

Alterace petalitu z pegmatitu v Nové Vsi u Českého Krumlova (Česká republika)

Alteration of petalite from pegmatite in Nová Ves near Český Krumlov (Czech Republic)

Jiří ZIKEŠ

Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno

ZIKEŠ J. (2013) Alterace petalitu z pegmatitu v Nové Vsi u Českého Krumlova (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 21, 1, 84-88. ISSN 1211-0329.*

Abstract

The study of alteration products of petalite ($\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$) from granitic pegmatite in Nová Ves near Český Krumlov (Czech Republic) shows that petalite disintegrates into fine-grained aggregate of spodumene ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) + quartz (SiO_2) following the equation $\text{Pet} \rightarrow \text{Spd} + 2\text{Qtz}$. Apart from spodumene and quartz no other products of the alteration have been found except for small inclusions of petalite mostly in quartz. They could be a relic of the primary petalite or a newly formed petalite II. The mineral assemblage and textural relation establish a pressure-temperature path for the crystallization of the Nová Ves petalite, and estimated pressure of the pegmatite crystallization is approximately 2 - 2.5 kbar, which corresponds with the depth of about 6 - 7 km. The suggested pressure-temperature path for crystallization was compared with data published for the pegmatites: Tanco, SE Manitoba, Harding, New Mexico, Bikita, Zimbabwe, and Covas de Barroso, Portugal.

Key words: lithium-bearing pegmatite, petalite, spodumene, alteration, Nová Ves near Český Krumlov, Czech Republic

Obdrženo: 29. května 2013; přijato: 21. června 2013

Úvod

Předmětem této práce je studium fázových přeměn petalitu z pegmatitu v Nové Vsi u Českého Krumlova. Novoveský pegmatit byl objeven a popsán v 50. letech 20. století a z mineralogického hlediska patří k nejvýznamnějším a nejzajímavějším pegmatitům v rámci celého Českého masivu. Poprvé z něho byl na našem území popsán minerál mikrolit (Čech, Staněk 1960) a je světovou typovou lokalitou pro minerál darrellhenryit ze skupiny turmalínu (Novák et al. 2012).

Petalit, jehož výskyt je vázán právě na granitické pegmatity, respektive na jejich nejvíce frakcionované typy, na komplexní Li pegmatity, je lithný aluminosilikát $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$, jenž vzniká zpravidla jako primární minerál. Často u něj dochází již během raného subsolidu k přeměně na směs drobně až hrubě zrnitého spodumenu a křemene. Tento proces je zdokumentován z řady světových lokalit Li pegmatitů (např. Černý, Ferguson 1972; Černý 1975; London, Burt 1982; Chakoumakos, Lumpkin 1990).

V rámci předložené práce byl proveden terénní průzkum lokality a sběr vzorků vhodných pro studium. Cílem bylo analyzovat vzorky na elektronové mikrosondě a identifikovat produkty alterace petalitu. Na základě výsledků analýzy pak stanovit podmínky, za kterých novoveský pegmatit vznikl a porovnat podmínky vzniku novoveského pegmatitu s podmínkami na jiných světových lokalitách.

Geologická situace

Novoveský pegmatit je situován v areálu zemědělského družstva na jv. okraji obce Nová Ves (okres Český Krumlov), asi 15 km z. od Českých Budějovic a 15 km s.

od Českého Krumlova (obr. 1).

Skalní podklad zájmového území tvoří granulitový masív Blanského lesa náležící ke gföhlské jednotce šumavské části moldanubika. Vedle granulitů se zde hojně vyskytují menší tělesa serpentinitů, amfibolitů a eklogitů. Vlastní pegmatit je žilné těleso směru SZ - JV o délce asi 85 m a celkové mocnosti 20 - 21 m (Novák 1981), které proniká okolním serpentinitem (obr. 2).

Pegmatit má výraznou zonální stavbu, ve které Grym (1975) rozlišil od okraje do středu následující jednotky: granitická jednotka, grafická jednotka, muskovit-albitová jednotka, albit-lepidolitová jednotka a jádro tvořené blokovým K-živcem a petalitem (obr. 3). Jednotky se liší jak minerálním (chemickým) složením, tak texturou a velikostí zrn. U novoveského pegmatitu chybí křemenné jádro, které je jinak pro granitické pegmatity typické.

