

Turmalín v pegmatitech, aplitech a granitech ze západní granodioritové zóny brněnského masívu

Tourmaline from pegmatites, aplites and granites in the Western Granodiorite area of the Brno Massif

DAVID BURIÁNEK

Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 59 Brno

BURIÁNEK D. (2010): Turmalín v pegmatitech, aplitech a granitech ze západní granodioritové zóny brněnského masívu. - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **18/2**, 112-118. ISSN 1211-0329.

Abstract

Tourmaline granites, pegmatites and aplites in the Western Granodiorite area of Brno Massif are spatially related to the metapelite enclaves, which represents relict of the contact aureole around biotite granites to amphibol-biotite granodiorites of Tetčice Suite. Tourmaline forms anhedral aggregates inside the nodule core in the biotite granites (Qtz + Kfs + Pl + Bt ± Tu). Euhedral to subhedral grains are typical for the pegmatite dykes (Qtz + Kfs + Pl ± Ms ± Bt ± Grt ± And ± Tu). Small anhedral to subhedral grains tourmaline occurs as accessory phase in the same gneisses and leucosome of migmatites from contact aureole. The results of the calculations indicate breakdown tourmaline during partial melting metapelites related with contact metamorphism (~730 °C and 4 - 3 kbar). The P-T conditions of crystallisation of pegmatites have been constrained by stability of andalusite and quartz-tourmaline isotope thermometry (~570 °C and < 3 kbar). The two main exchange vectors characterize the substitutions in studied tourmaline schorl-dravite series: ${}^X\text{Na}_1\text{YAl}_1\text{XCa}_{-1}\text{YMg}_{-1}$ and ${}^X\text{Ca}_1\text{YAl}_2\text{WO}_1\text{XNa}_{-1}\text{YR}^{2+}_{-2}\text{W(OH)}_{-1}$.

Key words: *tourmaline, partial melting, contact metamorphism, Brno Massif, Czech Republic*

Úvod

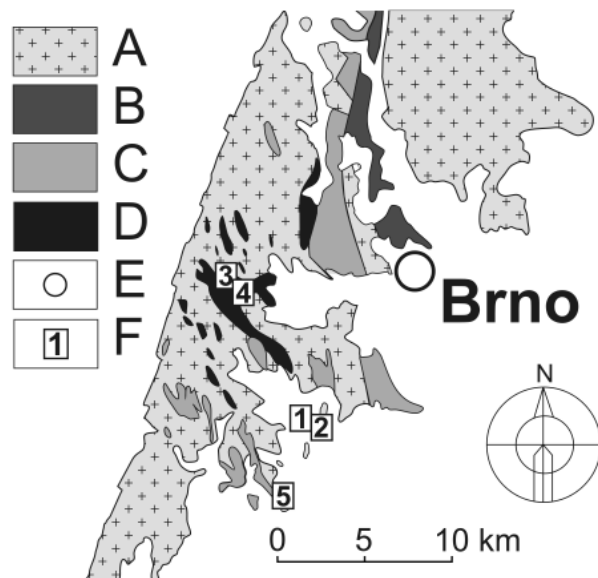
Pegmatity, aplity a žilné granity jsou v brněnském masívu běžné, avšak jen vzácně obsahují turmalín (Štelcl, Weiss 1986). V západní granitové zóně brněnského masívu tvoří turmalínové granity, aplity a pegmatity několik cm až dm mocné žíly, které prorážejí různě velké enklávy metapelitů obklopené granitoidy. Akcesorický turmalín se také nachází přímo v těchto enklávách. Žíly granitů, aplitů a pegmatů ve zbytku západní granitové zóny brněnského masívu (Štelcl, Weiss 1986) obsahují pouze muskovit, biotit a vzácně také granát. Takové žíly bez turmalínu prorážejí hlavně granitoidy a bazické enklávy.

Pro řešení geneze je poměrně důležitá právě prostorová distribuce výskytů turmalínu v dané geologické jednotce. V kombinaci se znalostí chemického složení turmalínu můžeme usuzovat na původ bórem bohatých granitických tavenin. Tento příspěvek se snaží na základě srovnání chemického složení turmalínu a geologické pozice žil pegmatitů a granitů interpretovat genezi bórem bohatých tavenin v západní granitové zóně brněnského masívu.

