

Žíly turmalinitů v moldanubiku západní Moravy v okolí Třebíče

Tourmalinite veins in vicinity of Třebíč, west-moravian part of the Moldanubian Zone

DAVID BURIÁNEK^{*1)} A STANISLAV HOUZAR²⁾

¹⁾Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 59 Brno; *e-mail: david.burianek@geology.cz

²⁾Mineralogicko-petrografické oddělení, Moravské zemské muzeum, Zelný trh 6, 659 37 Brno; e-mail: shouzar@mzm.cz

BURIÁNEK D., HOUZAR S. (2013) Žíly turmalinitů v moldanubiku západní Moravy v okolí Třebíče. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 21, 1, 67-73. ISSN 1211-0329.*

Abstract

Two occurrences of tourmalinite veins were discovered in the vicinity of Třebíč (Moldanubian Zone). The tourmalinites crosscut biotite granites or migmatites as brownish-black quartz-tourmaline (\pm K-feldspar, rutile) veins (tourmaline > 50 vol. %) from few mm to several dm thick. Tourmaline corresponds to dravite and oxy-dravite (X_{Fe} 0.35 - 0.56, Na 0.41 - 0.66 *apfu*) predominantly and usually shows sector or patchy zoning. The incorporation of Al, vacancy and minor Ca in tourmaline takes place via foitite ($\square Al Na_{-1}(Fe,Mg)_{-1}$), $Al_2(Mg, Fe)Si_{-1}$ and uvite ($Ca(Fe,Mg) Al_{-1} Na_{-1}$) substitutions. The tourmaline samples from the two studied tourmalinite localities differ in Al (5.97 to 6.39 vs. 6.55 to 6.81 *apfu*), Ca, Ti and F contents. The examined tourmalinites can be interpreted as crystallization products of boron rich fluids related to intrusion of peraluminous granites and/or aplites.

Key words: *tourmalinite, dravite, hydrothermal fluids, leucocratic granite, Třebíč Pluton, Moldanubian, Czech Republic*

Obdrženo: 6. února 2013; přijato: 17. května 2013

Úvod

Turmalín je poměrně častým minerálem v několika horninových typech v moldanubiku v okolí Třebíče. Především se vyskytuje v peraluminických granitech prostoro-ově svázaných s třebíčským plutonem. Tělesa muskovit-biotitických granitů a aplitů s turmalínem intrudují nejen přímo do durbachitů, ale také do metamorfovaných hornin v jejich okolí (Kalášek 1954; Bubeniček 1968; Buriánek 2004; René, Stelling 2007). Turmalín v těchto granitech a aplitech tvoří drobné automorfní krystaly nebo xenomorfní až hypautomorfní zrna koncentrovaná do nodulí (např. Buriánek 2004). Místa jsou na tyto granity vázány drobné žíly turmalinických pegmatitů až aplitů. V rámci třebíčského plutonu se také vyskytují pegmatitové žíly, které spadají podle klasifikace Černého (1991) do typu NYF pegmatitů. Také tyto pegmatity často obsahují turmalín, který bývá v asociaci především s křemenem, draselným živcem, albitem a biotitem. V akcesorickém množství se pak vyskytují allanit-(Ce), ilmenit, zirkon, rutil, pseudorutil, beryl, Y-REE-Nb-Ta-Ti oxidy, titanit a další (Škoda 2003; Škoda et al. 2006; Novák et al. 2003, 2011).

Kromě těchto výskytů turmalínu, vázaných přímo na granity nebo pegmatity, byly v oblasti třebíčského plutonu rovněž nalezeny žilné křemen-turmalínové horniny (dále turmalinity). Bližší vztah těchto turmalinitů ke zmíněným peraluminickým turmalín-muskovitickým granitům ani pegmatitům není vždy jednoznačný a také chemické složení turmalínu se v těchto horninách může lišit. V tomto příspěvku se snažíme na základě chemického složení turmalínu srovnat dvě nově objevené lokality turmalinitů a interpretovat jejich genezi.

Turmalinit definoval Slack (1982, 1996) jako horninu

obsahující více 15 obj. % turmalínu. Většinou bývají pod tímto pojmem chápány hlavně stratiformní křemen-živcové polohy (např. Slack 1982), avšak bývají tak označovány také žilné a metasomatické horniny, které vznikly v důsledku turmalinizace spojené s únikem B-fluid při krystalizaci těles granitů (např. Fortey, Cooper 1986; Appleby, Williams 1988; Pesquera et al. 2005). Popisované turmalinity mají charakter žil, avšak jejich pozice vůči okolním horninám (migmatitům) není vždy zcela jasná nebo horniny ve svém okolí dokonce zatlačují (žíly v granitech). Proto byly námi popisované turmalínem bohaté horniny označeny na základě svého petrografického složení nikoli podle genetických kritérií.