Pegmatit v Nové Vsi zařadil Novák (2005) k petalitovému subtypu, resp. k přechodu mezi lepidolitovým a petalitovým subtypem. Jeho vnitřní stavba, mineralogie a chemické složení minerálů se velmi podobá lepidolitovým pegmatitům, od kterých se liší nižší aktivitou F, takže vedle lepidolitu vznikl také petalit. Relativně hojný výskyt pollucitu dokladuje vysoký stupeň jeho frakcionace (Novák 2005). Radiometrické datování columbitu poskytlo věk 325 ± 2 Ma (Melleton et al. 2012).

Mineralogie novoveského pegmatitu

Novoveský pegmatit obsahuje běžné minerály pegmatitů: křemen, plagioklas, K-živec, granát, muskovit, biotit a apatit.

Z lithných aluminosilikátů je nejhojnější petalit, který je vázán výhradně na blokovou zónu. Jeho zrna dosa-

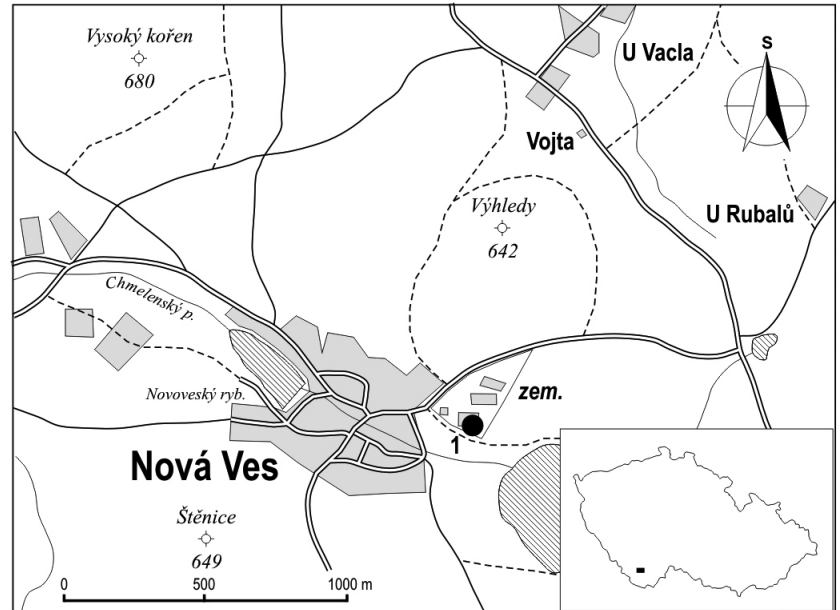
hují velikosti až 25 x 15 cm (Welser et al. 2007) a jsou buď čirá se skelným leskem, nebo jsou přeměněná na jemnozrnné zemité agregáty, které částečně nebo úplně zatlačují původní petalitová zrna. Spodumen se vyskytuje jako žlutobílé křemen-spoduménové agregáty (SQI), ve kterých je přítomen v podobě drobných jehlicovitých krystalů jako produkt sekundární přeměny petalitu (Welser et al. 2007).

Lepidolit se vyskytuje ve dvou typech. Prvním typem, v pegmatitu převažujícím, je růžový až fialový lepidolit v podobě žilek a šupinatých nebo celistvých agregátů, který je svým složením blízký trilithionitu. Druhým typem je bezbarvý hrubozrnný lupenitý lepidolit bohatý Cs a Rb, jehož složení je blízké polyolithionitu (Welser et al. 2007).

