqueous solution, liquid and gaseous CO₂. Crystals of smoky quartz from quarry originated from high-temperature (Th = 241-371 °C for primary and pseudosecondary fluid inclusions) and low-salinity (2.7-5.6 wt. % NaCl eq.). Mixing of solutions differing in temperature and salinity (high-temperature/low-salinity and low-temperature/medium-salinity) occurred at the locality "field"; the homogenization temperatures for primary and pseudosecondary inclusions range 163-398 °C and salinity from 0.4 to 10.1 wt. % NaCl eq. The position of isochores of primary fluid inclusions in P-T space suggests that the composition and density of the fluid are consistent with previously published P-T estimates of pegmatite crystallization and the formation of vuggy pegmatites.

Key words: Strážek Moldanubicum, Krásněves, vuggy pegmatites, smoky quartz, fluid inclusions, microthermometry, P-T conditions

Language: Czech

Number of pages: 40

Number of appendices: 0

OBSAH:

1	ÚVOD	6
2	GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA	7
2.1	Geologická stavba širší oblasti	7
2.2	Geologická charakteristika strážeckého moldanubika	10
2.3	Dutinové pegmatity	12
3	PŘEHLED DOSAVADNÍCH POZNATKŮ O FLUIDNÍCH SYSTÉMECH V PEGMATITECH MOLDANUBIKA	15
4	METODIKA	20
5	VLASTNÍ VÝZKUM	21
5.1.	Makroskopický popis	21
5.2.	Petrografie inkluzí	22
5.3.	Mikrotermometrie	25
5.3.1.	<i>Vodné systémy bez plynných složek</i>	26
5.3.2	<i>Vodné inkluze s plynnými složkami</i>	29
5.4.	Ramanova spektroskopie	32
6	DISKUZE	33
6.1.	Chemické složení fluid	33
6.2.	Srovnání s dosavadními poznatky	35
6.3.	P-T podmínky	36
7	ZÁVĚR	37
8	LITERATURA	38

1 ÚVOD

Obec Krásněves se rozkládá přibližně patnáct kilometrů jižně od Žďáru nad Sázavou v oblasti Českomoravské vrchoviny. Významnou ji činí výskyty dutinových pegmatitů, které představují světově ojedinělý typ pegmatitů. Vyznačují se velmi hojnou přítomností atraktivních krystalů pegmatitových minerálů – živců, křemene, slíd, apatitu. Jejich pozornost si získali především sběratelé, naopak ze strany odborníků jim dosud nebylo dopřáno takového zájmu. Tudiž se mnoho neví o podmínkách jejich vzniku.

Cílem mé bakalářské práce je přinést prvotní genetická data, získaná na základě studia plynokapalných uzavřenin v záhnědách ze dvou vybraných lokalit v okolí Krásněvsi.

V rešeršní části se zabývám geologickou charakteristikou zájmové oblasti a jejím širším okolím a dále přehledem dosavadních výzkumů fluidních inkluzí vyskytujících se v křemenech z pegmatitů a v hydrotermálních žilách moldanubika.

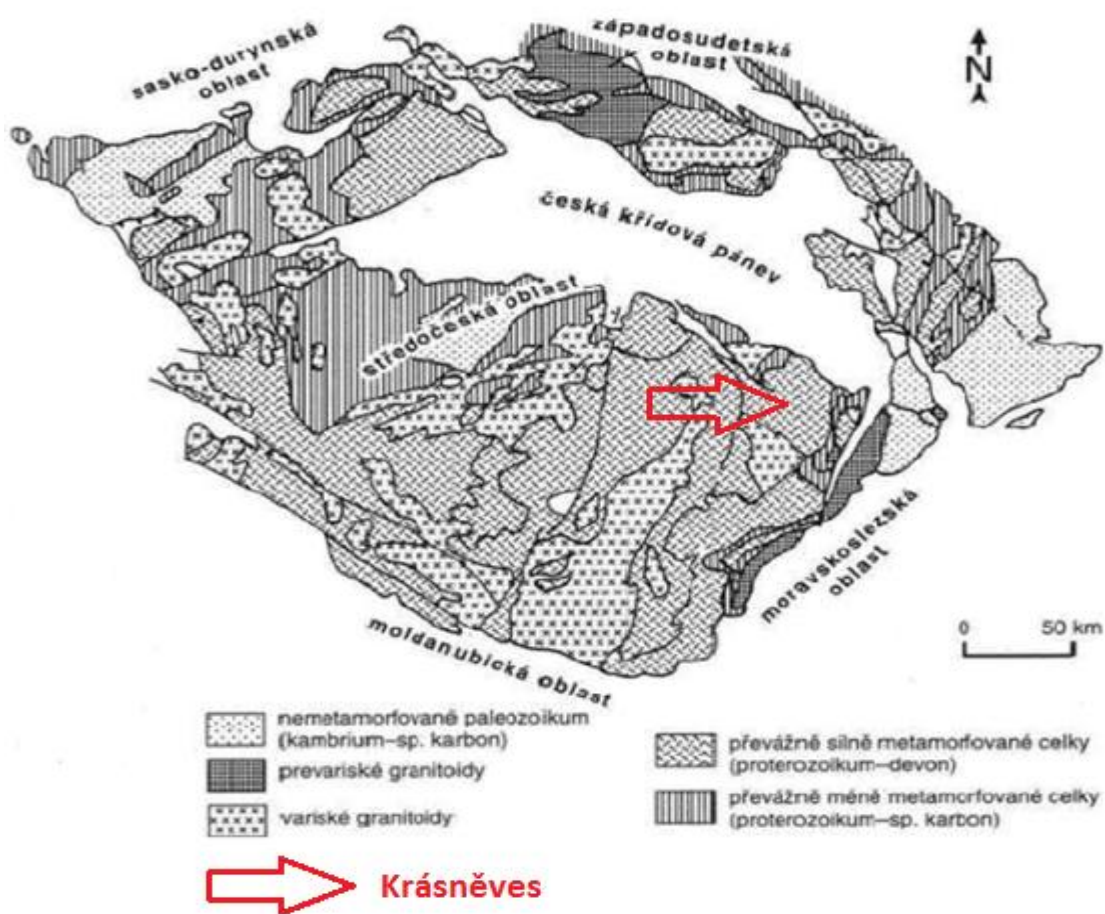
Vzorky byly dále zpracovány v laboratorní etapě, kde probíhala příprava oboustranně leštěných destiček z vybraných krystalů záhněd. Poté následoval popis přítomných inkluzí z hlediska jejich fázového složení a genetického začlenění a bylo provedeno měření mikrotermometrických parametrů různých typů inkluzí. Výsledky mé práce by měly přispět k objasnění podmínek vzniku dutinových pegmatitů.

2 GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA

2.1 Geologická stavba širší oblasti

Moldanubikum zaujímá rozsáhlou část našeho území a převážně tvoří jižní a jihozápadní část Českého masivu.

Styk moldanubické oblasti s okolními jednotkami variského horstva je převážně tektonický (Mísař et al. 1983). Za velmi důležitou tektonickou linií je považována přibyslavská mylonitová zóna, procházející napříč celým moldanubikem v SSV-JJZ směru (Žák et al. 2011). Hranice moldanubika s bohemikem je vedena v sz. směru podél středočeského hlubinného zlomu a v jz. směru podél západočeského zlomového pásma. Styk těchto dvou jednotek je na JZ značně složitější, sedimentární a vulkanické komplexy jsou ve směru stoupání osy barrandienu stále více metamorfovány. Na S a SV přiléhá k moldanubiku kutnohorsko-svratecká oblast. Za v. hranici s moravikem se považuje tzv. moldanubické nasunutí podél zlomového pásma (Mísař et al. 1983) (obr. 1).



Obr.1 Regionálně geologické rozdělení variské stavby Českého masivu (Chlupáč et al. 2002)

Moldanubická oblast je nejsilněji metamorfovanou a nejhluběji obnaženou částí variského horstva, kde je zapotřebí počítat i s největšími zdvihovými pohyby (Chlupáč et al. 2002). Jejimi typickými rysy tedy jsou vysoký stupeň metamorfózy, přítomnost specifických typů metamorfitů (granulity, eklogity, granátické serpentinity, cordieritické migmatity), intenzivní migmatitizace, proniknutí celého metamorfního komplexu četnými masívy granitoidů a téměř chybějící sedimentární pokryv (Mísař et al. 1983).

Moldanubikum prošlo polyfázovou metamorfózou a komplexní deformační historií. Jeho celková struktura je důsledkem skládání několika hlavních litotektonických jednotek v období ~350 až 330 Ma, následné HT-LP metamorfózy a anatexe datována na ~337–323 Ma. Přesné časové vymezení těchto tektonických událostí je však stále otevřené diskuzím (Petraakis 1997, Friedl et al. 1993 in Verner et al. 2008).

Chlupáč et al. (2002) rozděluje moldanubické horniny na tři skupiny – jednotvárná (ostronžská), pestrá (drosendorfská) a gföhlská.

Jednotvárnou skupinu budují především biotitické, biotiticko-muskovit a biotiticko-sillimanitické pararuly s hojným cordieritem. Metamorfóza zde probíhala za podmínek amfibolitové facie středních a nízkých tlaků (Chlupáč et al. 2002).

Následující dvě hlavní jednotky se od sebe liší metamorfním vývojem a exhumací z různých hloubek. Drosendorfská jednotka je strukturně nejspodnější a je tvořena (meta)-sedimentárními horninami paleozoika. P-T podmínky regionální metamorfózy jsou odhadovány na 630-720 °C a 0,3-0,6 GPa (Vrána et al. 1995). Kromě převládajících pararul se zde vyskytují i kvarcitické ruly, krystalické vápence, dolomity, erlany, grafitické ruly, amfibolity a tělesa přeměněných granitoidů – ortorul (Chlupáč et al. 2002).

Gföhlskou jednotku budují granulity, eklogity, migmatity, ortoruly, skarny, amfibolity, metagabra a menší tělesa metasedimentárních rul (Fiala 1995). Stáří protolitu je v rozmezí od prekambria do spodního paleozoika. Nejvyšší P-T podmínky metamorfózy probíhaly za teplot ~950-1050 °C a tlaků ~1,4-2,0 GPa a jsou datovány na období ~351-345 Ma (Medaris et al. 2005). Následovala retrográdní metamorfóza za nižších teplot ~600-800 °C a tlaků ~0,6-0,8 GPa v období ~337-333 Ma (Owen a Dostál, 1996).

Významný podíl na stavbě moldanubika mají variské granitoidové, většinou postkinematické plutonické komplexy. Nejvýznamnější z nich jsou středočeský a moldanubický pluton (Chlupáč et al. 2002).

Největší plochu o rozloze 6 000-10 000 km² zaujímá moldanubický pluton, který intrudoval v období ~330-300 Ma. Plutonický komplex se skládá ze starší a mladší skupiny intruzí. U starší skupiny je hlavní horninou I-typový porfyrický biotitický syenogranit–monzogranit typu Weinsberg. Gerdes et al. (2003) udává stáří pro granit typu Weinsberg v rozpětí 331 až 323 Ma. Dále se zde vyskytuje monzogranit-granodiorit typu Rastenberg, který leží před v. okrajem moldanubického plutonického komplexu v rakouské Lesní čtvrti (Waldviertel) (Cháb et al. 2008). Mladší skupinu intruzí tvoří S-typový peraluminický dvojslídny syenogranit-monzogranit typu Eisgarn (Cháb et al. 2008). Podle Gerdes et al. (2003) se typ Eisgarn datuje na 328-327 Ma. Typ Freistadt představuje nejmladší skupinu granitoidů, ke kterému řadíme drobnozrný, biotitický granodiorit typu Mauthansen a granit typu Schärding, který je charakteristický hojným výskytem muskovitu a cordieritu (Mísař et al. 1983). Stáří mladších granitoidů je datováno na ~330 až ~310 Ma (Gerdes et al. 2003).