Metodika

Minerály byly analyzovány na elektronové mikrosondě Cameca SX100 ve vlnově disperzním módu v Laboratoři elektronové mikroskopie a mikroanalýzy, společném pracovišti Masarykovy univerzity a České geologické služby (Brno), za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, průměr elektronového svazku 5 μ m, proud 30 nA, operátor R. Čopjaková. Detekční limity se pro jednotlivé prvky pohybovaly mezi 100 - 1000 ppm, statistická chyba (1σ) v závislosti na analytických podmínkách mezi 0.02 - 0.4 hm. %. Naměřené hodnoty byly normalizovány PAP korekcí (Pouchou, Pichoir 1985). Jako standardy při analýzách většiny minerálů byly použity ($K\alpha$ rtg. linie): augit (Si, Mg), sanidin (Al, Si, K), jadeit, albit (Na), chromit (Cr), almandin (Al), andradit (Fe, Ca), fluorapatit (Ca), pyrop (Mg, Fe), rodonit (Mn), anatas (Ti). Pro turmalín byly kromě některých dříve zmíněných použity tyto standardy: hornblend (Ti), olivín (Mg), vanadinit (Cl), topaz (F),

fluorapatit (P), gahnit (Zn), měď (Cu). Krystalochemické vzorce turmalínu byly rozpočteny na 15 kationtů v pozici $Y+Z+T$, přičemž ze stechiometrie byl dopočten $B = 3$. Zastoupení O^{2-} a OH je vypočteno na základě předpokladu, že Fe je dvojmocné. V takovém případě by se obsah O v pozici W pohyboval v rozmezí 0.26 - 0.59 *apfu* a některé analyzované turmalíny by pak byly klasifikovány jako oxy-skoryly a oxy-dravity.

Geologická pozice

Studované žíly turmalinitů pocházejí ze dvou lokalit v moldanubiku západní Moravy, z nichž jedna leží při okraji durbachitů třebíčského plutonu (Račerovice) a druhá v migmatitech (Stařeč). Geologická situace lokalit je schematicky znázorněna na obrázku 1.

Lokalita **Račerovice** se nachází jihovýchodně od vesnice při silnici do Třebíče. V roce 2006 zde byl při výkopových pracích odkryt kontakt durbachitů s biotitickými granity. Turmalinit vyplňuje pukliny při kontaktu obou horninových typů (obr. 2a). Hlavní turmalinitová žilka má orientaci $290/65^\circ$. Ostatní mineralizované pukliny a kataklastické zóny (hlavně silicifikované) jsou obvykle orientovány ve směrech SZ - JV nebo SV - JZ a sklání se pod úhlem kolem 70° k SZ nebo k JZ.

Lokalita **Stařeč** se nachází asi 1 km jiv. od železniční zastávky Stařeč. Turmalinity se tady vyskytují v úlomcích na severním svahu mírného návrší, které je tvořeno středně zrnitým muskovit-biotitickým granitem, lokálně s andalusitem, příp. turmalínem. Granit je odkryt v blízkém opuštěném lůmku a na jeho severní straně tam obsahuje ojedinělé tenké žilky turmalinitů (s křemenem) ve směru SZ - JV, s příkrým úklonem k SV o délce až několik metrů. Granity vystupují v oblasti relativně monotónní sekvence

rul až migmatitů moldanubika (křemen + plagioklas + biotit + K-živce ± cordierit), které západně a severovýchodně od lokality obsahují hojné vložky grafitických kvarcitů až rul. Studovaný turmalinit se nachází při kontaktu migmatitu a zmíněného granitu. Podobná větší tělesa a žíly leukokratických muskovit-biotitických granitů, často s drobnými krystaly černého turmalínu, se vyskytují jihovýchodně od této lokality směrem k Mastníku a Kojeticím.

Podobné křemen-turmalínové žilky a čočky o mocnosti až 5 cm, lemované asi 6 mm mocnou zónou draselného živce, byly nalezeny také přímo v durbachitu při stavebních úpravách na jižním okraji Třebíče při silnici do Stříteže (u obchodního centra na ulici Znojemská). V tomto případě tvořil turmalín až 90 mod. % turmalinitu. Poblíž turmalinitu byly aplitové a granitové žíly (o mocnosti do 1 m), které turmalín obsahovaly jen vzácně. Tato lokalita nebyla blíže studována.

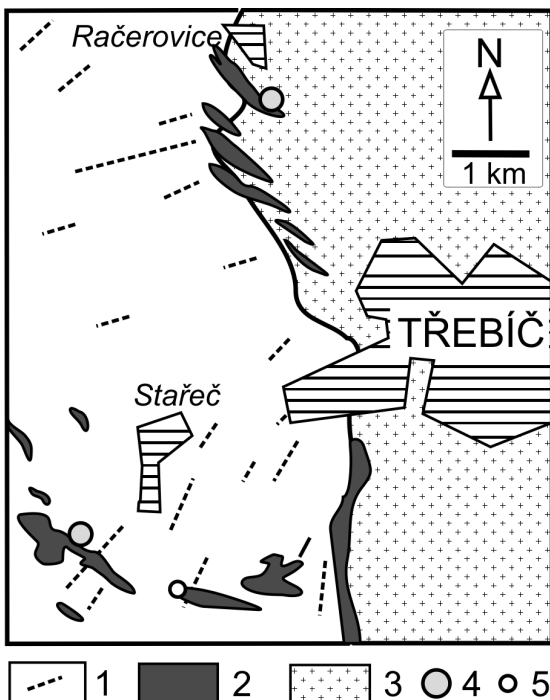
Pro porovnání složení turmalínu byla zvolena žíla biotit-muskovitického granitu s turmalínem a granátem, která v úlomcích vystupuje na severovýchodním okraji nedaleké obce **Mastník**.