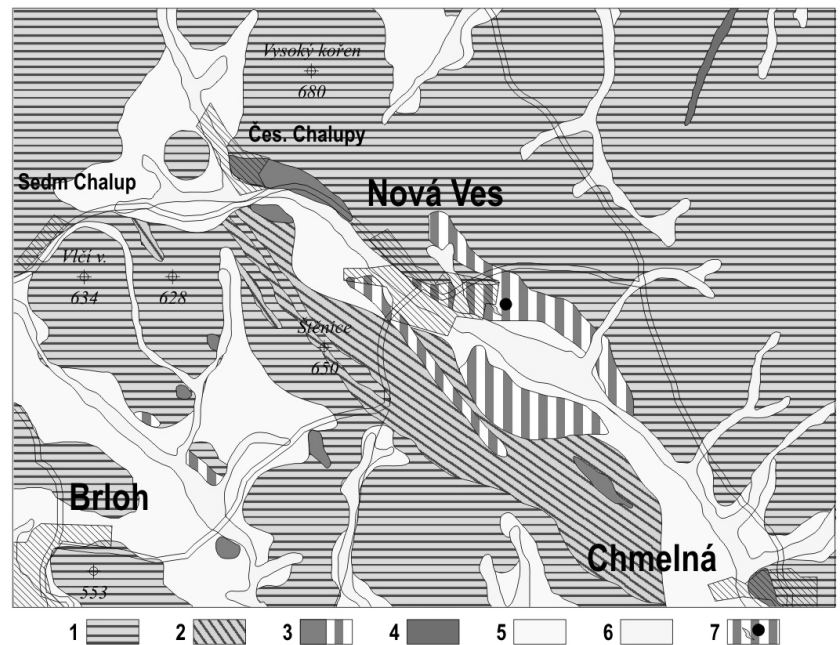
Z turmalínů je běžný skoryl a elbait a fluor-elbait (rubelit, verdelit, indigolit). Poprvé na světě byl z novoveského pegmatitu popsán nový minerál ze skupiny turmalínu darrellhenryit (Novák et al. 2012), pro který je Nová Ves typovou lokalitou a je na lokalitě poměrně hojný. Darrellhenryit tvoří sloupcovité krystaly růžové barvy podobné rubelitu v albit-lepidolitové jednotce, kde se vyskytuje společně s cleavelanditem, polyolithionitem a pollucitem.

Amblygonit-montebrazit se vyskytuje nejméně ve dvou generacích (Welser et al. 2007). Starší amblygonit vznikl jako součást lithné fáze blokové jednotky spolu s petalitem, mladší je spojen se vznikem lepidolitu. Štěpná bělavá zrna amblygonitu nepřesahují velikost 3 cm.

V asociaci s namodralým cleavelanditem, bezbarvým polyolithionitem a darrellhenryitem se vyskytuje pollucit jako produkt nejvyššího stupně geochemické frakcionace pegmatitu. Tvoří bezbarvá nebo bělavá zrna a zrnité agregáty do velikosti max. 25 cm (Welser et al. 2007). V albit-lepidolitové jednotce se vyskytuje beryl

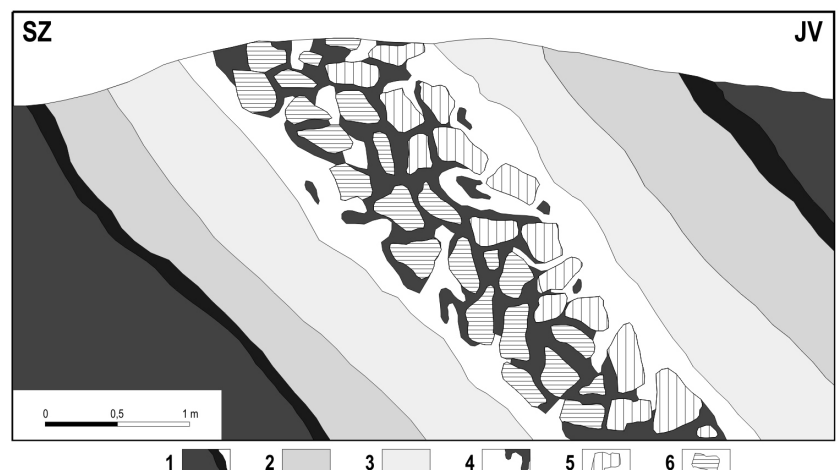


Obr. 1 Topografická situace zájmového území. 1 - pozice Li-pegmatitu v Nové Vsi.



Obr. 2 Geologická situace zájmového území (podle Kodyma et al. 1982). Legenda: 1 - granulit; 2 - pararula; 3 - serpentinit; 4 - žilný syenit; 5 - svahová hlína, písek; 6 - nivní sediment; 7 - Li-pegmatit.