Geologická charakteristika západní části brněnského masívu

Brněnský masív (obr. 1) je největším povrchovým výskytem kadomsky konsolidované jednotky označované jako brunovistulikum (Dudek 1995). Tato jednotka je rozdělena centrálním bazickým pruhem na východní a západní granitovou zónu, přičemž západní granitová zóna náleží k dyjskému teránu a východní k slavkovskému teránu (Finger et al. 1995).

Západní zóna brněnského masívu je tvořena hlav-



Obr. 1 Zjednodušená geologická mapa střední části brněnského masívu s vyznačením pozice studovaných lokalit: 1) Ořechov, granit (vz. BB271A); 2) Ořechov, pegmatit (vz. C11); 3) Omice, muskovit-biotitový migmatit (vz. BB37B) a pegmatity; 4) Omice-Skalka, granit; 5) Bratčice, muskovit-biotitová rula (vz. B20). Geologická mapa upravena podle schematické mapy, kterou publikovali Mitrenga a Rejl (1993): A) granodiority a granity; B) slabě metamorfované vulkanické horniny; C) diority a gabra; D) metasedimenty; E) důležitá města; F) studované lokality.

ně granodiority a granity (Finger et al. 1995; Finger, Pin 1997), které intrudovaly v období kolem 600 Ma (van Breemen et al. 1982). Na základě petrologie a geofyzikálních vlastností bylo vyčleněno několik typů granitoidů, jejichž dělení se v různých pracích liší (Mitrenga, Rejl 1993; Štelcl, Weiss 1986; Leichmann, Höck 2008). V tomto článku je použito členění podle Leichmanna a Höcka (2008); západní zóna brněnského masívu se podle nich dělí na granitoidy suity Tetčice, Réna a Hlína. Prozatím byl turmalín v západní části brněnského masívu popsán pouze z oblasti budované horninami suity Tetčice (Kruťa 1966).

Suita Tetčice obsahuje strukturně a petrograficky proměnlivé granity až granodiority (odlišují se zejména přítomností vyrostlé draselného živce, amfibolu atd.). Tato petrografická rozmanitost patrně souvisí s jejich genezí. Plutonické horniny místy obsahují poměrně hojně zbytky metamorfního pláště tvořeného hlavně rulami až migmatity a vápenatosilikátovými horninami až amfibolity. Enklávy představují reliktů metasedimentů, jejichž materiál byl derivován ze starší kontinentální kůry aktivního kontinentálního okraje Gondwany (Finger et al. 2000). Horniny pláště brněnského masívu prošly polyfázovým metamorfním vývojem během kadomské a variské orogeneze (Dudek 1980; Hanzl et al. 1999; Buriánek 2010). Kromě metamorfovaných hornin jsou v granitoidech běžné enklávy dioritů a gaber, které vznikly jako výsledek míšení bazického a felzického magmatu (Leichmann, Höck 2008).

Geologická pozice studovaných lokalit

Turmalín se vyskytuje v rulách a migmatitech tvořících enklávy v granodioritech suity Tetčice. Vzácně se objevuje jako drobné akumulace v biotitových granitech při kontaktu s metapelite. Turmalín je také součástí drobných žil turmalínových granitů, aplitů a pegmatitů.

Pro studium byly zvoleny lokality, které nejlépe charakterizují hlavní typy výskytů turmalínu v této části brněnského masívu (obr. 1).

Středně zrnité biotitové až muskovit-biotitové ruly z lokality Bratčice nesou jen místy známky parciálního tavení (maximálně několik mm mocné žilky leukosomu). Studovaný vzorek neobsahoval žádný leukosom a akcesorický turmalín tvořil drobná zrna poměrně rovnoměrně