Petrografie

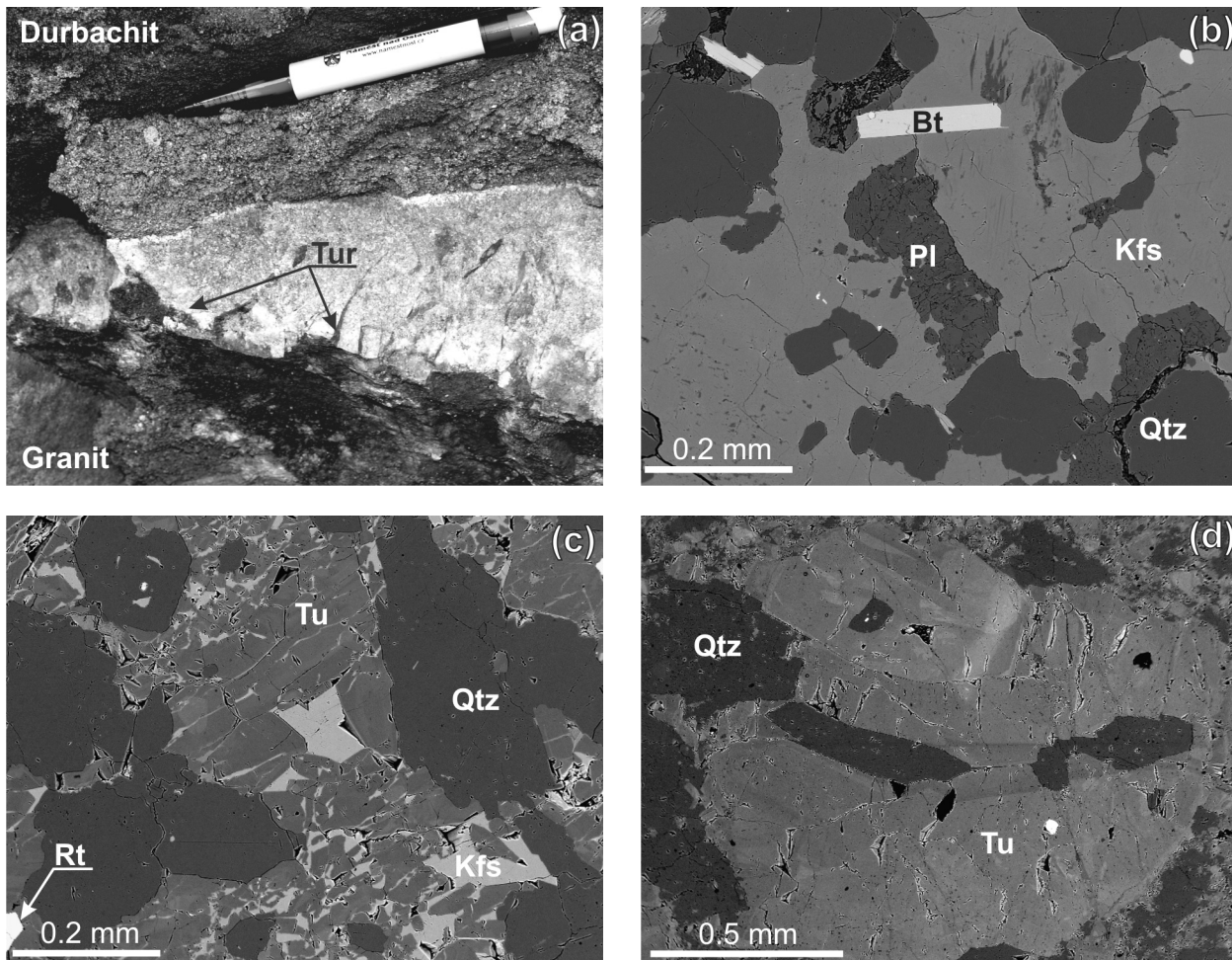
1) Račerovice (žíly turmalinitu v granitu)