Obr. 3 Idealizovaný příčný řez Li-pegmatitem v Nové Vsi (podle Gryma 1975). Legenda: 1 - serpentinit s flogopitovým reakčním lemem; 2 - granitický pegmatit; 3 - hrubozrnný pegmatit místy s grafickými srůsty K-živce a křemene; 4 - albit-lepidolitový pegmatit (tmavě šedý lepidolit); 5 - blokový živce; 6 - blokový petalit.



v podobě krátce sloupcovitých krystalů a izometrických zrn. Je buď bezbarvý nebo zelenožlutý. Dalším silikátem Be v novoveském pegmatitu je vzácný milarit, který tvoří agregáty jehlicovitých až dlouze sloupcovitých krystalů hexagonálního průřezu dosahujících délky až 7 mm. Na albit-lepidolitovou jednotku je vázán také výskyt dalších vzácnějších minerálů jako jsou kasiterit, zirkon, mikrolit a minerály skupiny columbitu. Kasiterit vystupuje v podobě hnědočerných zrn nebo tabulek do 2 cm. Zirkon tvoří zrna nebo dipyramidální krystaly do 2 mm hnědé barvy. Mikrolit, který byl poprvé na území naší republiky popsán právě z pegmatitu v Nové Vsi (Čech, Staněk 1960), tvoří žlutohnědá zrna a oktaedrické krystaly do 5 mm. Minerály skupiny columbitu v podobě černých, kovově lesklých tabulkovitých krystalů do 30 mm odpovídají svým chemickým složením columbitu-(Fe) až columbitu-(Mn) (Weiser et al. 2007).

Studované vzorky a metodika výzkumu

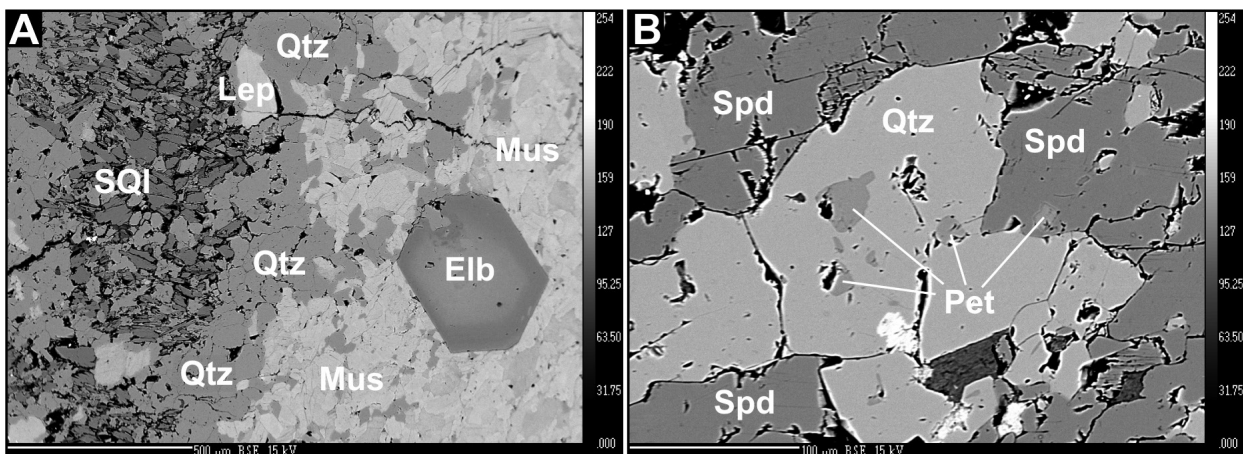
Studovány byly dva vzorky petalitu odebrané na lokalitě v roce 2007 při jejím otevření Jihočeským mineralogickým klubem u příležitosti 50. výročí objevení pegmatitu. Protože celá lithná část pegmatitu byla v podstatě již v minulosti odtěžena sběrateli, vzorky byly získány ze sutě, kterou byla jáma po pegmatitu zavezená. Prvním vzorkem je agregát šedofialového lepidolitu o rozměrech 8 x 6 cm se zrnky bělavého petalitu o velikosti do 3 cm. Petalit makroskopicky neporušený zůstal zachován pouze v centrální části zrn, po okrajích zrn je petalit přeměněn na jemnozrnnou zemitou hmotu. Druhým vzorkem je agregát o rozměrech 5 x 5 cm obsahující šedofialový lepidolit, zrna křemene do 1 cm, růžové turmalíny a protažené zrna petalitu o rozměrech 4 x 1 cm. I v tomto případě je petalit přeměněn na jemnozrnnou zemitou hmotu. Ze vzorků byly zhotoveny výbrusy označené I a II.