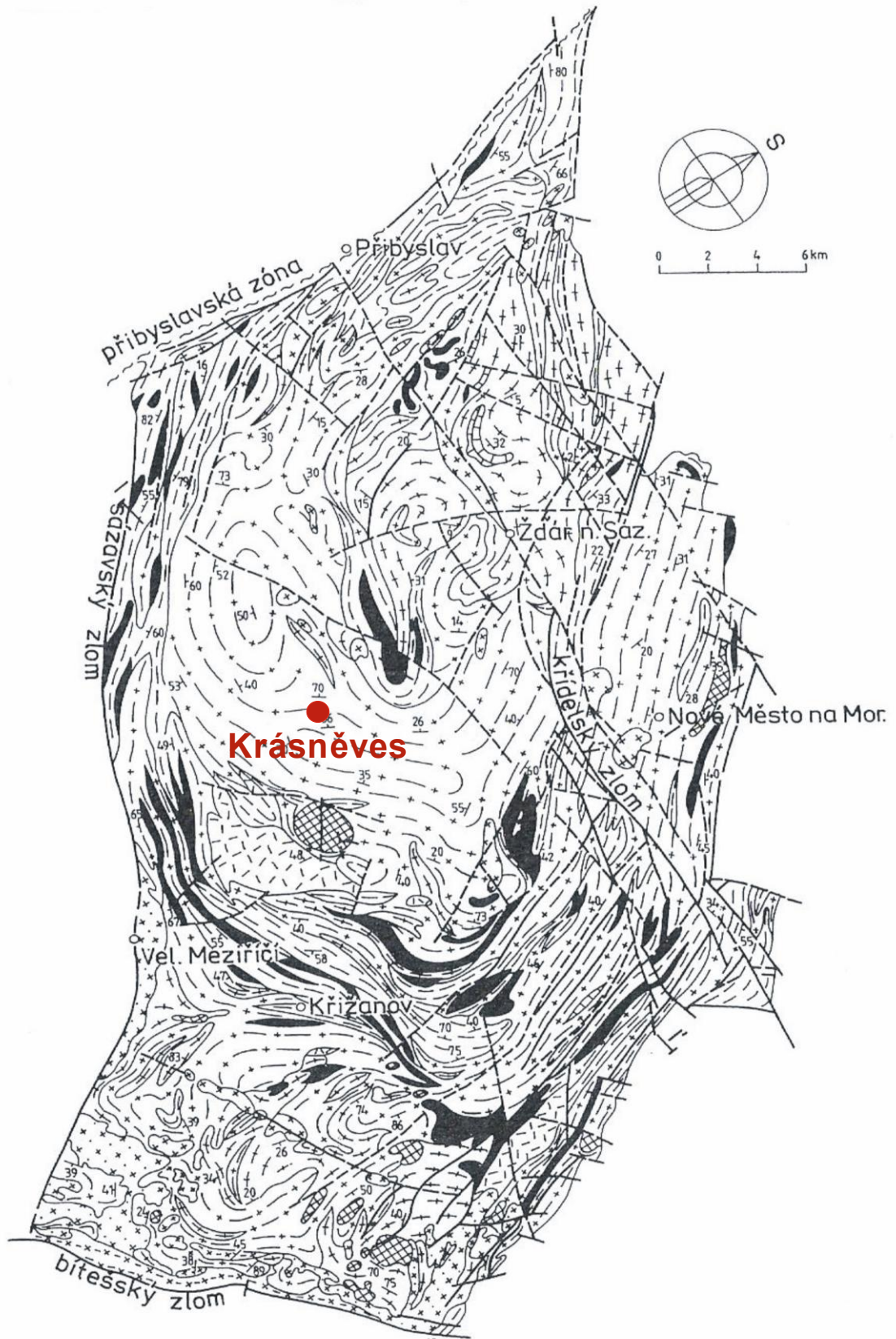
Středočeský pluton je petrograficky velmi pestré magmatické těleso o rozloze přibližně 3200 km². Tvoří trojúhelníkový komplex ležící mezi Klatovy, Říčany a Tábořem (Mísař et al. 1983). Hlavní horniny plutonu jsou rozděleny do dvou skupin – blatenská a sázavská. Blatenskou skupinu tvoří biotitické a amfibol-biotitické monzogranity a granodiority. Sázavská skupina je tvořena především amfibol-biotitickými, resp. biotit-amfibolickými granodiority a tonality (Cháb et al. 2008). Stáří granodioritů sázavského typu bylo stanoveno na 349±12 Ma a granodiority blatenské skupiny vykazují průměrné stáří 346±10 Ma. (Holub et al. 1997). Dále jsou významné mladší horniny durbachitového typu – syenity až granity bohaté na tmavé minerály (typ Čertovo břemeno a tábořský syenit). Většina granitoidů je doprovázena i žilnými horninami – aplity, lamprofyry i pozoruhodnými pegmatitovými žilami (Chlupáč et al. 2002).

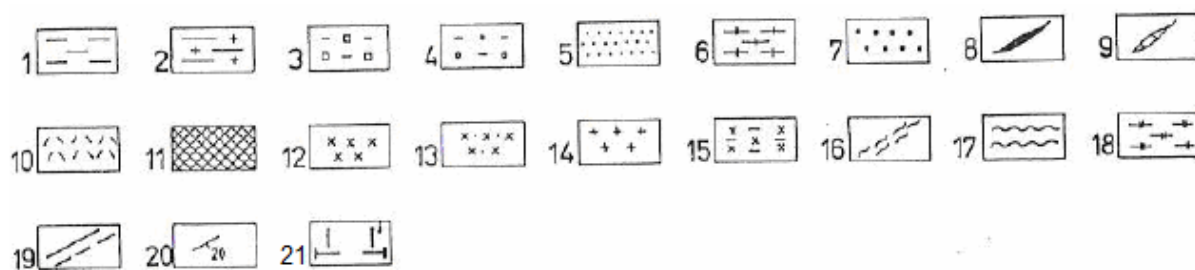
2.2 Geologická charakteristika strážeckého moldanubika

Oblast strážeckého moldanubika je na Z omezena přibyslavskou mylonitovou zónou, na V svrateckým krystalinikem, na S je ohraničena železnohorským krystalinikem a na J třebíčským masivem. Na JV určuje hranici bítešský zlom (obr. 2). V oblasti strážeckého moldanubika doposud nebyl proveden žádný výzkum takového rozsahu, aby umožnil objasnit vztahy mezi jednotlivými příkrovy. Někteří autoři strážecké moldanubikum řadí ke gföhlskému alochtonu, vzhledem k jeho litologii, metamorfnímu vývoji a zejména díky přítomnosti granulitů (Kříbek a Hájek 2005). Stárková et al. (1993) považují za podloží horniny drosendorfského příkrovu, které vystupují v centrální části strážeckého moldanubika mezi obcemi Obyčtov, Radostín, Bohdalov, Nížkov a Jitkov. Komplexy hornin ostronské skupiny vystupují v nadloží, kde vytváří lem podél přibyslavské mylonitové zóny a sv. od třebíčského masívu a celou jv. část strážeckého moldanubika až po křídelskou dislokaci.

Strážecké moldanubikum je převážně tvořeno katazonálně metamorfovaným sedimentárně-vulkanogenním komplexem hornin, přeměněných předpaleozoickou a variskou metamorfózou. Je tedy budováno především cordierit-biotitickými rulami a migmatity, biotitickými a amfibol-biotitickými, často migmatitizovanými rulami s vložkami amfibolitů, erlanových rul a gföhlskými rulami. Méně zastoupeny jsou granulity a granulitové ruly, které jsou doprovázeny budinami ultrabazik, serpentinitů, pyroxenitů a eklogitů (Owen a Dostál 1996). Největší zastoupení má zóna biotitických a sillimaniticko-biotitických pararul s minerální asociací biotit+sillimanit+plagioklas+křemen, která se podle Soboleva (1970 in Stárková et al. 1993) řadí do facie „distenových rul“ a amfibolitů a je charakterizována jako zóna vysokotlaké metamorfózy při tlaku ~1000-1400 MPa a teplotě 600 až 800 °C.

Z žilných hornin se zde vyskytují pegmatity, aplity a aplitické granitoidy. Vystupují na různých lokalitách a většinou nedosahují velkých mocností. Výskyt těchto hornin svědčí o tom, že v procesu granitizace byly v roztaveném stavu, ale přitom nedošlo k výraznému přemístění taveniny (Stárková et al. 1993).





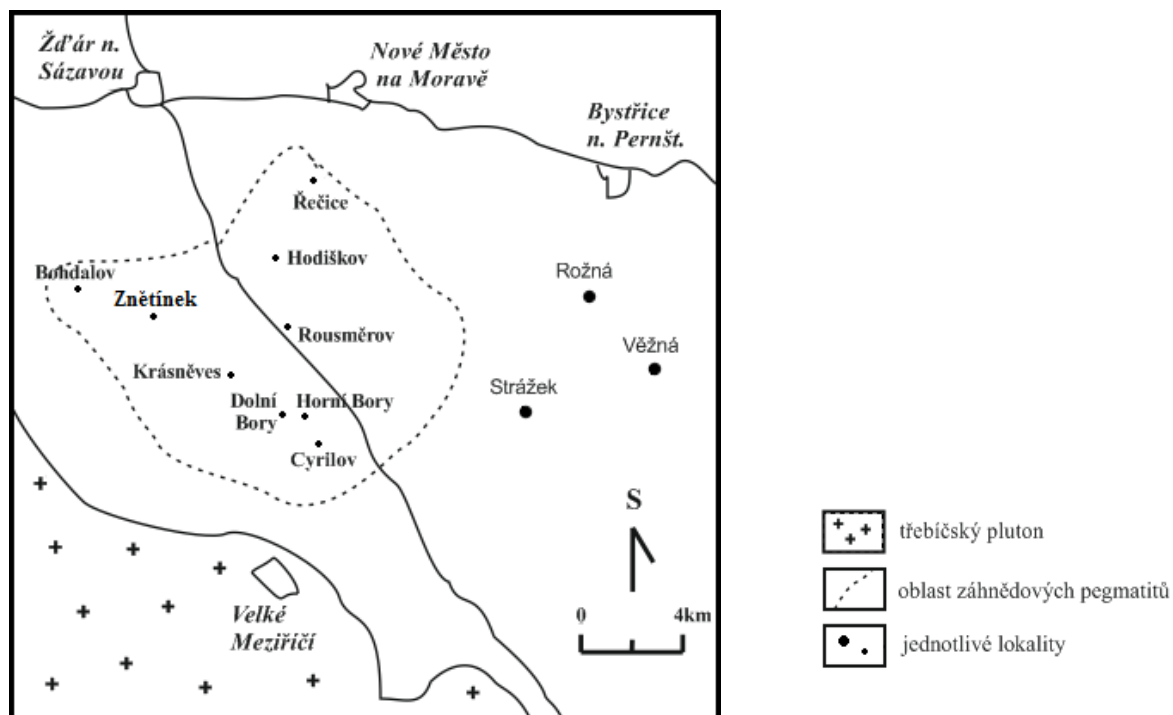
Obr. 3 Geologická mapa strážeckého moldanubika s vyznačenou lokalitou (převzato od Stárkové et al. 1993)

Vysvětlivky: 1 – biotitické pararuly, 2 – biotitické migmatity (arterity), 3 – biotitické migmatity s kyanitem, 4 – biotitické migmatity s cordieritem, 5 – perlové ruly, 6 – leukokratní migmatity (granitizované ruly), 7 – cordieritické rohovce, 8 – amfibolity, 9 – erlany, krystalické vápence, 10 – granulity, 11 – serpentinity, 12 – dvojslídne granity, 13 – durbachity, 14 – amfibolicko-pyroxenické metadiority, 15 – aplity, 16 – mylonity a ultramylonity, 17 – dvojslídne svory svrateckého krystalinika, 18 – dvojslídne migmatity (svratecké ortoruly), 19 – zlomy ověřené, předpokládané, 20 – foliace, 21 – linie geologického řezu

2.3 Dutinové pegmatity

Z oblasti strážeckého moldanubika je známo velké množství pegmatitových žil různých typů, které patří do skupiny granitických pegmatitů. Jedná se o magmatické horniny, jejichž celkové složení je blízké granitu a tvoří převážně žilná tělesa o malých mocnostech. Černý (1991 in Novák 2005) rozdělil granitické pegmatity podle geologického prostředí, v němž vznikají jejich hostitelské horniny, do pěti základních tříd – abysální, muskovitové, muskovitové-vzácných prvků, vzácných prvků a miarolitické.

Dutinové pegmatity jednoznačně nezapadají do výše uvedené klasifikace, vzhledem k jejich primitivní stavbě, minerálnímu a celkovému chemickému složení. Jejich charakteristickým znakem jsou hojné dutiny s krystaly záhněd, albitu, K-živce, muskovitu, turmalínu, apatitu nebo i granátu, dále úzký vztah k okolním migmatizovaným rulám a absence možných mateřských granitů v místech jejich výskytu. Přítomnost andalusitu a cordieritu naznačují, že jde pravděpodobně o pegmatity vzniklé natavením okolních hornin za nižších tlaků, což je typické pro metamorfogenní pegmatity. Mezi nejznámější lokality dutinových záhnědových pegmatitů patří Bobrůvka, Cyrilov, Krásněves, Lhotka u Tasova, Pikárec, Rousměrov, Rožná, Řečice a další (Novák 2005) (obr. 3).



Obr. 3 Schematická geologická mapa rozšíření záhnědových pegmatitů ve strážeckém moldanubiku. Upraveno dle Nováka (2005).

Dutiny pegmatitů mohou vznikat dvojitým způsobem, a to při plynulém růstu minerálů nebo vyluhováním. U dutin vzniklých při plynulém růstu se předpokládá, že vznikaly tehdy, když během tuhnutí nastaly podmínky pro oddělení fluidní fáze od magmatické taveniny, zpravidla to bylo v tektonicky klidném prostředí. Dutiny tohoto typu bývají větších rozměrů a obecně i nejvíce rozšířeny. Dutiny vzniklé vyluhováním vznikly vyloužením některých částí žil působením korozivních fluid, a to zpravidla v konečných fázích krystalizace pegmatitů (Němec 1992). Podle Černého (1991 in Němec 1992) obsahují tyto dutiny nízkoteplotní minerály a dosahují jen malých rozměrů.

Krystaly záhněd v okolí Krásněvsi a dalších lokalit jsou z dutin menších pegmatitových těles (obr. 4). Pod dutinami se často nachází místa, jež byla vyluhována hydrotermálními roztoky, ze kterých následně vykryštovaly velké, jednostranně někdy oboustranně ukončené krystaly. Záhnědy mají velmi rozmanitý vzhled, často pseudohexagonální či trigonální, někdy jsou kónické, jindy sloupcovité a rovnoměrně silné po celé své délce. Lze na nich pozorovat trapezodry i příkřejší romboedry. Prizmatické plochy jsou často rýhované v horizontálním směru. Hnědé zbarvení způsobilo radioaktivní záření, vyvolané nejspíše přítomností radioaktivního draslíku obsaženého v K-živcích (Staněk 1999).



Obr. 4 Krystaly záhněd z dutinových pegmatitů od Krásnévsi (www.sberalmineralu.cz)

Nejnovější poznatky o podmínkách vzniku dutinových pegmatitů přineslo studium krystalů zonálních turmalínů (Gadas et al. 2012). Pomocí metody LA-ICP-MS bylo zjištěno velmi podobné chemické složení jádrové a střední zóny, ale odlišné na vnějším okraji turmalínových krystalů, kde byly vyšší obsahy Mn, Ni, Sc a Ga a naopak nižší obsahy V, Cr, Co a Sr. Téměř všechno Fe bylo stanoveno jako Fe^{2+} pomocí Mössbauerovy spektroskopie. Minerální asociace (andalusit+cordierit) pegmatitů a jejich geologické a petrografické charakteristiky naznačují PT podmínky $\sim 500\text{-}650\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $\sim 300\text{-}400\text{ MPa}$. Hojný muskovit a absence K-živce v žilách bohatých na muskovit naznačují nízké P-T podmínky, toto však není zdaleka objasněno (Gadas et al. 2012).