Byly studovány žilné turmalinity z tělesa granitu obklopeného durbachity. **Středně zrnitý biotitický granit** je většinou hypautomorfně zrnitý (obr. 2b), na okrajích žíly až panxenomorfně zrnitý, a lokálně má granofyrickou stavbu. Křemen tvoří xenomorfní zrna. Xenomorfní až hypautomorfní pertitický draselný živce (Ab_{9-10}) často uzavírá inkluze biotitu a plagioklasu. Biotit svým chemickým složením leží při hranici mezi annitem a flogopitem ($X_{Fe} = 0.51 - 0.54$, $^{IV}Al = 2.54 - 2.61$ *apfu*). Jeho drobné lupínky bývají poblíž puklin a mylonitových zón postiženy chloritizací. Plagioklas (An_{7-12}) je oscilačně zonální a tvoří hypautomorfní zrna až 1 cm velká. Apatit a zirkon jsou běžné akcesorické minerály, méně hojny je monazit. Vzácně se v žíle objevují až 5 cm velké **xenolity cordierit-biotitických rul**. Cordierit tvoří kolem 1 mm velké automorfní až hypautomorfní krystaly, které jsou zcela pinitizovány. Biotit má v těchto xenolitech poněkud nižší obsahy Mg ($X_{Fe} = 0.70 - 0.71$, $^{IV}Al = 2.64 - 2.69$ *apfu*) než biotit v okolním granitu. Automorfní plagioklas má ve srovnání s okolním granitem vyšší bazicitu (Ab_{23-27}). Dále je přítomen xenomorfní křemen, draselný živce a z akcesorických minerálů pak apatit, xenotim, zirkon, monazit. Těleso granitu je porušeno řadou křehkých trhlin. V granitu se na několika místech objevují asi 8 - 14 cm mocné kataklastické zóny. Živce i křemen jsou zde křehce drceny a biotit postižen chloritizací, místy je kataklazit silicifikován.

Někdy jsou tyto trhliny vyplněny křemenem, nebo **turmalínem**. Ten tvoří až 18 mm mocné žilky na okrajích s až několik mm mocným lemem bohatým draselným živcem (Ab_{3-9}). Turmalinit se skládá hlavně z xenomorfního až hypautomorfního turmalínu (50 - 80 mod. %) a xenomorfního křemene (15 - 43 mod. %). V malém množství je přítomen draselný živce a v akcesorickém množství se objevuje rutil. Turmalín odpovídá svým složením dravitu (tab. 1) a má většinou nepravidelnou smouhovitou až sektorovou zonálnost ($X_{Fe} 0.35 - 0.50$, Na 0.56 - 0.65 *apfu*, Al 5.97 - 6.39 *apfu*). Většina zrn má výrazný pleochroismus (O - hnědá, E - světle hnědá). Pukliny v turmalínech vyplňuje xenomorfní draselný živce (Ab_{5-7}) a rutil tvoří drobné oválné inkluze ve všech minerálech turmalinitu.



Obr. 1 Geologická situace studovaných lokalit: 1 - ruly a migmatity s vložkami mramorů a grafitických hornin (pestrá jednotka moldanubika); 2 - biotitické a muskovit-biotitické granity, zčásti s turmalínem a granátem; 3 - melanokratické granosyenity třebíčského plutonu; 4 - výskyt turmalinitů, 5 - výskyt turmalinického granitu.



Obr. 2 Turmalinity a horniny v jejich okolí: (a) žilky turmalinitu vyplňují pukliny v biotitickém granitu při jeho kontaktu s durbachity (Račerovice); (b) struktura nealterovaného biotitického granitu z lokality Račerovice (fotografie v BSE); (c) struktura turmalinitu z lokality Račerovice, pukliny v turmalínu vyplňuje draselný živec (fotografie v BSE); (d) nepravidelné zóny ve větším kataklazovaném zrně modrého a hnědého dravitu, lokalita Stařeč (fotografie v BSE). Foto P. Gadas.

s křemenem. Biotit je zcela nahrazen chloritem. V křemeni se vzácně vyskytují vláknité agregáty sillimanitu. Místy jsou přítomny až 2 mm velká zrna hypautomorfního granátu. Jeho chemické složení je poměrně homogenní ($\text{Alm}_{57-68} \text{Sps}_{30-41} \text{Prp}_{1-2} \text{Adr}_{0-1}$). Granát uzavírá především zrna křemene méně častá jsou zrna živců případně lupínky biotitu. Turmalín tvoří krátké hypautomorfní sloupce, které svým chemickým složením odpovídají skorylu až oxy-skorylu ($X_{\text{Fe}} 0.82 - 0.87$, Na 0.57 - 0.61, Al 6.64 - 6.80 *apfu*). Pouze lemy na okrajích některých zrn mají složení odpovídající foititu ($X_{\text{Fe}} 0.85$, Na 0.43, Al 6.93 *apfu*). Střední části zrn mají nevýraznou sektorovou místy až oscilační zonálnost, která se projevuje hlavně kolísáním obsahů F a Na.