Vzorky byly analyzovány na elektronové mikroskopy Cameca SX100, na společném pracovišti Ústavu geologických věd, PřF MU a ČGS v Brně. Urychlovací napětí

- 15 kV a proud svazku 10 nA, průměr svazku 5 μm (turmalín), 3 μm (petalit a spodumen) a 4 μm (slídy a ostatní minerály). Byly použity následující standardy: spessartin (Si, Al, Mn), sanidin (K), albit (Na), wollastonit (Ca), almandin (Fe), pyrop (Mg), gahnit (Zn), Ni_2SiO_4 (Ni), chromit (Cr), titanit (Ti), fluorapatit (P), vanadinit (Cl), topaz (F), baryt (Ba) SrSO_4 (Sr) a ScVO_4 (V). Načítací časy byly 10 s pro hlavní prvky a 20 - 40 s pro minoritní a stopové prvky.

Výsledky

Vzorek I se ukázal pro studium vzájemných vztahů zkoumaných minerálů jako nevhodný, protože obsahoval pouze velmi jemnozrnnou směs minerálů, které vznikly polyfázovým zatlačením petalitu. Převládaly K-živce, místy se zvýšeným obsahem Ba, dále vzácný baryt, Ba-zeolity, které nebyly podrobněji studovány, a jílové minerály. Proto byl podrobněji zkoumán jen vzorek II (obr. 4). Slídy jsou ve vzorku II zastoupeny lepidolitem a muskovitem. Lepidolit tvoří anhedrální zrna, muskovit jemnozrnné agregáty zatlačované křemenem (obr. 4A). Turmalín tvoří euhedrální zrna hexagonálního průřezu uzavřená v jemnozrnném muskovitu. Jeho chemické složení je blízké fluor-elbaitu. Je koncentricky zonální, přičemž směrem do středu přibývá Fe (z 0.44 na 1.22 hm. %) na úkor Al (z 16.33 na 15.40 hm. %). Prokazatelně primární petalit nebyl zjištěn, jeho inkluze se vyskytují hlavně v křemeni, výjimečně ve spodumenu (obr. 4B). Jeho průměrné chemické složení je uvedeno v tabulce 1 a výrazně se neliší od údajů publikovaných v literatuře pro petalit z jiných lokalit (London, Burt 1982). Spodumen vystupuje v jemnozrnném agregátu společně s křemenem (SQI). Hranice s anhedrálními zrnky křemene je ostrá. V některých případech spodumen uzavírá inkluze petalitu (obr. 4B). Průměrné chemické složení spodumenu z Nové Vsi je uvedeno v tabulce 1 a odpovídá publikovaným údajům (Filip et al. 2006).



Obr. 4 BSE fotografie zachycující vztahy mezi spodumenem (Spd), petalitem (Pet), fluor-elbaitem (Elb), lepidolitem (Lep), muskovitem (Mus) a křemenem (Qtz). BSE mikrofoto R. Škoda. Na obr. A je zachycen agregát spodumenu a křemene po petalitu (SQI), lepidolit, křemen, muskovit a zonální fluor-elbait. Na obr. B je zachycen agregát spodumenu a křemene po petalitu. Petalit je přítomen v malých reliktech hlavně v křemeni.

Tabulka 1 Průměrné chemické složení petalitu a spodumenu z Nové Vsi v hm. %

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
petalit	79.37	16.24	0.01	0.00	0.02	0.1	0.02
spodumen	66.04	27.20	0.01	0.03	0.00	0.07	0.02