3 PŘEHLED DOSAVADNÍCH POZNATKŮ O FLUIDNÍCH SYSTÉMECH V PEGMATITECH MOLDANUBIKA

V zájmové oblasti strážeckého moldanubika zatím nebylo provedeno větší množství výzkumů. Přehled publikovaných prací je tedy rozšířen na oblast celého moldanubika.

Staněk a Plch (1977) ve své práci uvádějí výsledky studia inkluzí z paleolitických artefaktů zhotovených z křišťálů a záhněd. Vzorky byly zkoumány celkem z 12 lokalit (z jeskyně Žitný a Nová Dědina a také z původních nalezišť ze západní Moravy). Fluidní inkluze byly zkoumány metodou homogenizace. Byly zde popsány primární, pseudosekundární a sekundární inkluze. Z jeskyně Žitný a Nová Dědina mají inkluze převahu plynné fáze nad kapalnou. Vysoký obsah CO₂ (7,9-21,1 mol. %), H₂ (24-60 mol. %), CO (6,5-27 mol. %) a N₂ (5,1-19 mol. %) a relativně vysoké teploty homogenizace od 185 do 354 °C těchto primárních a pseudosekundárních inkluzí poukazují spíše na původ z pegmatitů než na alpskou paragenezi.

V lomu Horní Bory byly studovány fluidní inkluze z dolomitové mineralizace v pegmatitové žíle (Dolníček et al. 2003). Byly zde rozlišeny tři generace fluidních inkluzí – primární, primárně-sekundární a sekundární. Teploty homogenizace sekundárních inkluzí vykazují nízké teploty do 52 °C a nízké hodnoty salinity 0-3 hm. % NaCl ekv. Také lze rozlišit dva typy primárních a primárně-sekundárních inkluzí. První typ je tvořen dvoufázovými inkluzemi (L+V), obsahujícími vodný roztok s teplotou celkové homogenizace v rozmezí 136-167 °C. Nízké eutektické teploty (-70 až -52 °C) a hnědé zbarvení zamrzlých FI svědčí o přítomnosti chloridů Na a Ca. Jako poslední pevná fáze taje buď led v rozmezí od -7,4 do -14,0 °C odpovídající hodnotám salinity 11-17,8 hm. % NaCl ekv. nebo hydrohalit, jehož teplota tání od -17 do +1,6 °C určuje salinitu 24-26,3 hm. % NaCl ekv. V diagramu Th-salinita je patrná přítomnost dvou fluid stejných teplot, ale odlišné salinity. Druhý typ fluidních inkluzí je vyplněn plynnou fází a koexistuje s vodnými FI. Při chlazení se na stěnách inkluzí občas tvoří bílé krystalky pevné fáze. Homogenizace inkluzí na plyn byla pozorována v intervalu teplot od -97,5 do -99,1 °C. Pevná fáze (jedná se nejspíš o CO₂ nebo H₂S) sublimuje v rozsahu teplot od -94 do -60 °C. Jde pravděpodobně o systém CH₄-N₂ s malou příměsí výše uvedených plynů. Přítomnost kogenetických FI s odlišným složením umožňuje přesné stanovení teploty a tlaku pouze na základě termometrických dat. Byly zjištěny nízké hodnoty tlaku - 100-115 bar (Dolníček et al. 2003). Složení fluid, teplota, tlak a hodnoty salinit ukazují, že studované mineralizace jsou velmi podobné parametrům pozdně variských dolomitů z epitermálních polymetalických žil vyskytující se v moraviku a kulmu Nížkého Jeseníku (Dolníček et al. 2003).

Z lomu Bory byly dále studovány fluidní inkluze v primitivních turmalinických pegmatitech (Fuksová a Dolníček, 2012). Studiu byly podrobeny dva minerály – křemen a turmalín z grafické zóny. V křemenu se převážně vyskytovaly sekundární inkluze uspořádané v řádcích skrz celá zrna a uspořádané v trojrozměrné dispozici. Převládaly zde dvoufázové (L+V) inkluze, dále jednofázové průhledné nebo neprůhledné inkluze, kde nebylo možné stanovit fázové složení. Méně často se objevovaly třífázové inkluze (L1+L2+V). Pseudosekundární inkluze tvořily drobné řádky uvnitř zrna, které nedosahovaly až k jeho okraji a převážně byly dvoufázové (L+V). Primární inkluze byly uspořádané v trojrozměrné distribuci a převažovaly dvoufázové (L+V), méně pak třífázové s vodným roztokem a kapalným i plynným CO₂ a jednofázové pouze s obsahem CO₂. Dvoufázové inkluze (L+V) s obsahem vodných roztoků mají široký rozsah teplot homogenizace od 157 do 286 °C, jako poslední fáze taje led při -2,1 až -20,8 °C, tomu odpovídá rozsah salinit mezi 3,5 a 22,2 hm. % NaCl ekv. Třífázové inkluze (L1+L2+V) a dvoufázové inkluze obsahovaly plynný i kapalný CO₂. U inkluzí s vodným roztokem byla naměřena teplota eutektika -34,7 °C, což indikuje systém H₂O-FeCl₂ nebo H₂O-NaCl-MgCl₂. Teplota tání CO₂ byla naměřena v rozmezí -54 a -60 °C. U inkluzí, které kromě CO₂ obsahovaly i vodné roztoky, byla naměřena teplota tání klatrátu od 5,3 do 9,4 °C, což odpovídá salinitě 1,2 až 8,6 hm. % NaCl ekv. V turmalínu se vyskytovaly převážně taveninové inkluze, které obsahovaly čiré nebo rekrystalizované sklo a plynnou fázi. Dále zde byly sekundární dvoufázové (L+V) inkluze vodných roztoků, kde byla zachycena teplota eutektika při -36,8 °C, která značí systém H₂O-NaCl-FeCl₂ či H₂O-NaCl-MgCl₂. Jako poslední fáze taje led při -3,0 až -5,1 °C, tomu odpovídá rozsah salinit 5,0 až 7,8 hm. % NaCl ekv. Teplota homogenizace u tohoto systému je v rozsahu 167 až 190 °C (Fuksová a Dolníček, 2012).

V okolí Borů byly dále zkoumány křemeny v pegmatitu bohatém na bezvodé borosilikáty. Tyto inkluze se většinou vyskytují na řádcích skrz celé zrno, výjimečně i na neúplných řádcích nebo i jednotlivě. Byly zde popsány fluidní inkluze obsahující CO₂, kde teplota tání pevného CO₂ má nízké hodnoty mezi -58,2 a -59,2 °C, které naznačují přítomnost malého množství metanu nebo dusíku. Teplota homogenizace je od +12,9 do +21,9 °C. Dalším typem jsou dvoufázové (L+V) inkluze s vodným roztokem a nízkou salinitou od 3,3-6,4 hm. % NaCl ekv. Vyskytují se v trojrozměrných skupinách nebo na řádcích procházející skrz celé zrno. Většina těchto fluidních inkluzí homogenizovala v intervalu teplot mezi 287 a 365 °C. Teplota tání ledu je mezi -4 a -2 °C. Vyskytuje se zde také trojsložkový systém Na-Ca-Cl se salinitou okolo 12 obj. % NaCl ekv., teplotou tání ledu od -8,0 do -8,4 °C a teplotou homogenizace od 148 do 164 °C. Tyto inkluze se vyskytují na trhlinách procházející skrz celé minerální zrno (Cempírek et al. 2010).

Navrátilová (2011) ve své diplomové práci popisuje fluidní inkluze z křišťálů z okolí Dolních Borů a Cyrilova. Vzorčky byly zapůjčeny z Moravského zemského muzea a jejich přesná lokalizace nebyla známa. Ve studovaných inkluzích bylo zjištěno fázové složení L+V, L₁+L₂+V a L+V+S. Podle mikrotermometrického měření i petrografického pozorování lze konstatovat převahu dvou (L+V) a třífázových (L₁+L₂+V) inkluzí se systémem H₂O-NaCl-CO₂. Rozsah celkových teplot homogenizací je v rozsahu od 79 do 485 °C. Inkluze jsou převážně pseudosekundární a méně se vyskytují i inkluze sekundárního typu.

Ackerman et al. (2007) se zabývali studiem fluidních inkluzí v pegmatitech z Vlastějovic. V lithném pegmatitu se fluidní inkluze studovaly pouze v křemenu a v jednoduchém pegmatitu ve všech vhodných minerálech – křemen, fluorit, apatit a titanit.

V primitivním pegmatitu se nachází primární dvoufázové (L+V) inkluze s nemísitelnou CO₂ fází. Teplota tání pevného CO₂ se pohybovala v rozmezí od -56,9 do -56,7 °C, což poukazuje na přítomnost na velmi nízké příměsi jiných plynů (N₂, CH₄). Teplota homogenizace CO₂-fáze proběhla v rozmezí 28 až 28,9 °C, teplota tání klatrátu byla v rozsahu od 7,7 do 7,9 °C, což odpovídá salinitě 4,1 až 4,4 hm. % NaCl ekv. Teplota celkové homogenizace byla 410 až 440 °C na plyn. Pseudosekundární inkluze byly pozorovány ve fluoritu. Podle jejich salinit a teplot celkové homogenizace se dělí na dvě podskupiny – nízkosalinní, vysokoteplotní inkluze, kde teplota tání ledu je od -0,3 do -0,4 °C, salinita 0,5 až 0,7 hm. % NaCl ekv. a teplota totální homogenizace je od 308 do 372 °C na kapalinu. Další podskupinou jsou inkluze středněsalinní, nízko/středně teplotní, kde teplota tání ledu je od -3,8 do -5,6 °C, salinita 6,2 až 8,7 hm. % NaCl ekv. a teplota celkové homogenizace je od 160 do 220 °C na kapalinu. Sekundární dvoufázové inkluze s převahou vodného roztoku jsou prezentovány nízkosaliními roztoky. Teplota tání ledu byla změřena od -2,7 do -0,1 °C, salinita 0,2 až 4,5 hm. % NaCl ekv. a variabilní teploty totální homogenizace od 140 do 290 °C na kapalinu.

V lithném pegmatitu se vyskytují primární polyfázové inkluze H₂O-CO₂ a pomocí Ramanovy spektrometrie byla zjištěna přítomnost malého množství N₂ v plynné fázi. Rozsah teplot tání CO₂ je od -56,7 do -56,6 °C, teploty homogenizace CO₂ jsou mezi 27,4 a 28,3 °C. Přítomnost sassolinu (H₃BO₃) znemožnila naměření hodnot teplot tání klatrátu. Inkluze dekrepitovaly před jejich konečnou homogenizací v rozsahu 390-430 °C. Primárně-sekundární inkluze jsou zde dvoufázové a polyfázové H₂O-CO₂. U dvoufázových inkluzí byla naměřena teplota tání CO₂ v rozmezí od -57,0 do -56,9 °C, teplota homogenizace CO₂ mezi 21 a 28 °C. Teplota tání klatrátu 7,4 až 7,8 °C odpovídá salinitě 4,3 až 5,0 hm. % NaCl ekv. Všechny studované inkluze dekrepitovaly okolo 300 °C, blízko jejich konečné homogenizace, která je

odhadována na 320 až 350 °C. Naopak mnohofázové inkluze vykazují o něco nižší teploty tání CO_2 -57,3 a -57,2 °C, CO_2 zde homogenizuje na plyn za teplot 25 až 26 °C. Teplota tání klatrátu byla 6,3 až 6,4 °C, která odpovídá salinitě 6,7-6,9 hm. % NaCl ekv. Konečná homogenizace na plyn se pohybuje od 271 do 310 °C. Vodné dvoufázové a polyfázové inkluze sekundárního typu jsou svými termometrickými parametry velmi podobné sekundárním dvoufázovým inkluzím z křemene v primitivním pegmatitu.

P-T podmínky pegmatitové krystalizace byly stanoveny na 600-640 °C a 420-580 MPa pro primitivní pegmatity a 500-570 °C a 310-430 MPa pro lithné pegmatity.

Předmětem studia fluidních inkluzí byly i křemeny od Budče (Dolníček a Malý, 2007). U vybraných vzorků křišťálů je zajímavé fázové složení přítomných inkluzí. Všechny inkluze mají převahu vodného roztoku a u většiny lze pozorovat i plynnou bublinu, která zaujímá 5-10 obj. %. Řada z nich obsahuje navíc jednu nebo dvě pevné fáze, které lze z hlediska optických vlastností a vnější morfologie dělit na tři typy. U prvního typu se jedná pravděpodobně o karbonát, u dalších dvou se povahu pevných fází nepodařilo určit. Zajímavým rysem je, že u posledních dvou zmiňovaných typů se pevné fáze za pokojové teploty zřetelně pohybují. Teploty homogenizací inkluzí s bublinou vykazují poměrně široký rozsah hodnot mezi 95 a 215 °C. Širší rozptyl vykazují jak inkluze v rámci konkrétní jedné mikrotrhliny, tak inkluze primární. Během zahřívání se pevné fáze nemění, pouze při zvyšování teploty se jejich pohyb zrychluje. Při kryometrii inkluze zamrzají za relativně vysokých teplot (-14 až -49 °C). U některých vymražených inkluzí je patrná jejich granulární struktura, jiné zůstávají bezbarvé. Zároveň došlo u většiny inkluzí k eliminaci plynné bubliny. První kapalina se objevila za teplot -8 až -38 °C, během následného zahřívání zmrzlých inkluzí. Při dalším zvyšování teplot taje další neidentifikovaná fáze za teplot -0,3 až -6,4 °C. Jako poslední ve všech inkluzích roztává led v intervalu teplot od 0,0 do -5,2 °C. Chování plynné fáze při zmrazování a rozmrazování naznačuje možnou přítomnost malého množství klatrátotvorného plynu. Na vzniku křemenné žíly se patrně podílel dosti specifický fluidní systém. Lze předpokládat, že jednou z komponent hydrotermálních fluid mohly být roztoky „zvětrávacího“ původu, které svůj solný obsah získaly odlišnými nízkoteplotními rozpouštěcími, hydrolytickými a oxidačními reakcemi srážkové vody a silikátových hornin (Dolníček a Malý, 2007).