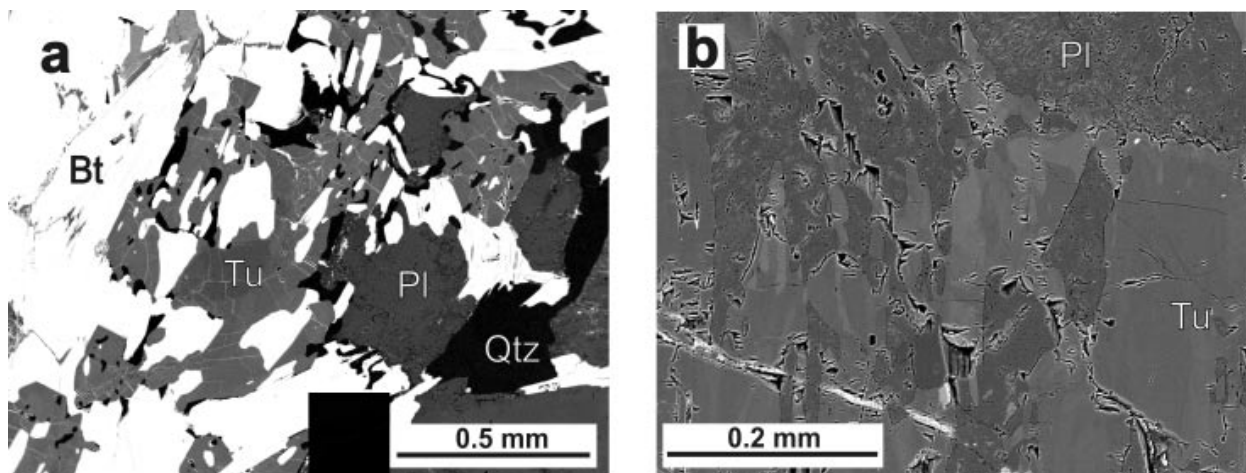
rozptýlená v hornině. Vzorek stromatitického migmatitu s turmalínem pochází z lomu v Omicích. Mocnost pásků leukosomu se zde pohybuje od několika mm do několika cm. Turmalín se v těchto horninách vyskytuje většinou v leukosomu a vzácně pak na kontaktu leukosomu a melanosomu (obr. 2a).

Turmalínové žilné granity nacházíme na lokalitě Skalaka jihovýchodně od Omic. Xenomorfní turmalín zde tvoří až 2 cm velké akumulace. Ty jsou ale přítomny pouze v horní části žíly při kontaktu s biotitovými rulami. Zbytek žíly (nebo drobného tělesa) turmalín vůbec neobsahuje. Žíly turmalínových granitů se také vyskytují sz. od Ořechova (obr. 1) a jejich mocnost dosahuje maximálně 1.5 m. Právě z jedné z těchto žil pochází studovaný vzorek turmalínu (obr. 2b). Kontakt s okolními migmatity bývá neostrý a někdy jsou patrné drobné odžilkky, které pronikají souhlasně s foliací okolních migmatitů.

Studovaný vzorek pegmatitové žíly pochází taktéž z okolí Ořechova (obr. 1). Tato asi 10 cm mocná pegmatitová žíla je tvořena okrajovou granitickou zónou a ve střední části hrubozrnnou blokovou zónou složenou z draselného živce a křemene. Turmalín vystupuje na okraji blokové zóny. Na stejné lokalitě se také vyskytují žilky aplitu, které místy obsahují drobné akumulace turmalínu. V obou případech jsou většinou žilky situovány souhlasně s foliací migmatitů. Žíly turmalínového pegmatitu v lomu Omice jsou mocné maximálně několik cm. Většinou prorážejí migmatizované ruly a vzácně také enklávy bazických hornin. Turmalín zde tvoří jednotlivé sloupcovité krystaly, někdy seskupené do vějířovitých agregátů.

Metodika

Analýzy minerálů byly provedeny na elektronové mikroskopně Cameca SX-100 v Ústavu geologických věd PFF MU v Brně. Měření probíhalo ve vlnové disperzním módu za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, průměr elektronového svazku 5 μm , proud 30 nA, načítací čas 20 sekund, operátor Š. Benedová. Jako standardu bylo užito (K α rtg linie): augit (Si, Mg), ortoklas (K), jadeit (Na), chromit (Cr), almandin (Al), andradit (Fe, Ca), rodonit (Mn), TiO (Ti), topaz (F). Krystalochemické vzorce slíd jsou vypočteny na 24 aniontů [20 O + 4 (OH + F)], vzorce živců na 8 aniontů a vzorce turmalínu na 31 aniontů za předpokladu že B = 3, (OH+F) = 4 a $\text{Fe}_{\text{tot}} = \text{Fe}^{2+}$. Použité



Obr. 2 BSE mikrofotografie turmalínu: a) turmalín v migmatitu na kontaktu leukosomu a melanosomu (Omic); b) turmalín zatlačuje plagioklas, turmalínová nodule o velikosti asi 2 cm v biotitovém granitu (Ořechov). Foto Š. Benedová.

zkratky minerálů jsou podle Kretze (1983).