Diskuse

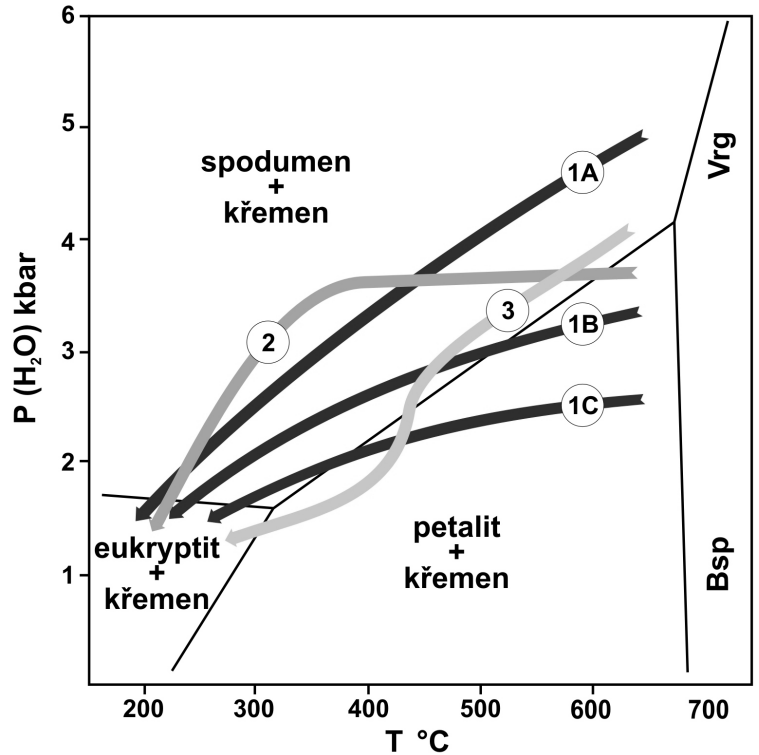
Přeměnu petalitu na spodumenu v pegmatitu v Nové Vsi popsal poprvé Čech a Staněk (1958). Výzkum v rámci této práce potvrdil výskyt sekundárního spodumenu v podobě jemnozrného spodumen-křemenného agregátu (SQI), který jako typický produkt alterace petalitu vzniká podle rovnice $\text{Pet} \rightarrow \text{Spd} + 2\text{Qtz}$. Kromě spodumenu nebyl zjištěn žádný jiný produkt alterace petalitu. Drobné inkluze petalitu v křemeni a spodumenu (obr. 4B) mohou reprezentovat relikty původního petalitu, nebo se může jednat o nově tvořený petalit II. Ve druhém případě by to znamenalo, že hranice mezi polem stability petalitu a spodumenu není ostrá, ale její pozice závisí také na aktivitě SiO_2 (Krivovičev 2004). Náhlý pokles tlaku (obr. 5, P - T dráha 3), kterým vysvětlili vznik petalitu po vykrystalizování spodumenu Charoy et al. (2001) u pegmatitu v Covas de Barroso, není v případě novoveského pegmatitu pravděpodobný. Nepravděpodobná je i retrogradní přeměna spodumenu na petalit za nízkých teplot a tlaků, kterou popsal London (1984).

Na základě posloupnosti krystalizace Li-aluminosilikátů petalit I \rightarrow spodumen + petalit II lze navrhnout P - T dráhu krystalizace novoveského pegmatitu (obr. 6). To, zda jako primární aluminosilikát v pegmatitu vznikne petalit nebo spodumen, je funkcí hlavně tlaku, respektive hloubky umístění pegmatitu. Při teplotě pegmatitové taveniny v okamžiku umístění 550 - 650 °C a odhadované teploty krystalizace taveniny bohaté Li produkující petalit I asi 400 - 450 °C (London 2008) je petalit stabilní za tlaků nižších než 2.0 - 2.5 kbar. To odpovídá maximální hloubce asi 6 - 7 km, ve které novoveský pegmatit krystalizoval. Po určitou dobu docházelo k izobarickému chladnutí a petalit zůstával stabilní (obr. 6, A). Po dosažení reakční hranice $\text{Pet} \rightarrow \text{Spd} + 2\text{Qtz}$ začal vznikat spodumen (obr. 6, B). Pokud nejsou inkluze petalitu v křemeni relikty petalitu I, kolísání aktivity SiO_2 , způsobené například otevřením systému, vedlo k posunu reakce $\text{Pet} \rightarrow \text{Spd} + 2\text{Qtz}$ k nižším teplotám a v omezené míře mohl vzniknout petalit II (obr. 6, C). Následovalo utužnutí pegmatitu a jeho výdvih. Vzhledem k tomu, že poli stability petalitu odpovídají relativně nízké teploty a tlaky, petalit zůstává stabilní i po utužnutí a výdvižení pegmatitu (London 1984). Nicméně, problém inkluzí petalitu v křemeni vyžaduje další studium.