Halavínová a Přichystal (2008) se věnovali studiu fluidních inkluzí v křišťálech z deluviofluviálních sedimentů z oblasti Žďáru nad Sázavou a Brtnice na Českomoravské vrchovině. Typickým znakem pro všechny dané lokality je přítomnost fluid s obsahem CO_2 . Některé inkluze jsou bohaté, jiné naopak chudé na oxid uhličitý. Ve všech zkoumaných

lokality mají inkluze většinou nepravidelný nebo okrouhlý tvar a nepřevyšovaly velikost 20 μ m. Do oblasti Žďáru nad Sázavou patří zkoumané lokality Sklené nad Oslavou a Rousměrov, okolí Brtnice a Kněžice:

Sklené nad Oslavou

Nachází se zde dvou (L+V) a trojfázový systém (L₁+L₂+V). Inkluze jsou sekundárního typu uspořádané v řádcích protínající celé krystaly. Pro plynem bohaté inkluze je typický tmavý lem okolo plynu. Kondenzace kapalného CO₂ během chlazení značí přítomnost CO₂ fluid. Pro mikrotermometrii byly použity jen ty inkluze, které mají převahu kapalně fáze. Naměřené hodnoty teplot homogenizace jsou mezi 117 a 221 °C a teploty tání ledu jsou mezi -4,7 a -12,4 °C. Salinita je mezi 7,4 a 16,3 hm. % NaCl ekv.

Rousměrov

Kogenetické, dvoufázové (L+V) inkluze obsahují jak malé, tak i velké plynem bohaté fáze CO₂. Jedná se o pseudosekundární inkluze. Získané hodnoty teplot homogenizace a teplot tání ledu jsou velmi blízké předchozí lokalitě.

Brtnice

Opět dvousložkový systém (L+V) s vodným roztokem. Plynná fáze zaujímá jen 10 obj. %. Při podrobnějším studiu pomocí Ramanovy spektrometrie byla zjištěna přítomnost CO₂, N₂ a CH₄. Primární a pseudosekundární inkluze homogenizují v intervalu od 220 do 258 °C, sekundární inkluze vykazují nižší hodnoty. Teplota tání ledu se pohybuje mezi -2,3 a -7,5 °C a odpovídá salinitě 3,9 až 11,1 hm. % NaCl ekv.

Kněžice

Na poslední lokalitě byl zjištěn dvousložkový systém stejně jako v Brtnici. Teplota tání ledu je v rozmezí -3,1 až -6,5 °C. U primárních a pseudosekundárních inkluzí probíhá homogenizace za teplot od 203 do 244 °C. Hodnoty salinity jsou velmi podobné jako u předchozí lokality.

4 METODIKA

Výzkum zahrnoval pouze laboratorní část. Vzorky krystalů záhněd mi zapůjčil vedoucí mé bakalářské práce.

Ze vzorků jsem zhotovila 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. Nejdříve byly podrobeny petrografickému zhodnocení v optickém polarizačním mikroskopu Olympus BX 50 v procházejícím světle, a poté byly uloženy na dobu cca 24 hodin do nitrometanu, což způsobilo jejich odlepení od podložního skla. Pro studium fluidních inkluzí bylo potřeba vzorky rozlámat na vhodnou velikost a dále byly zkoumány pomocí optické mikrotermometrie na přístroji LINKAM THMSG 600 na Katedře geologie PřF UP Olomouc. Studovány byly následující fázové změny v inkluzích: teplota zamrznutí (T_f), teplota eutektika (T_e), teplota homogenizace (T_h), teplota celkové (konečné) homogenizace ($T_{h_{tot}}$), teplota homogenizace CO_2 ($T_h\text{-CO}_2$), teplota tání CO_2 fáze ($T_m\text{-CO}_2$), teplota tání ledu ($T_{m_{ice}}$) a teplota tání klatrátu ($T_{m_{cla}}$), z kterých bylo možné vypočítat salinitu fluid. Složení, hustoty a izochory vodných inkluzí bez plynných složek byly spočítány pomocí programu FLINCOR s kalibrací podle Zhanga a Frantze (1987) a salinity FI byly vypočteny podle Bodnara (1993). Složení, hustoty a izochory vodných inkluzí s plynnými složkami byly počítány pomocí programu ICE s kalibrací podle Duana et al. (1996), pomocí programu ISOC Bakker (2003) a v programu FLINCOR s kalibrací podle Bowerse a Helgesona (1983).

Složení plynné fáze vybraných inkluzí bylo zjišťováno metodou Ramanovy spektroskopie na Ústavu molekulární a translační medicíny LF UP Olomouc. Analýza byla provedena 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) (analytik Dr. V. Mašek). Zastoupení jednotlivých plynných složek bylo vypočítáno z ploch píků postupem podle Burkeho (2001).

5 VLASTNÍ VÝZKUM

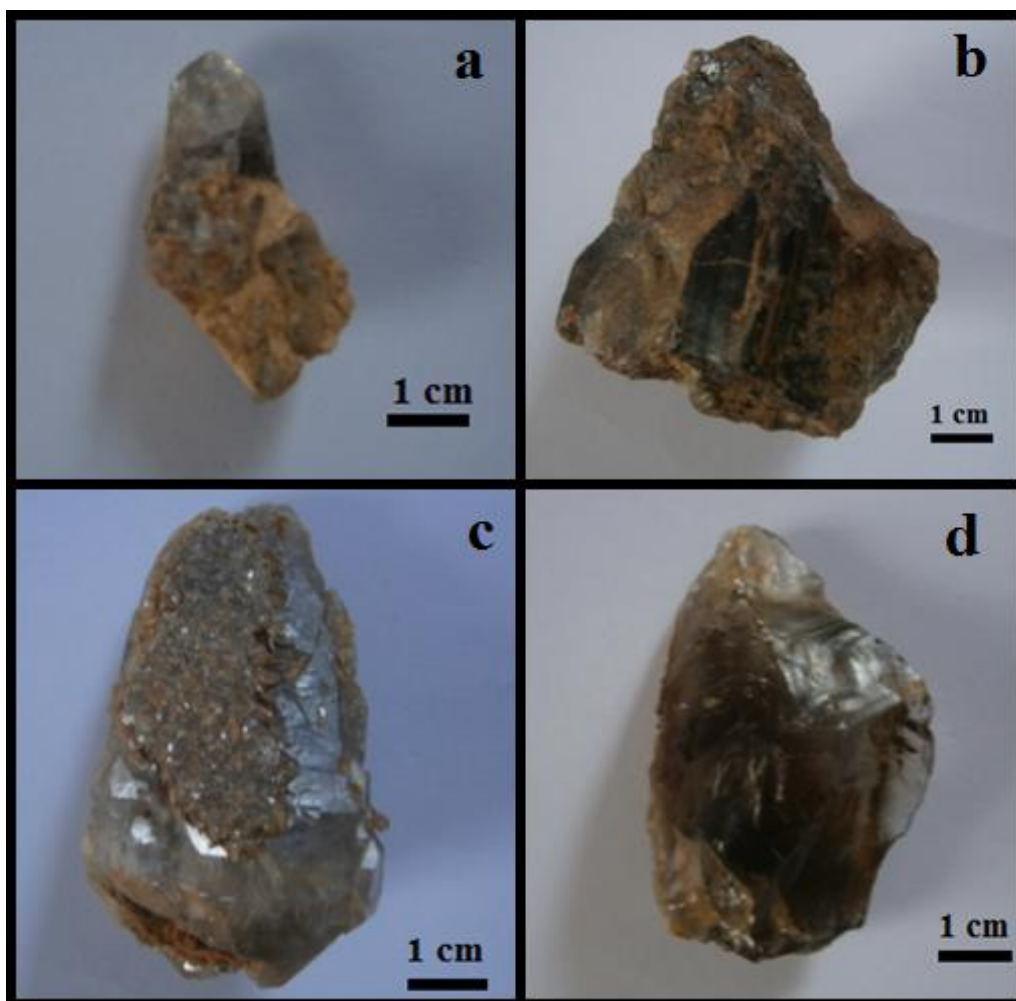
Mikrotermometrickému studiu byly podrobeny vzorky záhněd z dutinových pegmatitů ze dvou lokalit od Krásněvsi, a to z blízkého lomu a z pole. V lomu byly vzorky odebrány z dutin malých pegmatitových žil (mocnost v desítkách cm) protínajících migmatitizované pararuly. Vzorky z lokality, dále označované jako „pole“ (přesnou lokalizaci záměrně neuvádím), byly získány z kované sondy, která v hloubce cca 150-180 cm zastihla 10-15 cm mocnou pravou pegmatitovou žílu prorážející biotitické pararuly. V celé sondou zastiženou délce žíly byla přítomna směrná plochá dutina vystlaná krystaly albitu, korodovaného K-živce, křemene a muskovitu. Dutina poskytla větší množství záhněd šperkařské kvality, o velikosti prizmatických krystalů až 25 x 5 cm. Volné prostory mezi krystaly byly vyplněny žlutavým dutinovým jilem (Z. Dolníček, písemné sdělení 2013).

5.1. Makroskopický popis

Krystaly záhněd měly rozmanitý vzhled (obr. 5). Byly nepravidelného, sloupcovitého i pseudohexagonálního tvaru. Na některých prizmatických plochách bylo viditelné rýhování v horizontálním směru. Velikost krystalů byla od 2 do 22 cm. Jejich barva je kouřově hnědá a mají skelný lesk. Krystaly větších rozměrů měly až tmavě hnědé zbarvení. Na povrchu krystalů bylo možné vidět limonitizaci a šupinky muskovitu (obr. 5c). Mladší nárůstové zóny měly mléčně zakalené zbarvení a byly tvořeny podstatně menšími krystaly nepravidelných tvarů. Krystaly menších rozměrů byly dobře průhledné, naopak krystaly větších rozměrů a zakalené nárůstové zóny byly neprůhledné.

V asociaci se záhnědami se sporadicky vyskytovaly i krystaly skorylu a albitu (obr. 5a, b). Skoryly byly sloupcovitého tvaru s podélným rýhováním. Měly černou barvu a skelný lesk. Jejich velikost byla od 2,5 do 4,5 cm. Na krystalových plochách byly viditelné i drobné trhlinky v horizontálním směru. Albity tvořily tabulkovité a izometrické krystaly s dokonalou štěpností. Na povrchu měly nahnědlé zbarvení a skelný lesk. Jejich velikost byla maximálně do 2 cm.

Námi vybrané čtyři vzorky byly vhodné pro studium fluidních inkluzí. Například u vzorku pole 1 byly FI dokonce viditelné pouhým okem. Tento vzorek se lišil od ostatních i mladší nárůstovou zónou s tloušťkou do 2 mm, která měla mléčně zakalenou barvu.

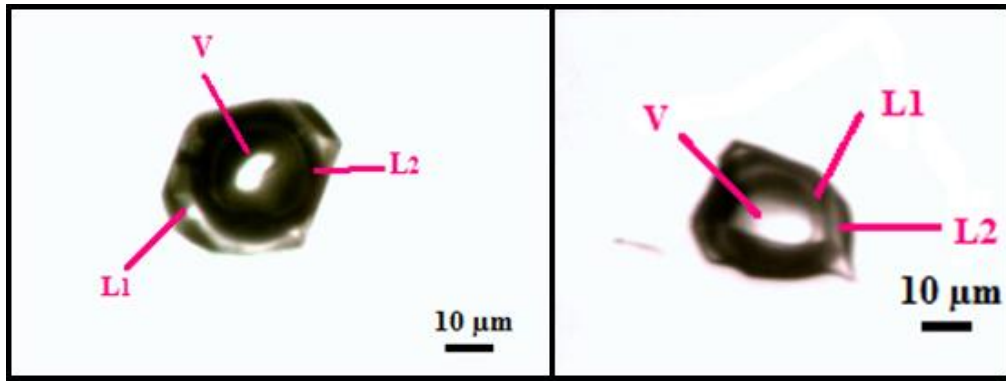


Obr. 5 Krystaly záhněd z dutinových pegmatitů od Krásněvsí – a) krystal záhnědy narůstající na krystal albitu z lokality lom; b) krystal záhnědy s krystalem skorylu z lokality lom; c) krystal záhnědy se šupinkami muskovitu z lokality pole; d) nepravidelný tvar krystalu záhnědy z lokality pole

5.2. Petrografie inkluzí

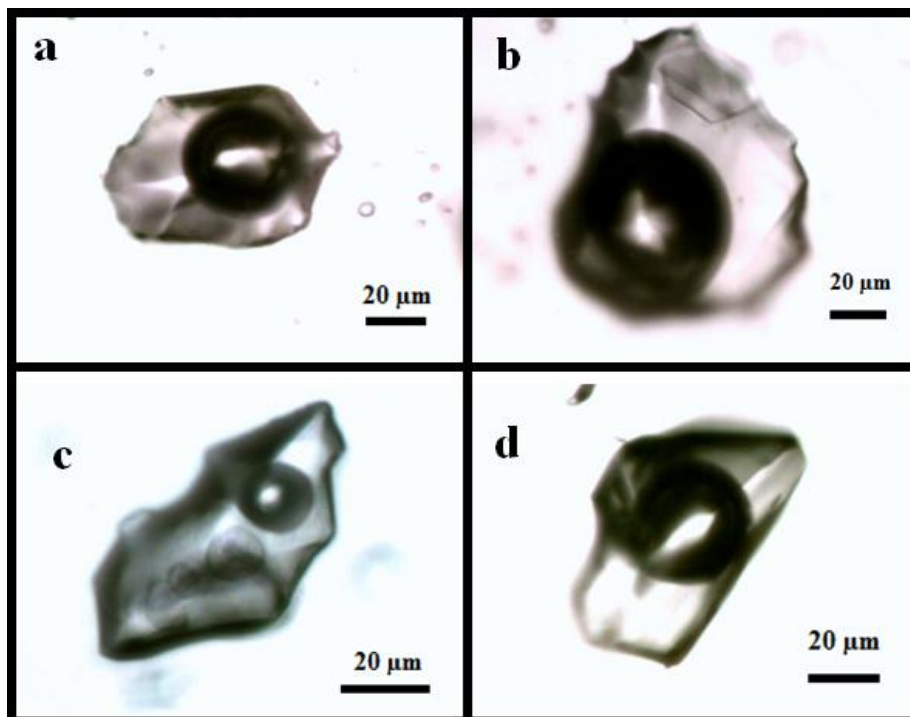
Ve všech zkoumaných vzorcích byly obsaženy všechny genetické typy inkluzí, tedy primární (P), pseudosekundární (PS) a sekundární (S) stanovené dle kritérií Zachariáše (2000). Obsahovaly pouze roztok (L) a plynnou fázi (V). U některých inkluzí bylo možné pozorovat i pevnou fázi, v těchto případech se však jednalo nejspíše o drobné šupinky slíd. Výskyt taveninových inkluzí nebyl prokázán.