Chemické složení turmalínu

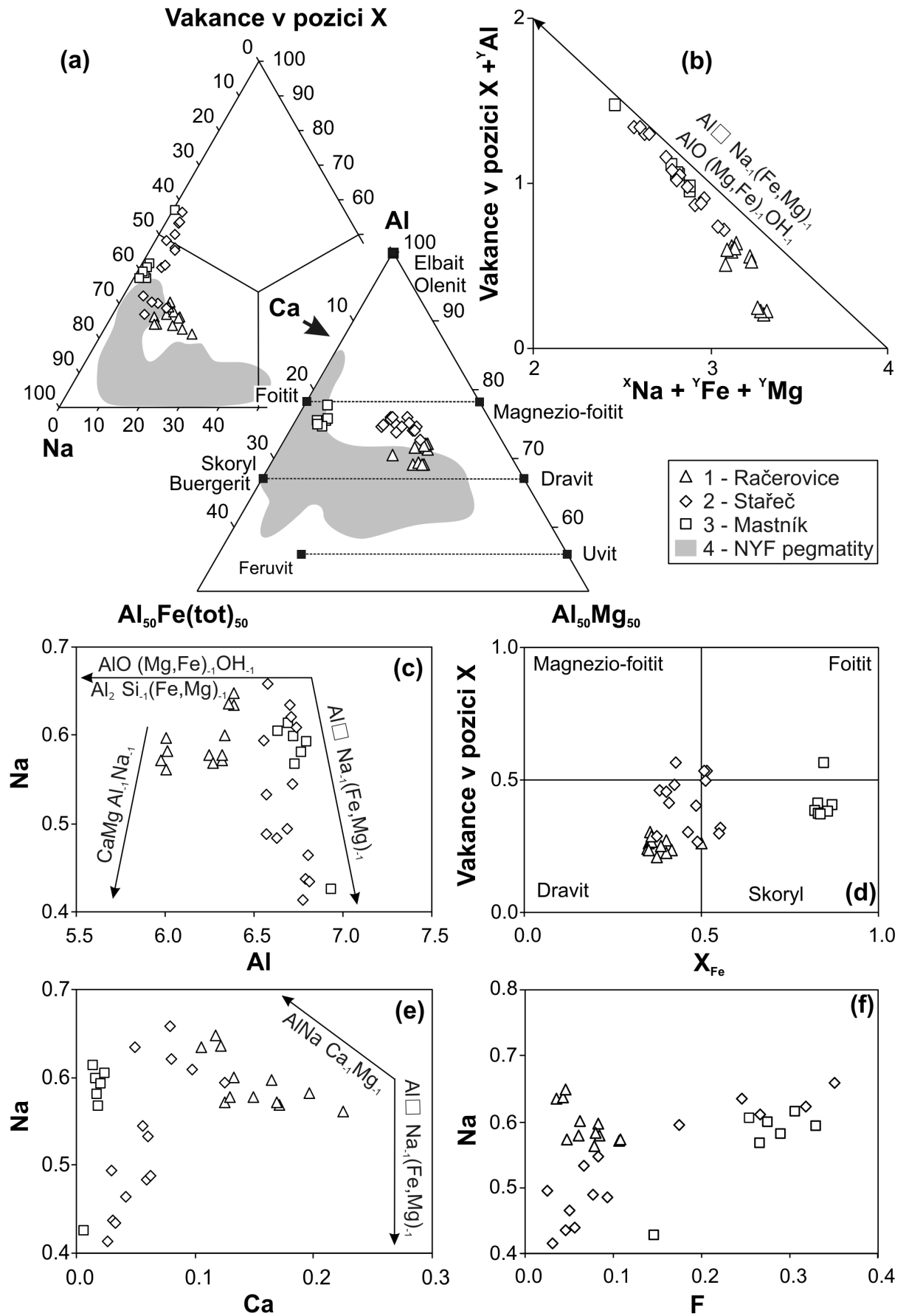
Oba typy studovaných turmalínů z turmalinitů mají podobné rozsahy chemického složení pokud jde o Mg (1.04 - 1.72 *apfu*), Fe (0.88 - 1.34 *apfu*), ale liší se obsahy Al (5.97 - 6.39 (Račerovice) vs. 6.55 - 6.81 *apfu* (Stařeč), Na, Ca, Ti a F (obr. 3a-f).

Odlišnost turmalínu z obou lokalit turmalinitů je dobře patrná zejména na zastoupení prvků v pozici X (obr. 3e). Turmalín z lokality Račerovice (Na 0.56 - 0.65 *apfu*) má

mnohem menší rozptyl obsahů **sodíku** než z lokality Stařeč (Na 0.41 - 0.66 *apfu*). Zastoupení **vápníku** je poměrně malé, přesto je turmalín z Račerovic zřetelně bohatší vápníkem (0.11 - 0.23 vs. 0.03 - 0.12 *apfu* Ca na lokalitě Stařeč). U turmalínu na lokalitě Stařeč obsah Ca směrem k okrajům zrna klesá, zatímco u turmalínu z Račerovic je tento trend opačný.