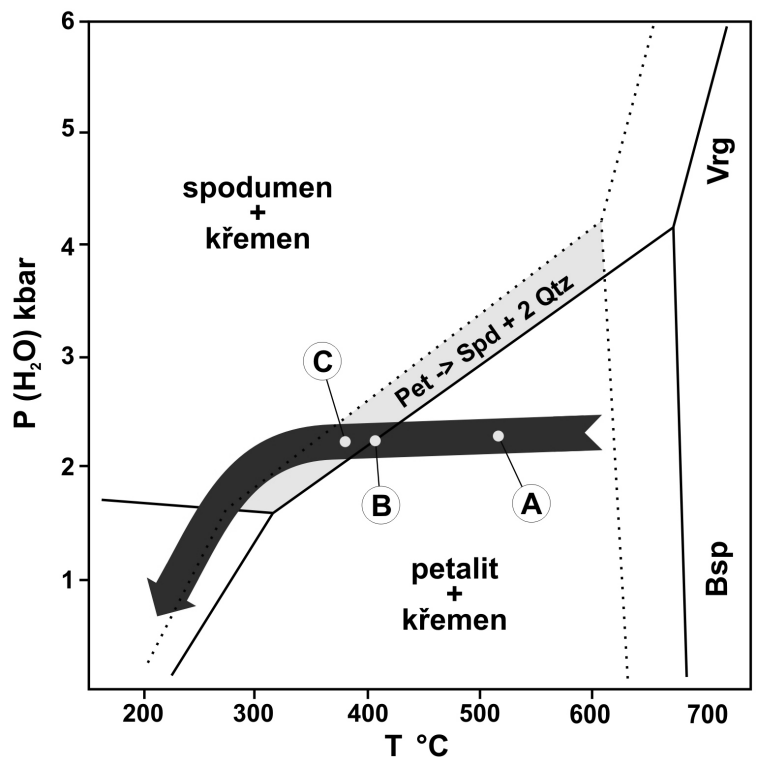
Závěr

Primárním lithným aluminosilikátem vyskytujícím se v pegmatitu z Nové Vsi u Českého Krumlova je petalit. To svědčí o tom, že novoveský pegmatit krystalizoval za nižších tlaků (<~2.5 kbar) odpovídajících hloubce asi 6 - 7 km.

Studium ukázalo, že se v průběhu chladnutí pegmatitu menší část petalitu přeměnila



Obr. 5 Publikované P - T krystalizační dráhy některých pegmatitů. 1A - Harding, 1B - Tanco a 1C - Bikita (London 1984); 2 - Harding (Chakoumakos, Lumpkin 1990); 3 - Covas de Barroso (Charoy et al. 2001).



Obr. 6 Krystalizační P - T dráha pegmatitu v Nové Vsi. A - fáze krystalizace petalitu I; B - fáze krystalizace spodumenu; C - fáze krystalizace petalitu II. Tečkovaně jsou vyznačeny reakční hranice při změně aktivity SiO_2 , šedě je vyznačeno pole, ve kterém je v závislosti na aktivitě SiO_2 stabilní spodumen nebo petalit (podle Krivovičev 2004).

na sekundární spodumen a křemen v podobě jemnozrného spodumen-křemenného agregátu (SQL), který vzniká podle rovnice $\text{Pet} \rightarrow \text{Spd} + 2\text{Qtz}$. Kromě spodumenu a křemene nebyl zjištěn žádný jiný produkt alterace petalitu. Eukryptit, který v systému $\text{LiAlSiO}_4\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ vzniká za nejnižších tlaků a teplot (London 1984), ve studovaných vzorcích zjištěn nebyl. Ve vzorcích však byly identifikovány minerály, které nebyly dosud z novoveského pegmatitu známy. Jedná se o baryt, Ba-zeolit a minerál ze skupiny chloritů cookeit, které ukazují na ovlivnění okolní horninou v závěrečných fázích alterace až po vzniku spodumenu.

Navržená *P-T* dráha krystalizace novoveského pegmatitu nejvíce odpovídá datům publikovaným Chakoumakosem a Lumpkinem (1990) pro lithný pegmatit v Hardingu v Novém Mexiku (obr. 5-2). Krystalizační dráhy publikované Londonem (1984, obr. 5-1) zřejmě zcela neodpovídají realitě, protože dráhy odpovídající rychlé krystalizaci musí být zpočátku v podstatě izobarické. Podobně je málo reálná dráha publikovaná Charoyem et al. (2001) pro pegmatit Covas de Barroso (obr. 5-3), protože tak rychlý pokles tlaku během rychlé krystalizace pegmatitu je v běžných geologických podmínkách málo pravděpodobný.