V záhnědách se nejčastěji vyskytovaly primární a sekundární inkluze, méně často pak pseudosekundární inkluze. Z hlediska fázového složení převládaly dvoufázové (L+V) inkluze, sporadicky se vyskytovaly i trojfázové (L1+L2+V) inkluze se dvěma kapalnými a jednou plynnou fází, kde stupeň zaplnění F byl 0,50 (obr. 6).



Obr. 6 Primární trojfázové (L1+L2+V) inkluze z lokality pole 1 a 2 za pokojové teploty

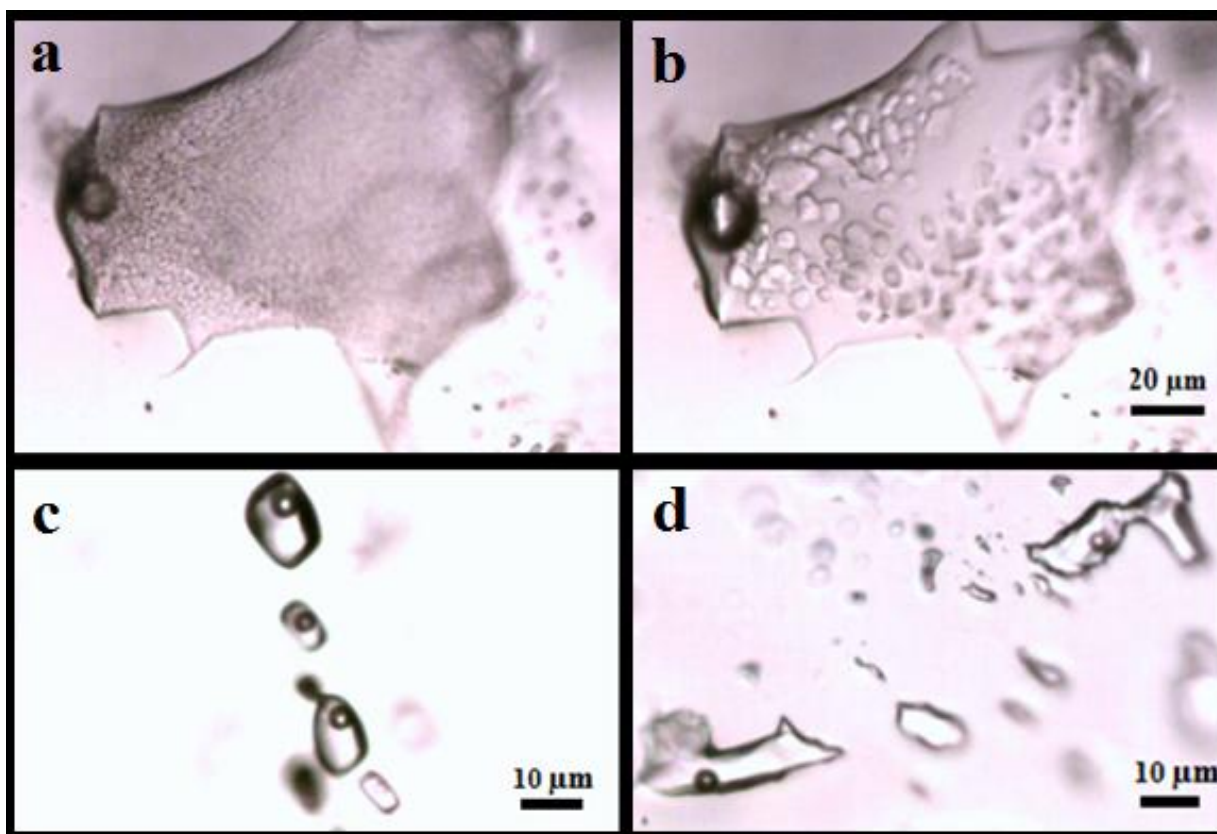
Primární inkluze jsou náhodně rozmístěny po celém krystalu a vyskytují se převážně soliterně, nebo vytváří drobné shluky. Jejich velikost se pohybuje od 50 µm do 90 µm, avšak na obou lokalitách bylo možné ojediněle pozorovat inkluze daleko větších rozměrů, které dosahovaly až 190 µm. Tvar inkluzí je velice variabilní od izometrických přes okrouhlé až po tzv. „negativní krystaly“. Stupeň zaplnění F se pohybuje v rozmezí od 0,70 do 0,50, ale ve vzorcích z lokality pole se vyskytovaly i inkluze se stupněm zaplnění F od 0,95 do 0,90 (obr. 7a, b, c, d).



Obr. 7 Primární dvoufázové (L+V) inkluze – a) fluidní inkluze z lokality lom vz. 1 za pokojové teploty; b) fluidní inkluze z lokality lom vz. 2 za pokojové teploty s pevnou fází (šupinka slídy); c) fluidní inkluze z lokality pole vz. 1 při roztávání krystalů ledu; d) fluidní inkluze z lokality pole vz. 2 za pokojové teploty

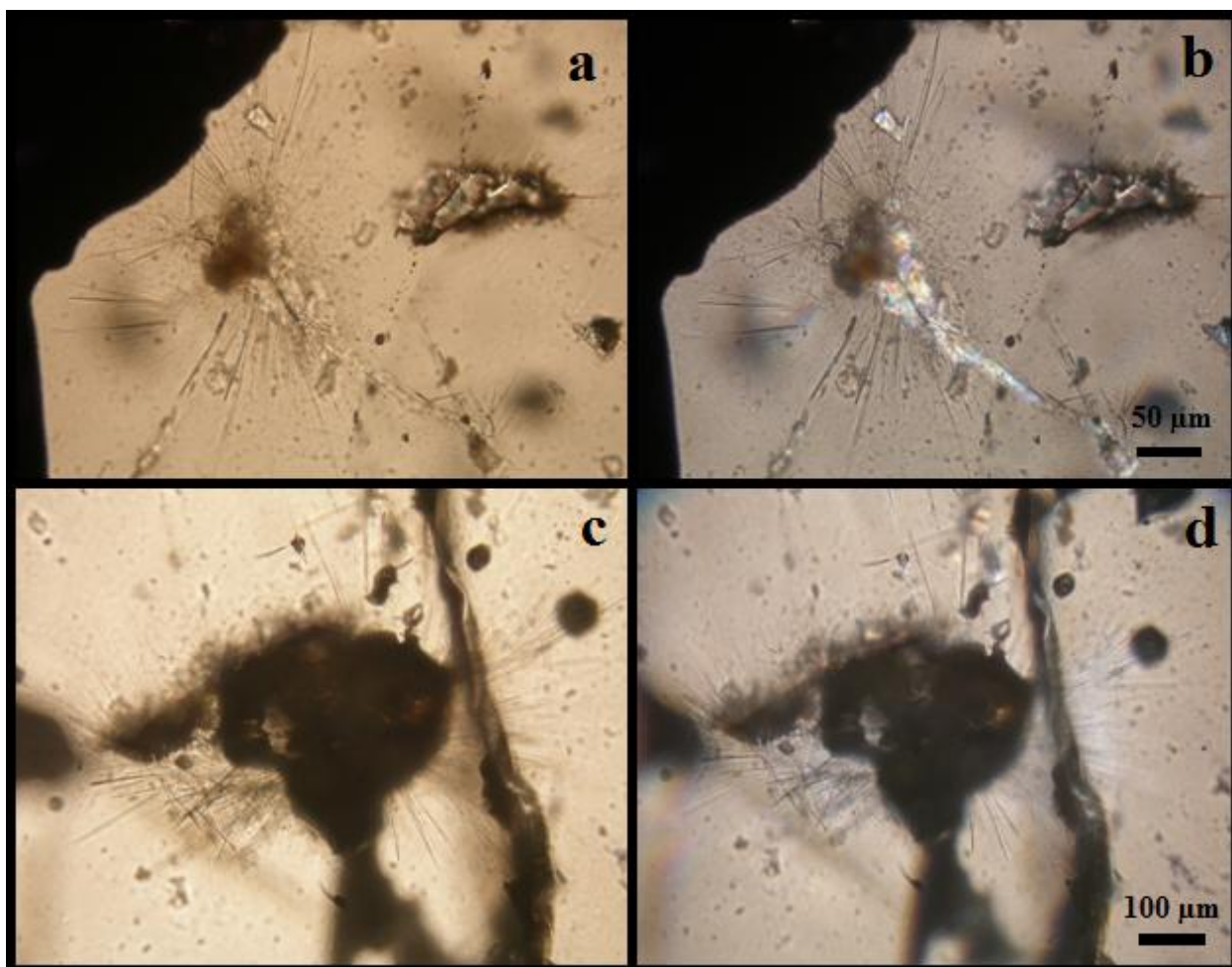
Pseudosekundární FI většinou tvořily drobné řádky, které nedosahovaly až k okraji zrna. Velikost inkluzí se pohybuje mezi 45-70 μm . Jejich tvar je protáhlý či oválný. Stupeň zaplnění F se pohybuje od 0,90 do 0,70.

Sekundární inkluze byly uspořádané na řádcích protínající celá zrna nebo vytvářely shluky na vyhojených trhlinách. Jejich velikost byla nejčastěji mezi 25-55 μm , avšak některé z nich dosahovaly až 130 μm (obr. 8a, b). Tvarově jsou velmi rozmanité. FI z lokality lom jsou spíše nepravidelné až izometrické s četnými výběžky. Naopak FI ve vzorcích z lokality pole mají tvar měňavkovitý, ale i oválný až pravidelný (obr. 8c, d). Sekundární FI se hojně vyskytovaly i v mladším nárůstu ve vzorku z lokality pole 1, ale tvarově ani velikostně se nelišily od ostatních vzorků. U tohoto typu inkluzí převažoval stupeň zaplnění F 0,95-0,90.



Obr. 8 Sekundární dvoufázové (L+V) inkluze – a) fluidní inkluze z lokality pole vz.1 – mladší nárůst při teplotě zamrznutí (-53,1 °C); b) fluidní inkluze z lokality pole vz.1 – mladší nárůst při roztávání krystalů ledu c) fluidní inkluze z lokality pole vz. 1 za pokojové teploty; d) fluidní inkluze z lokality pole vz. 2 za pokojové teploty

Při petrografickém zkoumání destiček byly ve vzorku lom 2 objeveny jehlicovité fáze (obr. 9), které se při studiu v procházejícím světle vzhledem k velmi malé tloušťce jehliček nepodařilo blíže specifikovat.



Obr. 9 Neidentifikované jehlicovité fáze ve vzorku lom 2 – a), c) v PPL; b), d) v XPL

5.3. Mikrotermometrie

Postupným měřením bylo zjištěno, že se na obou lokalitách nachází jak vodné systémy, tak i vodné inkluze s plynnými složkami. FI vodných systémů byly všech genetických typů a vyskytovaly se mnohem častěji než vodné FI s plynnými složkami. Inkluze s plynnými složkami byly převážně jako dvoufázové (L+V). Pouze šest inkluzí bylo trojfázových (L1+L2+V). Obojí se vyskytovaly převážně soliterně a na různých růstových zónách, jedná se tedy o odlišné generace.

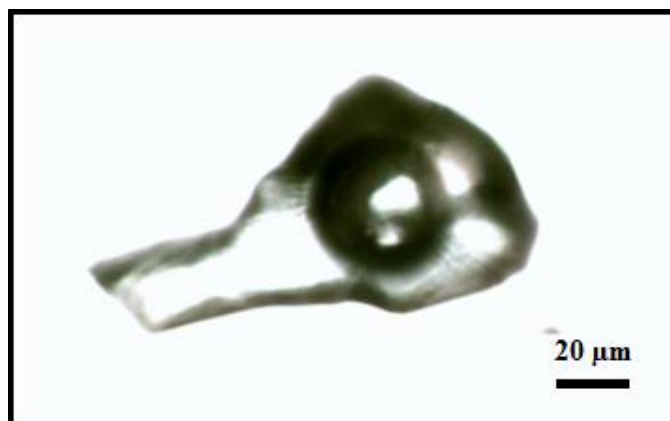
5.3.1. Vodné systémy bez plynných složek

Výsledky mikrotermometrických měření pro vodné systémy bez plynných složek jsou uvedeny v tab. 1.

lokality vzorek č.	geneze	fázové složení	Th ₁ (°C)	T _f (°C)	Te (°C)	T _m -ice (°C)	salinita (hm.%NaCl)
Lom 1	P/PS	L+V	241-364	-32,7 až -38,4	-14,9 až -22,4	-1,6 až -3,4	2,7-5,6
	S	L+V	118-170				
Lom 2	P/PS	L+V	327-359	-28,4 až -38,1	-19,3 a -24,3	-1,7 až -3,1	2,9-5,1
	S	L+V	122-171				
Pole 1	P/PS	L+V	163-218	-41,1 až -49,7	-34,1 až -40,3	-4,9 až -6,7	7,7-10,1
	S	L+V	151-194				
Pole 1 ml.	S	L+V	147-181			-5,6 až -7,8	8,7-11,5
Pole 2	P/PS	L+V	178-374	-35,4 až -53,1	-18,9 až -39,2	-2,4 až -5,1	3,9-7,9
	S	L+V	89-165				

Tab. 1 Výsledky mikrotermometrických dat pro vodné systémy bez obsahu plynných složek