Odlišné jsou i obsahy **titanu**. Zatímco v turmalínu z turmalinitu od Račerovic je obsah poměrně vysoký (≤ 0.23 *apfu* Ti), v turmalínu od Stařeč jsou obsahy nízké (≤ 0.12 *apfu* Ti) podobně jako ve studovaném granitu od Mastníka. Právě titanem nejchudší turmalíny se oproti hnědým turmalínům někdy jeví spíše jako starší; někdy je tomu naopak a většinou vzájemný časový vztah není jednoznačný. Obsahy **draslíku**, **chrómu** a **vanadu** ve studovaných turmalínech z turmalinitů byly velmi nízké, většinou na hranici detekce (≤ 0.007 *apfu* K; ≤ 0.002 *apfu* Cr a ≤ 0.007 *apfu* V).

Obsahy **fluóru** jsou na lokalitě Stařeč nejvyšší ve střední části zrna (≤ 0.35 *apfu*) a směrem k okrajům klesají. Na lokalitě Račerovice je obsah F v turmalínu podstatně nižší a navíc jeho obsahy v rámci jednotlivých zrn kolísají (≤ 0.11 *apfu*).



Obr. 3 Chemické složení turmalínu z turmalinitů (1 - Račerovice, 2 - Stařeč), asociujícího turmalinického granitu (3 - Mastník) a NYF pegmatitů (4 - Novák et al. 2011): (a) trojúhelníkové diagramy Ca-Na-vakance v pozici X a $Mg_{50}-Fe_{50}-Al$; (b) vakance v pozici X + Al vs. $xNa + yFe + zMg$; (c) Na vs. Al; (d) vakance v pozici X vs. X_{Fe} ; (e) Na vs. Ca, (f) Na vs. F.

Diskuse

a) Vývoj chemického složení turmalínu

Oba studované turmalinity se od sebe liší především chemickým složením turmalínu. Žilky turmalinitů, prorážející biotitický granit u Račerovic, obsahují turmalín odpovídající většinou dravitu. Žíla turmalinitu ze Starče obsahuje hliníkem bohatý dravit s mnohem větším rozptylem chemického složení směrem k foititu, magnesiofoititu i skorylu (obr. 3a-d).

Turmalín z Račerovic vykazuje poměrně malý rozptyl chemického složení. Směrem k okrajům zrna obvykle mírně klesá obsah Al a Na současně s růstem obsahu Ca a F (obr. 3a, c, e, f). Jednotlivá zrna však často mají nepravidelné zonálnosti, které není možné jednoznačně interpretovat. Růst obsahu Ca (obr. 3e) a Fe+Mg během krystalizace, který je kompenzován poklesem Na a Al (obr. 3a) indikuje přítomnost uvitové substituce $[Ca(Fe,Mg) Al_{-1} Na_{-1}]$. Poměr X_{Fe} je v těchto turmalínech poměrně stabilní (obr. 3a, d) pouze na okrajích zrna místy nacházíme turmalín s vyšším obsahem Fe. Negativní korelace mezi obsahy Al a Fe+Mg však v řadě případů není provázená změnou v pozici X což indikuje, že kromě uvitové substituce je chemické složení turmalínu ovlivněno také substitučním trendem $Al_2(Mg,Fe)_{-1}Si_{-1}$ (obr. 3c). Mezi obsahy Na a F (0.04 - 0.11 *apfu*) je patrná spíše negativní korelace (obr. 3f) čímž se tento turmalín liší od ostatních studovaných vzorků.

V turmalínu z lokality Stařeč je patrné, že současně s růstem vakancí v pozici X roste Al a klesá Na, Mg+Fe (obr. 3a-c). Tento trend je důsledkem foititové substituce $\square Al Na_{-1}(Fe,Mg)_{-1}$. Tato substituce je patrná také v turmalínu z granitu od Mastníku. Chemické složení turmalínu z turmalinitu je ovlivněno dravitovou substitucí $(Mg Fe_{-1})$, avšak negativní korelace mezi obsahem Fe a Mg není příliš významná (obr. 3a, d). U obou těchto turmalínů je patrný pokles F (0.03 - 0.35 *apfu*) s klesajícím Na (obr. 3f). Mladé turmalíny na okrajích zrn v granitu i v turmalinitu ze Starče tedy mají foititové složení s nízkým obsahem F.

b) Vznik turmalinitů a zdroj bóru

Studované žilné křemen-turmalínové horniny se vyskytují v prostorové asociaci s granity různých typů a stáří. Turmalinity na lokalitě Račerovice jsou mladší než hostitelský granit. Na lokalitě Stařeč není, přes blízkost výskytu granitu, vzájemný vztah jednoznačně prokázán. V obou případech však turmalín velmi pravděpodobně krystalizoval z hydrotermálních roztoků společně s křemenem a vyplnil křehké tektonické poruchy. Turmalíny z turmalinitů se svým chemickým složením výrazně liší od turmalínu z NYF pegmatitů v třebíčském masivu (viz obr. 3a) a velmi pravděpodobně tedy byly derivovány z jiného zdroje. Jedinými dalšími horninami, které měly dostatek bóru, a přitom mohou časově souviset se vznikem turmalinitů, jsou peraluminické granity, případně z nich derivované peraluminické aplity a pegmatity (viz Buriánek 2004).