Poděkování

V článku jsou uvedeny výsledky výzkumu, který byl prováděn v rámci zpracování závěrečné bakalářské práce na Ústavu geologických věd Masarykovy univerzity v Brně. Autor děkuje prof. Milanu Novákovi, CSc. za jeho čas a pomoc při tvorbě bakalářské práce. Příprava a zpracování závěrečné práce byly podpořeny prostřednictvím odborné stáže (KA1) v rámci projektu „Partnerská síť pro spolupráci a aplikace v geoenvironmentálních a geotechnických oborech“ (CZ.1.07/2.4.00/31.0019), který je spolufinancován z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky.

Literatura

- Čech F., Staněk J. (1958) Nový lithný pegmatit od Nové Vsi u Českého Krumlova. *Čas. Mineral. Geol.* 3, 407-410.
- Čech F., Staněk J. (1960) Mikrolit z lithného pegmatitu od Nové Vsi u Čes. Krumlova. *Čas. Mineral. Geol.* 5, 235-241.
- Černý P. (1975) Granitic pegmatites and their minerals: selected examples of recent progress. *Fortschr. Mineral.* 52, 225-250.
- Černý P., Ferguson R. B. (1972) The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. IV. Petalite and spodumene relations. *Can. Mineral.* 11, 660-678.
- Filip J., Novák M., Beran A., Zbořil R. (2006) Crystal chemistry and OH defect concentrations in spodumene from different granitic pegmatites. *Phys. Chem. Mineral.* 32, 733-746.
- Grym V. (1975) Geochemická klasifikace žulových pegmatitů Českého masívu. *Geoindustria, vybrané práce, technologie a geologie rudních ložisek*, 7, 235-240.
- Chakoumakos B. C., Lumpkin G. R. (1990) Pressure-temperature constraints on the crystallization of the Harding pegmatite, Taos county, New Mexico. *Can. Mineral.* 28, 287-298.
- Charoy B., Noronha F., Lima A. (2001) Spodumene - petalite - eucryptite: mutual relationship and pattern of alteration in Li-rich aplite-pegmatite dykes from Northern Portugal. *Can. Mineral.* 39, 729-746.
- Kodym O. et al. (1982) Základní geologická mapa ČSSR 1 : 25 000, list 32-212 Nová Ves. *Ústř. Úst. geol. Praha*.
- Krivovičev V. G. (2004) Mineralnye ravnovesija s učastiem spodumena, petalita a evkriptita. 1. sistema $\text{Li}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ -termodynamičeskij analiz i geologičeskije priloženiya. *Zapiski vseross. mineral. Obšč.* 133, 1.
- London D. (1984) Experimental phase equilibria in the system $\text{LiAlSiO}_4\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$: a petrogenetic grid for lithium-rich pegmatites. *Am. Mineral.* 69, 995-1004.
- London D. (2008) Pegmatites. *Can. Mineral. - Special Publication*, 348.
- London D., Burt D. M. (1982) Lithium minerals in Pegmatites. In: Černý P. (ed.): *Granitic pegmatites in science and industry. Short course handbook, Mineralogical Association of Canada*, 8, 99-133.
- Melleton J., Gloaguen E., Frei D., Novák M., Breiter K. (2012) How are the time of emplacement of rare-element pegmatites, regional metamorphism and magmatism interrelated in the Moldanubian Domain of Variscan Bohemian Massif, Czech Republic? *Can. Mineral.* 50, 1751-1773.
- Novák M. (2005) Granitické pegmatity Českého masívu (Česká republika); mineralogická, geochemická a regionální klasifikace a geologický význam. *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.* 90, 3-74.
- Novák M., Ertl A., Povondra P., Galiová M. V., Pristacz H., Prem M., Giester G., Gadas P., Škoda R. (2012) Darrrellhenryite, IMA 2012-026. *Mineral. Mag.* 76, 1281-1288.
- Novák V. (1981) Geoelektrický průzkum Li-pegmatitu od Nové Vsi u Českého Krumlova. *Sbor. Jihočes. Muz. v Čes. Budějovicích, Přír. vědy.* 21, 33-36. České Budějovice.
- Welsch P., Zikeš J., Novák M., Staněk J., Tráfiņa P., Kašpárek A. (2007) Lithný pegmatit Nová Ves. *Mineral. Speciál*, 48. České Budějovice.