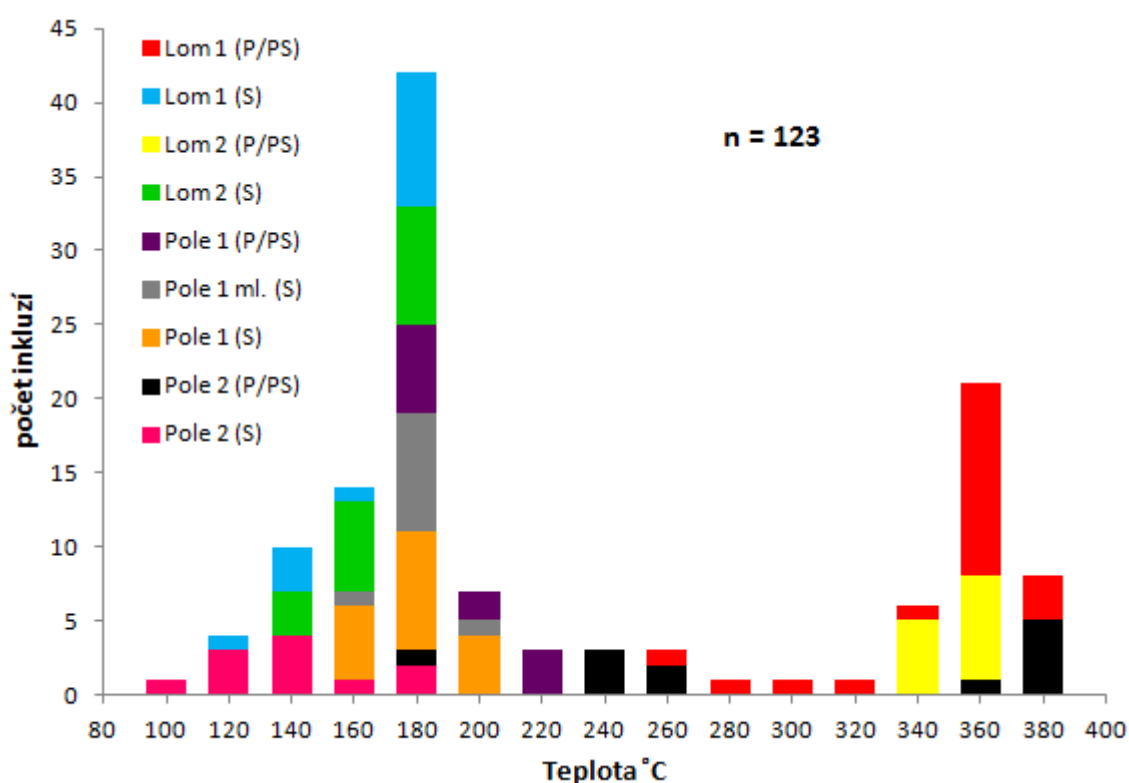
Vodné fluidní inkluze ve vzorcích z lomu zamrzaly v rozsahu teplot -28,4 až -38,4 °C. Vymrznutí FI bylo dobře viditelné a nejčastěji se projevovalo granulární strukturou pevných fází, ale i deformací plynné bubliny (obr. 10).



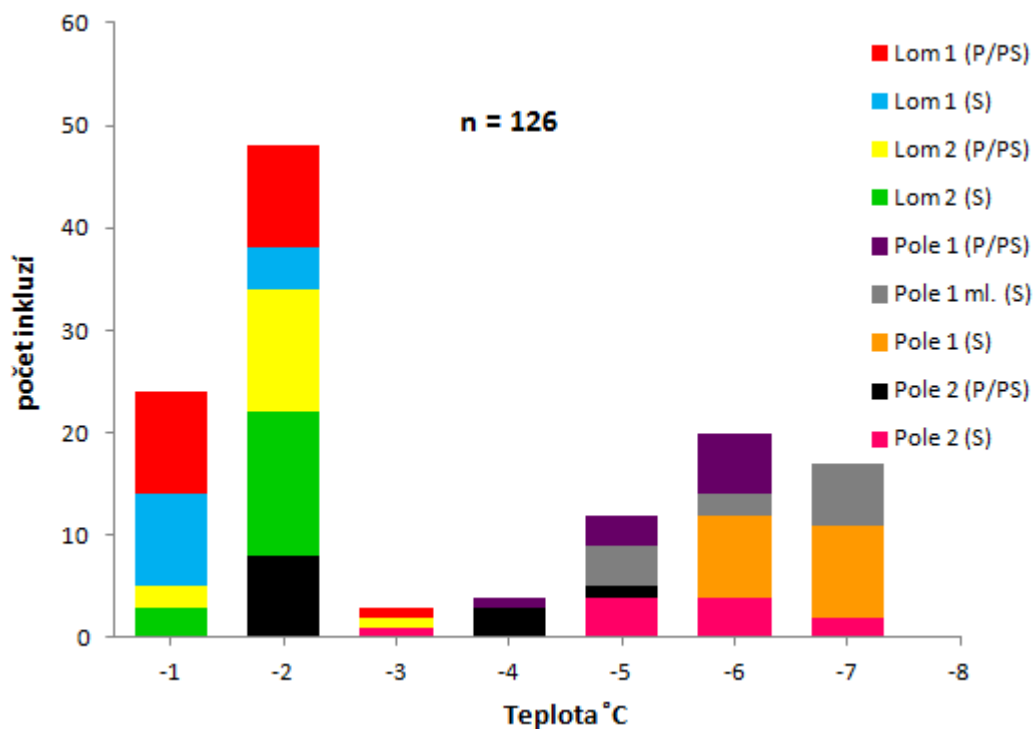
Obr. 10 Primární fluidní inkluze (L+V) z lokality lom při teplotě zamrznutí (-38,4 °C)

Ve vzorku lom 1 homogenizují primární a primárně-sekundární FI v širším rozsahu teplot (241-364 °C), naopak u vzorku lom 2 mají tyto teploty daleko menší rozsah, od 327 do 359 °C (obr. 11). Podle teploty tání posledního ledu (T_m; tab. 1, obr. 12) -1,6 až -3,4 °C byla stanovena salinita 2,7-5,6 hm. % NaCl ekv. (Bodnar, 1993). Sekundární inkluze mají nižší homogenizační teploty od 118 do 171 °C. Teplota tání posledního ledu (T_m) je v rozmezí -1,3 až -2,7 °C, což odpovídá salinitě 2,2-4,5 hm. % NaCl ekv. (tab. 1).

Ve vzorcích pole 1 a pole 2 vodné FI zamrzaly nejčastěji v intervalu -35,4 až -53,1 °C. Zmrzlé inkluze měly převážně granulární strukturu (obr. 8a). Rozsah homogenizačních teplot u primárních a primárně-sekundárních inkluzí je větší, a to od 163-374 °C. Tyto inkluze však nejvíce spadají do intervalu od 180 do 260 °C (obr. 11). Teplotám tání ledu od -2,4 až -6,7 °C (tab. 1) odpovídá salinita 3,9-10,1 hm. % NaCl ekv. podle Bodnara (1993). Sekundární inkluze homogenizují za teplot 89-194 °C. Jako poslední fáze taje led od -3,2 až -7,3 °C, což odpovídá salinitě 5,3-11,5 hm. % NaCl ekv. (Bodnar, 1993). Sekundární FI z mladší nárůstové zóny ve vzorku pole 1 vykazují podobné jak homogenizační teploty v intervalu od 147 do 181 °C, tak i teploty tání ledu od -5,6 do -7,8 °C (obr. 11, 12).

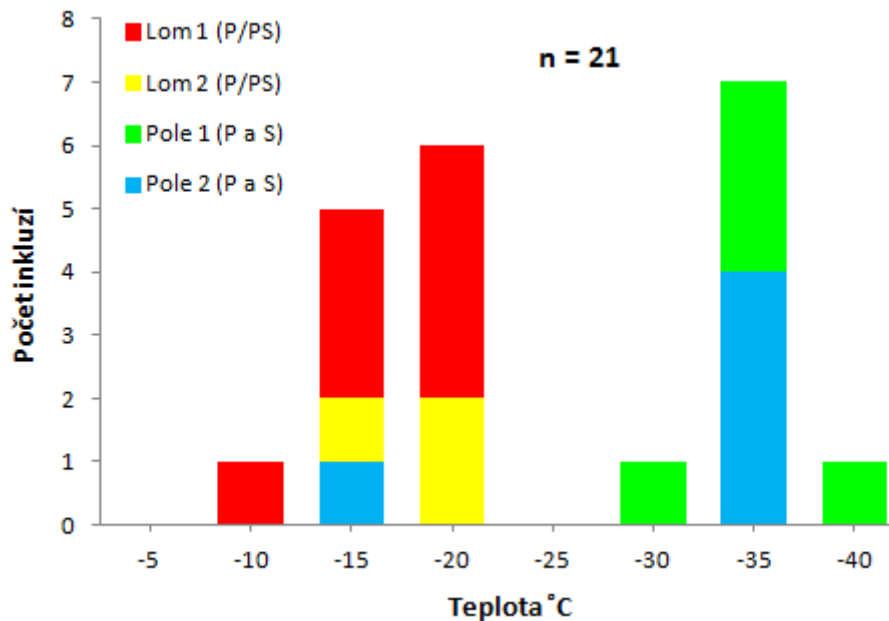


Obr. 11 Histogram homogenizačních teplot



Obr. 12 Histogram teplot tání ledu

Na obou lokalitách se podařilo u všech genetických typů inkluzí naměřit teploty eutektika (T_e), kdy se objevuje první kapalina. Naměřené hodnoty T_e v inkluzích ve vzorcích z lomu vykazují rozsah eutektických teplot od $-14,9$ do $-24,3$ °C. Naopak ve vzorcích z pole u vodných roztoků převažovaly hodnoty T_e v rozmezí od $-34,1$ do $-40,3$ °C, jen u jedné primárně-sekundární FI byla T_e vyšší, $-18,9$ °C (obr. 13).



Obr. 13 Histogram eutektických teplot

5.3.2 Vodné inkluze s plynnými složkami

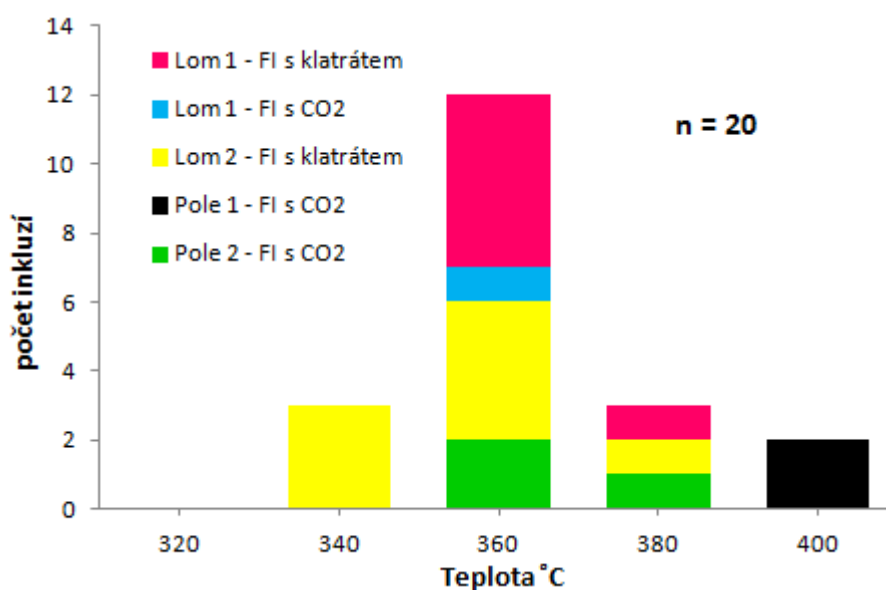
Inkluze s obsahem plynů se vyskytují sporadicky společně s vodnými inkluzemi. Výsledky mikrotermometrických měření inkluzí s obsahem plynů jsou uvedeny v tab. 2.

lokalita vzorek č.	Lom 1	Lom 2	Pole 1	Pole 2
geneze	P	P/PS	P	P
fáz.složení	L+V, L1+L2+V	L+V	L1+L2+V	L1+L2+V
Tf-CO ₂ (°C)				-95 až -100
Th-tot (°C)	348-371 (L) 353 (V)	330-361 (L)	397 a 398 (V)	354-365 (V)
Th-CO ₂ (°C)			25,3 a 25,5 (V)	26,1-27,3 (V)
Tm-CO ₂ (°C)	-58,8		-57,8 a -58,2	-57,3 až -58,6
Tm-ice (°C)	-2,2 až -3,4	-1,9 až -4,2		-3,5 až -4,2
Tm-cla (°C)	6,1 - 10,8	7,6 - 11,2 -2,7 a -2,9	6,8 a 7,0	9,4-9,8
Te (°C)	-19,3 a -24,8	-22,7		

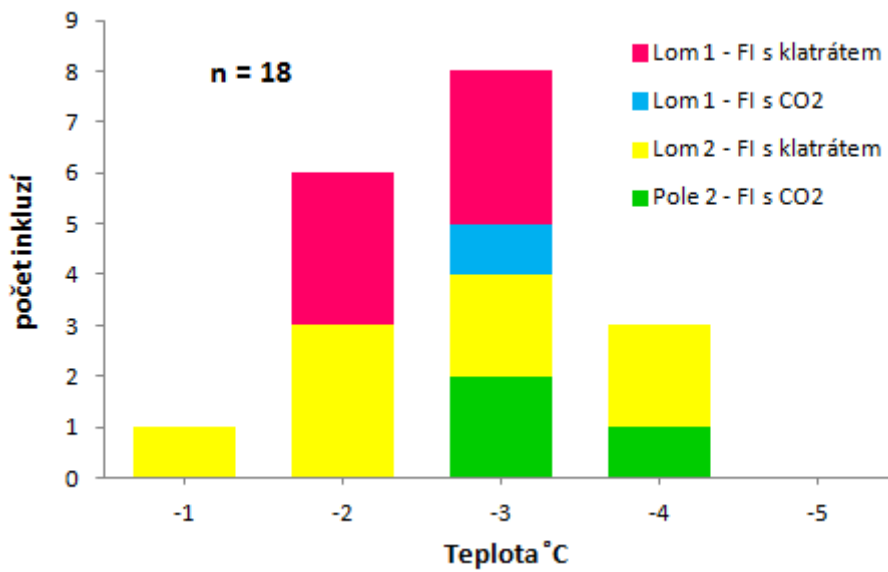
Tab. 2 Výsledky mikrotermometrie pro inkluze s plynnými složkami

V obou vzorcích z lomu se vyskytují primární a primárně-sekundární dvoufázové inkluze (L+V) s mikrotermometricky detekovatelnou příměsí plynů. Tyto inkluze homogenizovaly na kapalinu (T_{hL}) v rozsahu 330-371 °C (obr. 14). Teplota tání ledu (T_m) je v rozmezí -1,9 až -4,2 °C (obr. 15). Jako poslední pevná fáze tál klatrát za teplot od 6,1 do 11,2 °C (T_{m-cla}), což odpovídá salinitě 3,1-4,5 hm. % NaCl ekv. (Duan et al. 1996). Dvě FI ze vzorku lom 2 vykazovaly nižší hodnoty teplot tání klatrátu než ledu, a to -2,7 a -2,9 °C (obr. 16), zatímco led v nich tál při teplotách -2,4 a -2,5 °C. U tří inkluzí se podařilo změřit i teplotu eutektika (tab. 2; obr. 13). V jediné trojfázové inkluzi (L1+L2+V) bylo možné pozorovat teplotu tání pevného CO₂ při teplotě -58,8 °C. Dále tál led za teploty -3,3 °C a jako poslední pevná fáze tál klatrát za teploty 9,1 °C. Nepodařilo se zachytit parciální homogenizaci CO₂ na plyn. Teplota celkové homogenizace (T_{h-tot}) byla 353 °C.