Vznik puklin, na nichž se turmalinity vyskytují, může souviset s tektonickými pohyby v závěrečných fázích variské orogeneze, ale může být také zapříčiněn tlakem fluid z blízkých žil peraluminických granitů nebo pegmatitů. Podobný proces (hydro-fracturing) popsali Dini et al. (2008). Turmalinity však vyplňují křehké trhliny, jejichž orientace se neliší od trhlín a kataklastických zón, které vznikly během variských tektonických pohybů. Hydrotermální fluida tedy pouze využila již existující diskontinuity.

Turmalinit z Račerovic prostupuje biotitický granit, v němž magmatický turmalín nalezen nebyl. Bór může pocházet z velmi pozdních magmatických fluid, která se uvolnila v závěrečných fázích chladnutí biotitického granitu nebo mohl být transportován externími fluidy z okolí (např. z blízké granitové nebo aplitové žíly obsahující turmalín, viz Buriánek 2004). Patrné však je, že v okolí tektonických poruch, kde krystalizoval turmalín, je biotit často postižen chloritizací a živce podléhají sericitizaci. Společně s turmalínem krystalizuje v tomto turmalinitu i draselný živec a rutil. Turmalín má také ve srovnání s lokalitou Stařeč vyšší obsahy Ti a Ca. Pravděpodobným zdrojem Ti, stejně tak jako F, byl biotit v okolním granitu, který obsahuje 0.30 - 0.39 *apfu* Ti a 0.19 - 0.28 *apfu* F. Při chloritizaci biotitu se také uvolňoval draslík, z něhož mohl vznikat draselný živec. Reakcí bórem bohatých fluid s okolními metamorfovanými mafickými horninami vysvětlují Dini et al. (2008) vznik hydrotermálního dravitu, který vykazuje podobný vývoj chemického složení jako popisovaný turmalín z Račerovic (v případě turmalinitu z Račerovic pravděpodobně hydrotermální fluida reagovala nejen s biotitem v granitu, ale i v okolním durbachitu). V obou případech se chemické složení turmalínu vyvíjí od skorylu k Ca bohatému dravitu (případně až uvitu) přičemž zároveň roste obsah F a Ti (Dini et al. 2008).

Turmalín v turmalinitu ze Starče se svým složením podobá turmalínu z granitu od Mastníku, který se odlišuje hlavně vyšším obsahem Fe a Mg (obr. 3d). Ostatní vlastnosti, jako jsou například obsahy Al či Na, jsou v obou vzorcích turmalínu podobné. Střední části zrn mají obsahy Al, Na a F podobné jako v granitu, avšak směrem k okrajům zrn jejich obsah klesá, což může souviset s poklesem teploty. Se snižováním teploty vzniku totiž klesá v metamorfních turmalínech ^{IV}Al v důsledku substituce $Al_2(Mg, Fe)_{-1}Si_{-1}$ (srov. Henry, Dutrow 1996). Tato substituce může být v našem případě kombinována také se substitucí $AIO(Mg, Fe)_{-1}OH_{-1}$. V turmalínech zároveň klesá obsah F v pozici W a naopak roste obsah vakancí v pozici X v důsledku foititové substituce $\square Al Na_{-1}(Fe, Mg)_{-1}$. Tyto zákonitosti platí pro turmalíny vzniklé krystalizací z hydrotermálních roztoků (Dutrow, Henry 2000; Ertl et al. 2011).

Závěr

V okolí Třebíče byly nalezeny turmalinity v podobě žil s mocností od několika mm do několika dm. Tyto žíly prorážejí migmatitizované ruly, biotitické granity nebo durbachity. Turmalín se na složení horniny podílí od 50 až po 90 mod. % a zbytek tvoří hlavně křemen, jen někdy v asociaci s draselným živcem. Vzácně může být v akcesorickém množství přítomen rutil (Račerovice), zirkon, apatit a monazit (Stařeč).

Turmalín z těchto žil má většinou nepravidelnou smouhovitou až sektorovou zonálnost a svým chemickým složením odpovídá převážně **dravitu a oxy-dravitu** (X_{Fe} 0.35 - 0.56, Na 0.41 - 0.66 *apfu*). Chemické složení turmalínu v turmalinitu z biotitického granitu (Račerovice) je ovlivněno uvitovou substitucí $(Ca(Fe,Mg) Al_{-1} Na_{-1})$ a substitucí $Al_2(Mg, Fe)Si_{-1}$. U turmalínu z turmalinitu prorážejícího migmatity (Stařeč) dominuje substituce foititová $(\square Al Na_{-1}(Fe,Mg)_{-1})$.

Turmalinity patrně vznikaly poněkud odlišnými procesy. Turmalinit v biotitickém granitu krystalizoval v otevřeném systému, kde hydrotermální roztoky reagovaly s biotitem a plagioklasem v okolí tektonické poruchy. Díky tomu mají tyto turmalíny vyšší obsahy Ti a Ca. Turmalinit tvořící žíly v migmatitech obsahuje turmalín, jehož che-

mické složení můžeme poměrně dobře vysvětlit jako produkt krystalizace hydrotermálních roztoků v uzavřeném systému za podmínek klesající teploty.