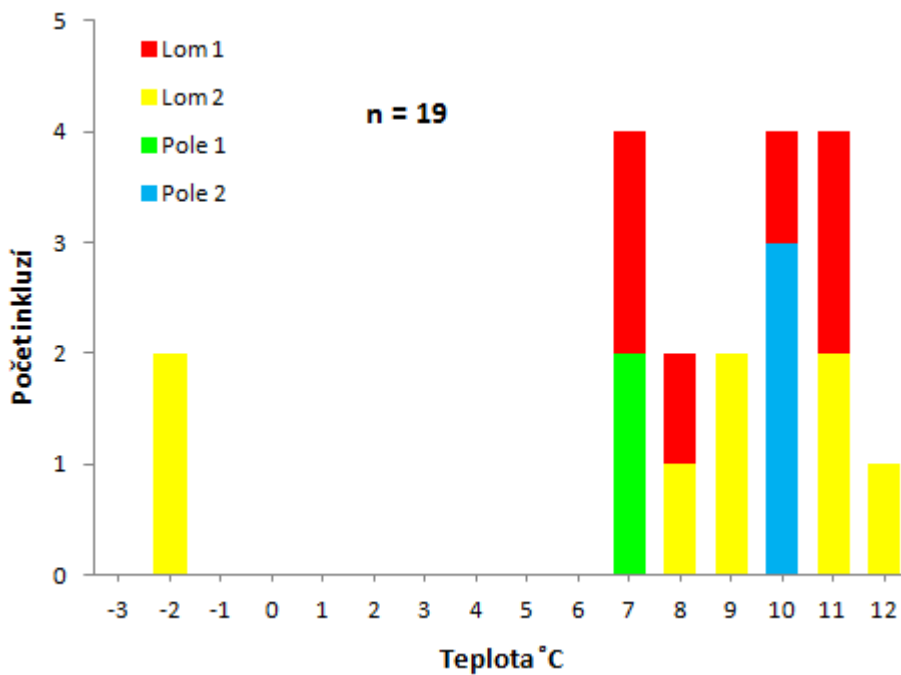
Ve vzorcích z lokality pole byly zjištěny pouze primární trojfázové inkluze (L1+L2+V). CO₂ fáze v těchto inkluzích zamrzala okolo -95 až -100 °C, to se projevovalo vznikem granulární struktury pevného CO₂. Následným zahříváním došlo k tání pevného CO₂, jež nastalo při teplotách od -57,3 do -58,6 °C. Teploty tání ledu se pohybovaly od -3,5 do -4,2 °C (obr. 15), jako poslední pevná fáze tál klatrát v rozmezí 6,8 až 9,8 °C, což značí salinitu 0,4-6,1 hm. % NaCl ekv. Teplota parciální homogenizace CO₂ na plyn vykazuje rozsah 25,3-27,3 °C. Teplota celkové homogenizace (na plyn) byla ve vzorku pole 1 nejvyšší (397 a 398 °C; tab. 2, obr. 14). Teplotu eutektika se zde nepodařilo zachytit.



Obr. 14 Histogram celkových teplot homogenizací pro vodné inkluze s plynnými složkami



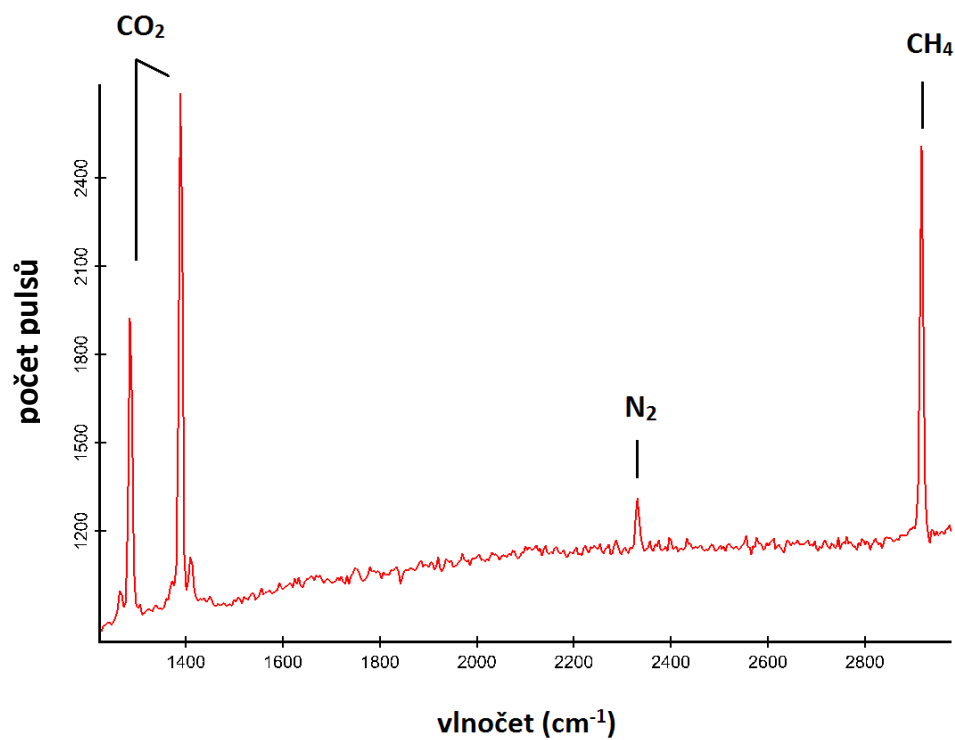
Obr. 15 Histogram teplot tání ledu pro vodné inkluze s plynnými složkami



Obr. 16 Histogram teplot tání klatrátu

5.4. Ramanova spektroskopie

Chemické složení plynů bylo stanoveno z naměřeného Ramanova spektra (obr. 17) pro jednu primární plynem bohatou inkluzi ze vzorku lom 2. Největší zastoupení má oxid uhličitý (87 mol. %), dále se zde v malém množství vyskytuje dusík (7 mol. %) a metan (6 mol. %).



Obr. 17 Ramanovo spektrum pro primární plynem bohatou inkluzi ze vzorku lom 2

6 DISKUZE

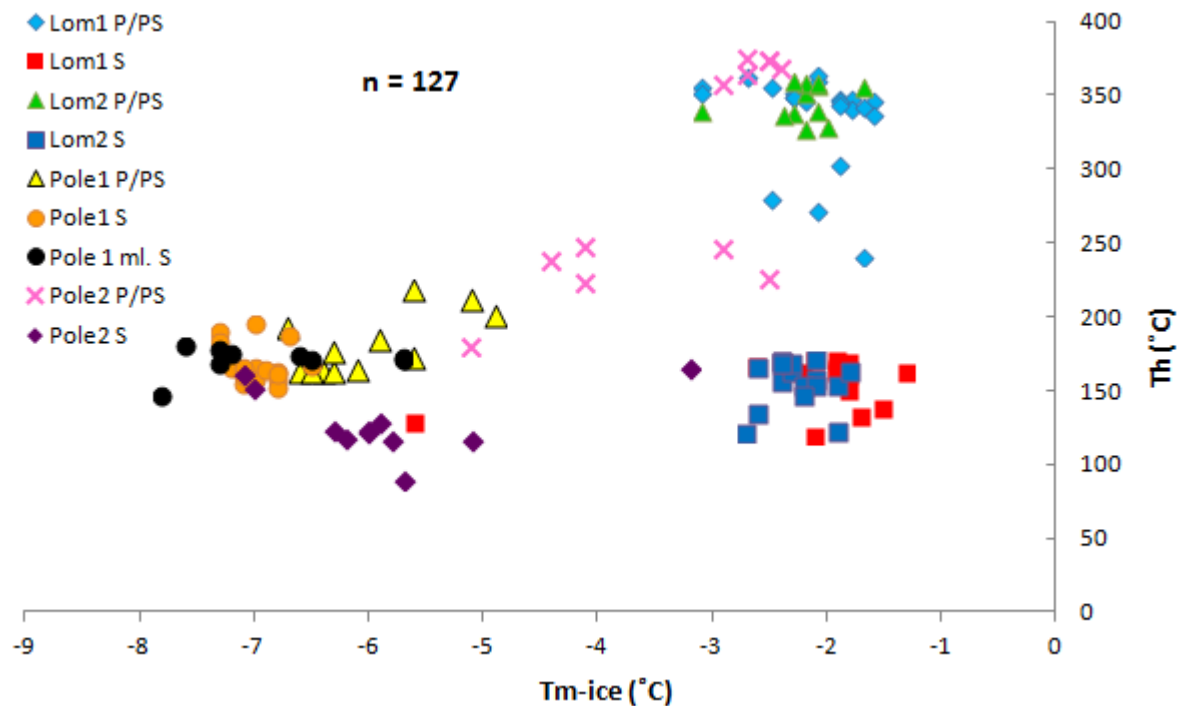
6.1. Chemické složení fluid

Na základě naměřených mikrotermometrických dat a pomocí metody Ramanovy spektroskopie byly v inkluzích z obou lokalit od Krásněvsi rozlišeny vodné systémy bez plynných složek a s plynnými složkami.

Vodné FI ve vzorcích z lomu mají eutektické teploty v rozsahu od $-14,9$ do $-24,3$ °C, což značí solný systém $H_2O-NaCl$. U vzorků z pole vykazovaly primární a sekundární FI teploty eutektika nižší hodnoty v rozmezí od $-34,1$ do $-40,3$ °C, které indikují solný systém $H_2O-NaCl-FeCl_2$ nebo $H_2O-NaCl-MgCl_2$. Pouze u jedné primárně-sekundární inkluze se podařilo naměřit T_e vyšší, $-18,9$ °C, lze tedy předpokládat i přítomnost solného systému $NaCl$. Podle teplot tání poslední pevné fáze (T_m-ice) byla stanovena salinita pro lokalitu lom 2,2-5,6 hm. % $NaCl$ ekv. a pro lokalitu pole 3,9-11,5 hm. % $NaCl$ ekv. Jedná se tedy o roztoky nízkosalinní až středněsalinní. Z obr. 12 lze vidět, že vodné roztoky z lokality pole mají vyšší salinitu než je tomu u vzorků z lomu.

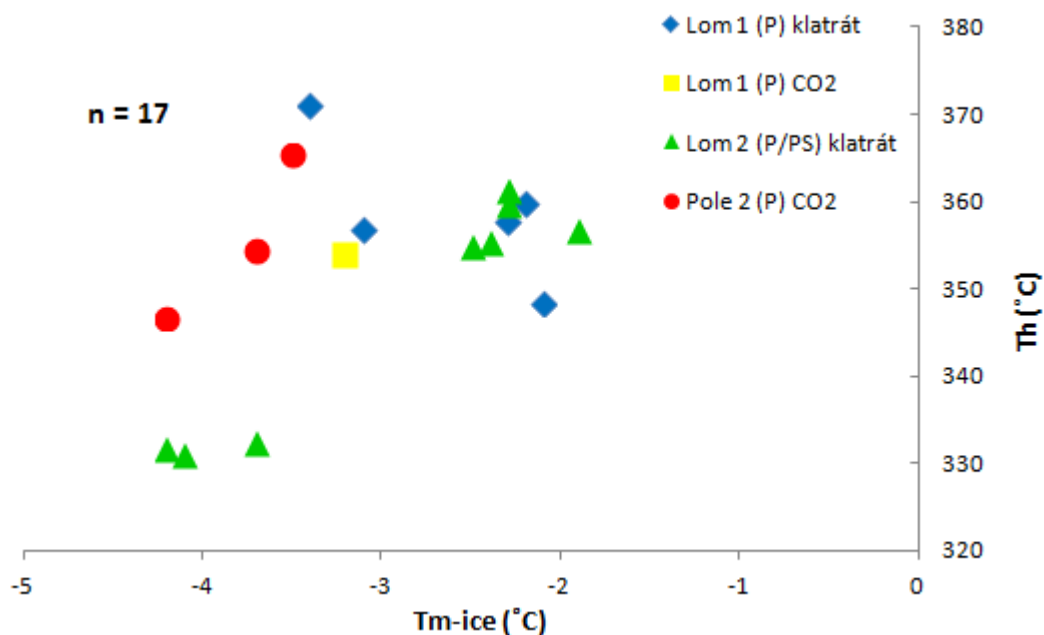
Homogenizační teploty P a PS inkluzí ve vzorcích z obou lokalit se pohybují v širokém intervalu. Teploty homogenizace a teploty tání ledu byly vyneseny do grafu (obr. 18). Pro primární a primárně-sekundární inkluze z lokality lom je patrný trend, kde se během vzniku neměnila teplota ani tlak. Jedná se o vysokoteplotní, nízkosalinní fluida. U sekundárních inkluzí je velmi podobný trend, jen se jedná o nízkoteplotní, nízkosalinní roztoky. Z lokality pole primární a pseudosekundární inkluze značí trend, kde se mísí dva roztoky (vysokoteplotní/nízkosalinní a nízkoteplotní/středněsalinní). V případě sekundárních inkluzí na této lokalitě pravděpodobně došlo k míchání dvou roztoků s odlišnou teplotou a salinitou.

Eutektická teplota u vodných systémů s příměsí plynů se podařila naměřit jen u třech inkluzí, jejichž hodnota značí přítomnost $NaCl$. Jedna primární inkluze (L+V) s přítomností klatrátu byla podrobena Ramanovské analýze, již byl v plynné fázi zjištěn oxid uhličitý s příměsí metanu a dusíku. Tyto inkluze jsme definovali jako systém $H_2O-NaCl$ -plyny. Naměřené mikrotermometrické údaje odpovídají 89,5-92,2 mol. % vody, 4,7-7,4 mol. % oxidu uhličitého, 0,2-0,5 mol. % metanu, 0,2-0,6 mol. % dusíku a 0,8-1,3 mol. % $NaCl$. Salinita vodného roztoku odpovídá 3,1-4,5 hm. % $NaCl$ ekv. Byly zde vypočítány také hodnoty molárního objemu fluida 34,8-36,0 cm^3/mol .



Obr. 18 Diagram závislosti T_h a T_{m-ice} pro vodné systémy bez plynných složek

Primární trojfázové inkluze (L1+L2+V) byly zjištěny na obou lokalitách. Nepodařilo se ani u jedné naměřit teplotu eutektika. Pevný CO_2 tál od $-58,8$ do $-57,3$ °C, tyto nižší hodnoty může způsobovat příměs dalších plynů (např. CH_4 , N_2) (Zachariáš, 2000). Za předpokladu, že se jedná o systém $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$, byla spočítána salinita z teplot tání klatrátu 0,4-6,1 hm. % NaCl ekv. Z naměřených mikrotermometrických parametrů bylo vypočítáno následující chemické složení: 88,9-90,2 mol. % vody, 9,3-9,6 mol. % oxidu uhličitého a 0,1-1,7 mol. % NaCl. Hustota CO_2 fáze je 0,248-0,258 g/cm³. Celkový molární objem fluida je 32,9-34,9 cm³/mol. Teploty celkové homogenizace a teploty tání ledu byly vyneseny do diagramu (obr. 19). Z malého množství naměřených dat lze vidět alespoň patrné náznaky trendů. Pro primární a primárně-sekundární FI s přítomností klatrátu lze předpokládat mísení dvou roztoků, které se nelišily až tak teplotou, ale spíše salinitou. U primárních trojfázových (L1+L2+V) inkluzí s plynným i kapalným CO_2 se patrně jedná o vysokoteplotní/nízkosalinní fluida.



Obr. 19 Diagram závislosti T_h a T_{m-ice} pro vodné systémy s plynnými složkami

6.2. Srovnání s dosavadními poznatky

V pegmatitech z Vlastějovic byly zjištěny vodné systémy, u kterých nebyla naměřena teplota eutektika (Ackerman et al. 2007). Vyskytují se zde primárně-sekundární a sekundární FI. Pseudosekundární FI zkoumané ve fluoritu byly rozděleny na dvě podskupiny – nízkosalinní/vysokoteplotní a středněsalinní, nízko/středně teplotní. Námi naměřené hodnoty u primárních a primárně-sekundárních inkluzí z lokality lom korelují se skupinou nízkosalinních, vysokoteplotních inkluzí. Salinita u sekundárních inkluzí je velmi podobná našim naměřeným parametrům, jen teploty homogenizaci zde mají větší rozptyl než naše teploty homogenizací. Nelze však vyloučit společný původ fluid.

Fuksová a Dolníček (2012) se zabývali studiem FI v křemeni a turmalínu z primitivních turmalinických pegmatitů, kde popisují také přítomnost systémů $H_2O-NaCl-FeCl_2$ a $H_2O-NaCl-MgCl_2$. Komplexní chloridové systémy $H_2O-NaCl\pm CaCl_2\pm KCl\pm FeCl_2\pm MgCl_2$ byly popsány i v křišťálech z deluviofluviálních sedimentů ve Sklené nad Oslavou a Rousměrově (Halavínová a Přichystal, 2008). Salinita ani teploty homogenizací nejsou v rozporu s námi naměřenými hodnotami, lze tedy konstatovat, že se jedná o obdobný původ fluid.

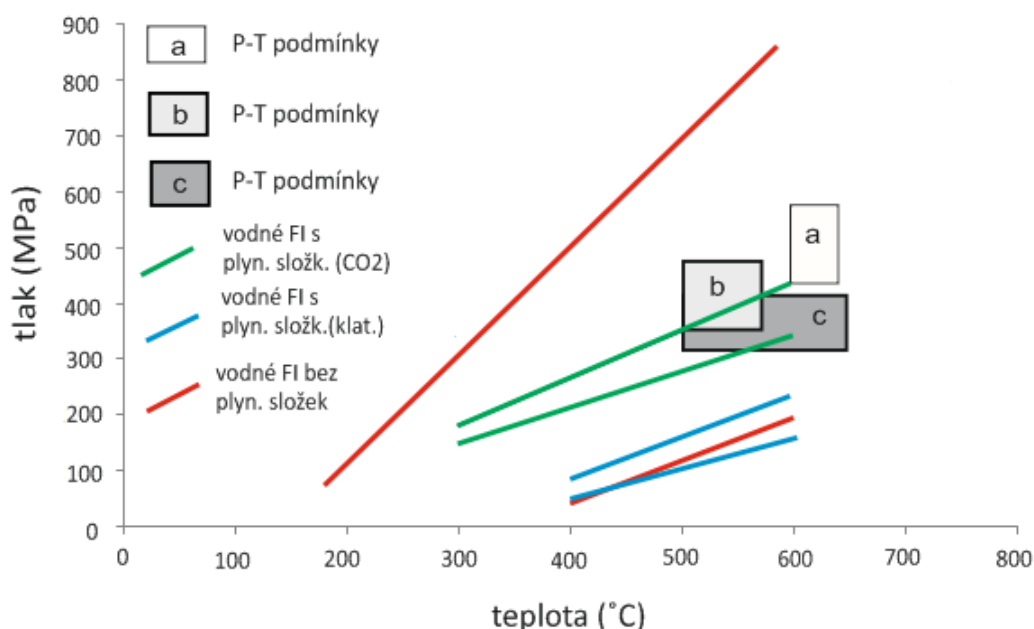
Přítomnost plynů CO_2 a N_2 byla zjištěna u primárních a primárně-sekundárních inkluzí z jeskyně Žitný a Nová Dědina (Staněk a Plch, 1977). Teploty homogenizací jsou v širokém rozptylu a to neodpovídá našim naměřeným hodnotám. Přítomnost plynů CO_2 , N_2 a CH_4 byla

pomocí Ramanovy spektroskopie zjištěna i v inkluzích z křišťálů z deluviofluviálních sedimentů v Brtnici (Halavínová a Přichystal, 2008). Teploty homogenizací mají opět nižší hodnoty.

Trojfázové (L1+L2+V) inkluze, které obsahovaly vodný roztok, kapalný a plynný CO₂ ve svých pracích popisují Cempírek et al. (2010), Fuksová a Dolníček, (2012), Halavínová a Přichystal, (2008), Ackerman et al. (2007). Nízké teploty tání pevného CO₂ nasvědčující menší příměsi metanu nebo dusíku byly popsány v křemenu v pegmatitu bohatém na bezvodé borosilikáty (Cempírek et al. 2010) a v lithném pegmatitu z Vlastějovic (Ackerman et al. 2007). Tyto inkluze s CO₂ svými termometrickými parametry korelují s námi naměřenými hodnotami, mohlo by se tedy jednat o stejný původ fluid.

6.3. P-T podmínky

Fluidní inkluze ve všech studovaných vzorcích vykazují stálé fázové poměry, lze tedy předpokládat zachycení inkluzí z homogenního fluida. Pro stanovení reálných P-T podmínek by bylo zapotřebí použití nezávislých termometrů či barometrů. Získaná data můžeme porovnat s již publikovanými údaji o P-T podmínkách pegmatitové krystalizace a podmínkách vzniku dutinových pegmatitů (obr. 20). Publikované P-T podmínky pegmatitové krystalizace a vzniku dutinových pegmatitů korelují s námi sestrojenými izochorami.



Obr. 20 P-T diagramy s vynesnými krajními izochorami. Pole (a) znázorňuje P-T podmínky pegmatitové krystalizace pro primitivní pegmatity (Ackerman et al. 2007). Pole (b) znázorňuje P-T podmínky pegmatitové krystalizace pro lithné pegmatity (Ackerman et al. 2007). Pole (c) znázorňuje P-T podmínky vzniku dutinových pegmatitů (Gadas et al. 2012)

7 ZÁVĚR

Na obou lokalitách od Krásněvsi byly popsány ve fluidních inkluzích vodné systémy bez plynných složek a s plynnými složkami.

Pro vodné FI bez plynných příměsí byly stanoveny systémy $\text{H}_2\text{O-NaCl}$, $\text{H}_2\text{O-NaCl-FeCl}_2$ či $\text{H}_2\text{O-NaCl-MgCl}_2$. Z Th-Tm diagramu je patrné, že na vzniku se podílelo více typů fluid, které byly na zkoumaných lokalitách odlišné. U inkluzí z lokality lom se během vzniku neměnila teplota ani tlak. Jedná se o vysokoteplotní/nízkosalinní a nízkoteplotní/nízkosalinní fluida. Starší generace FI vznikala za podstatně vyšších teplot než mladší generace. Docházelo tedy k postupnému ochlazení. Na lokalitě pole naopak došlo k míchání roztoků, které se lišily teplotou i salinitou (vysokoteplotní/nízkosalinní a nízkoteplotní/středněsalinní).

U vodných dvoufázových (L+V) FI s plynnými složkami byla Ramanovou spektroskopií potvrzena přítomnost CO_2 s příměsí N_2 a CH_4 . Vyskytovaly se zde i trojfázové (L1+L2+V) FI s vodným roztokem, plynným i kapalným CO_2 . Na vzniku se podílely vysokoteplotní, nízkosalinní fluida.

Publikované P-T podmínky pegmatitové krystalizace a vzniku dutinových pegmatitů jsou ve shodě s průběhem sestrojených izochor.

8 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.
- Bakker, R. J. (2003): Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties. – *Chem. Geol.*, 194, 3–23.
- Bodnar, R.J. (1993): Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. – *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 57, 683 – 684.
- 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.
- Brown Ph. E. (1989): FLINCOR: A fluid inclusion data reduction and exploration program (abstr.). Second biennial Pan-American conference on research on fluid inclusions, program with abstracts, 14.
- 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.
- Dolníček Z., Malý K. (2003): Základní charakteristika fluid z křemenné žíly od Budče (moldanubikum). – *Geol. Výzk. Mor. Slez. v r. 2006*, 14, 66-68, Brno.
- 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.
- 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.
- 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.
- Fuksová A., Dolníček Z. (2012): Fluidní inkluze v primitivních turmalinických pegmatitech z lomu Bory u Velkého Meziříčí (strážecké moldanubikum) – předběžné výsledky. - *Sborník referátů Moravskoslezské paleozoikum 2012*. – PřF UPOL Olomouc, 10-12.

- Gadas P., Novák M., Staněk J., Filip J., Vašinová Galiová M. (2012): 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*, pp. 67-73. Vyd. Ústav geologických věd PřF MU a Moravské zemské muzeum.
- Holub F., Cocherie A., Rossi P. (1997): Radiometric dating of granitic rocks from the Central Bohemian Plutonic Complex (Czech Republic): constraints on the chronology of thermal and tectonic events along the Moldanubian-Barrandian boundary. - *C. R. Acad. Sci.*, 325, 19-26.
- Cháb J., Breiter 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*. Česká geologická služba. Praha.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stránil Z. (2002): *Geologická minulost České republiky*. Academia. Praha.
- Kříbek B., Hájek A. (eds.) (2005): *Uranové ložisko Rožná, Model pozdně variských a povariských mineralizací*. – Česká geologická služba. Praha. 98p.
- Medaris G., Wang H., Jelínek E., Mihaljevič M., Jakeš P. (2005): Characteristics and origins 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.

- Owen J.V., Dostal J. (1996): Prograde metamorphism and decompression of the Gföhl gneiss, Czech Republic. – *Lithos*, 38, 259-270.
- Staněk J. (1999): Záhřeby z dutinových pegmatitů západní Moravy. – *Minerál*, 7, 1, 16-18.
- Staněk J., Plch M. (1981): Mineralogie der Mährischen Paläolithischen Bergkristallindustrie und Beitrag zur Lösung ihrer Provenienz. – *Scripta 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.
- Verner K., Žák J., Nahodilová R. (2008): Magmatic fabrics and emplacement of the cone-sheet-bearing Knížecí Stolec durbachitic pluton (Moldanubian unit, Bohemian Massif): implications for mid-crustal reworking of granulitic lower crust in the Central European Variscides. – *Int. J. Earth Sci.*, 97, 19-33.
- Vrána S., Blümel P., Petrakakis K. (1995): Moldanubian Zone: metamorphic evolution. - In: Dallmeyer D., Franke W., Weber K. (eds.): *Pre-Permian geology of the central and western Europe*. Springer, Berlin, pp 453–466.
- Zachariáš J. (2000): Úvod do studia plynokapalných inkluzí. - Karolinum, 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.

URL: <http://www.sberatelmineralu.cz/> (adresa platná k 1. květnu 2013)