Vznik studovaných žilných turmalinitů souvisí s křehkou deformací. Bórem bohaté roztoky byly derivovány při krystalizaci peraluminických granitů, případně aplitů, které se vyskytují v okolí studovaných turmalinitů.

Poděkování

Autoři děkují P. Bačíkovi a anonymnímu recenzentovi za kritické pročtení rukopisu. Práce byla vypracována s finanční podporou grantu GAČR P210/10/0743 a projektu ČGS 390003 (Základní geologické mapování Brněnska v měřítku 1 : 25 000).

Literatura

- Appleby A. K., Williams P. J. (1988) Epigenetic tourmalinite and arsenopyrite in the aureole of the Leinster batholith, SE Ireland. *Mineral. Deposita* 23(4), 247-255.
- Bubeníček J. (1968) Geologický a petrografický vývoj třebíčského masivu. *Sbor. geol. Věd, Ř. G.* 13, 133-164.
- Buriánek D. (2004) Turmalinické (meta)granity moldanubika a saxothuringika - příklad využití turmalínu jako petrogenetického indikátoru. *MS, Disertační práce, Ústav geologických věd, Přír. fakulta Masarykovy univerzity, Brno.*
- Černý P. (1991) Rare element granitic pegmatites. I. Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. *Geosci. Canada* 18, 49-67.
- Dini A., Mazzarini F., Musumeci G., Rocchi S. (2008) Multiple hydro-fracturing by boron-rich fluids in the Late Miocene contact aureole of eastern Elba Island (Tuscany, Italy). *Terra Nova* 20(4), 318-326.
- Dutrow B., Henry D. J. (2000) Complexly zoned fibrous tourmaline, Cruzeiro mine, Minas Gerais, Brazil: a record of evolving magmatic and hydrothermal fluids. *Can. Mineral.* 38, 131-143.
- Ertl A., Dragrgranits E., Grasemann B., Ntaflos T., Giester G., Tillmans E. (2011) Synkinematic growth of tourmaline in brittle-ductile normal faults, Despotiko Island, Aegean Sea, Greece. *Can. Mineral.* 49, 105-116.
- Fortey N. J., Cooper D. C. (1986) Tourmalinization in the Skiddaw Group arend Crummock Water, English Lake District. *Mineral. Mag.* 50, 17-26.
- Henry D. J., Dutrow B. (1996) Metamorphic tourmaline and its petrologic applications. In: *Boron: Mineralogy, Petrology and Geochemistry* (E. S. Grew, L. M. Anovitz, Eds.). *Rev. Mineral.* 33, 503-557.
- Kalášek J. (1954) O turmalinických horninách na Třebíčsku. *Sbor. přírod. Klubu v Třebíči*, 6, 3-16.
- Novák M., Selway J. B., Škoda R. (2003) Tourmaline from the NYF pegmatites; example from the Třebíč massif. In: *International symposium on light elements in rock forming minerals LERM 2003, Nové Město na Moravě. Book of Abstracts*, 55-56.
- Novák M., Škoda R., Filip J., Macek I., Vaculovič T. (2011) Compositional trends in tourmaline from intragranitic NYF pegmatites of the Třebíč Pluton, Czech Republic; an electron microprobe, Moessbauer and LA-ICP-MS study. *Can. Mineral.* 49(1), 359-380.
- Pesquera A., Torres-Ruiz J., Gil-Crespo P. P., Jiang S.-Y. (2005) Petrographic, Chemical and B-Isotopic Insights into the Origin of Tourmaline-Rich Rocks and Boron Recycling in the Martinamor Antiform (Central Iberian Zone, Salamanca, Spain). *J. Petrology* 46, 5, 1013-1044.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" (ρ-ρ-Z) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (Armstrong J. T. Ed.). *San Francisco Press*, 104-106.
- René M., Stelling J. 2007 Garnet-bearing granite from the Třebíč pluton, Bohemian Massif (Czech Republic). *Mineral. Petrol.* 91, 1-2, 55-69.
- Škoda R. (2003) Y+REE, Nb-Ta-Ti minerály NYF pegmatitů Českého masivu. *MS, Diplomová práce, Ústav geologických věd, Přír. fakulta Masarykovy univerzity, Brno.*
- Škoda R., Novák M., Houzar S. (2006) Granitické NYF pegmatity třebíčského plutonu. *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.* 91, 129-176.
- Slack J. F. (1982) Tourmaline in Appalachian-Caledonian massive sulphide deposits and its exploration significance. *Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B: Appl. Earth. Sci.)* 91, 81-89.
- Slack J. F. (1996) Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits. In: *Boron: Mineralogy, Petrology and Geochemistry* (E. S. Grew, L. M. Anovitz, Eds.). *Rev. Mineral.* 33, 559-643.