Izotopické složení kyslíku v turmalínu a křemeni bylo stanoveno na hmotnostním spektrometru v Laboratoři stabilních izotopů, Obor geochemie České geologické služby, Praha-Barrandov. Analýzy provedl RNDr. K. Žák, CSc. Fluorační rozklad silikátů byl proveden na Ústavu geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, PřF UK v Praze. Rozklad provedla Ing. M. Pudilová, CSc. Analýzy byly zhotoveny v rámci projektu FRVŠ - 579 / 2003: Mineralizace vázané na bórem bohatá fluida v brunovistuliku (Filip et al. 2003).

Petrografická charakteristika hornin s turmalínem

Turmalín z lokality Bratčice tvoří hypautomorfní až xenomorfní zrna obklopená plagioklasem, křemenem a biotitem. Je to typický zástupce turmalínu z rul bez výrazných známek migmatitizace. Velmi podobné horniny byly popsány z okolí Omic (Buriánek 2010). Středně zrnité biotitické až muskovit-biotitické ruly z obou lokalit jsou tvořeny minerály o podobném chemickém složení. Skládají se hlavně z xenomorfního křemene, hypautomorfního plagioklasu (An_{16-17}) a biotitu ($X_{Fe} = 0.59 - 0.65$; $^{IV}Al = 2.6 - 2.7$ apfu). Často jsou přítomny drobné lupínky muskovitu. Porfyroblasty granátu mají nevýraznou difúzní zonálnost (Alm_{71-80} Sps₈₋₁₉ Prp₆₋₁₀ Grs₀₋₄ Adr₀₋₂). Ve vzorku z lokality Bratčice je sice přítomen turmalín, ale chybí zde sillimanit a draselný živec. Proto byl pro výpočet P-T podmínek použit vzorek z lokality Omice (Buriánek 2010).

Stromatitický migmatit z lomu v Omicích obsahuje světlý leukosom (bohatý na živec a křemen) a tmavý melanosom s vysokým obsahem biotitu (Buriánek 2010). Leukosom se v migmatitech koncentruje do až několik cm mocných pásků. Migmatity jsou tedy tvořeny hlavně křemenem, plagioklasem (An_{16-26}), draselným živcem (Ab_{8-9}) a biotitem ($X_{Fe} = 0.56 - 0.69$; $^{IV}Al = 2.7 - 2.8$ apfu). Méně je zastoupen muskovit ($X_{Fe} = 0.56 - 0.60$) a xenomorfní granát (Alm_{75-84} Sps₈₋₁₆ Prp₇₋₈ Grs₀₋₂ Adr₀₋₂). V některých vzorcích migmatitů jsou přítomna oválná zrna sekaninaitu ($Al = 3.95 - 3.97$ apfu; $X_{Fe} = 0.53 - 0.55$) a často také jehlicovité sillimanit. Jako poměrně hojně akcesorické minerály se objevují apatit, zirkon, monazit, ilmenit a pyrit. Někdy jsou v leukosomu patrné drobné krystalky automorfního až hypautomorfního turmalínu. Turmalín se také vyskytuje jako xenomorfní zrna na hranici leukosomu a melanosomu. Tato zrna často uzavírají biotit. Horniny velmi běžně nesou známky výrazných retrográdních přeměn (sericitizace, pinitizace, chloritizace).

V granitech je turmalín přítomen jako hypautomorfní až xenomorfní zrna nepravidelně rozptýlená v hornině, nebo je vázán na až 8 cm velké oválné nodule tvořené turmalínem, křemenem a živci. Xenomorfní turmalín zatlačuje plagioklas i draselný živec (turmalín dokonce někdy obsahuje xenomorfní inkluze draselného živce). Tyto nodule bývají lemovány až několik cm mocným leukokratickým lemem. Okolní granit obsahuje drobné lupínky muskovitu a biotitu. Biotit bývá zcela přeměněn na chlorit. Hypautomorfní plagioklas je oscilačně zonální (An_{14-22}) a velmi často intenzivně sericitizovaný. Naproti tomu xenomorfní perthitický draselný živec (Ab_6) nese známky výrazné alterace.

Chemické složení turmalínu z lokality Ořechov bylo převzato z práce Filipa et al. (2003) a proto není k dispozici chemické složení ostatních horninotvorných minerálů. Zmíněný vzorek tvoří xenomorfní draselný živec s mikroperthity a mikroklinovým mřížkováním je slabě postižen

kaolinizací. Někdy uzavírá drobná automorfní zrna plagioklasu. Na kontaktu mezi plagioklasem a draselným živcem bývají vyvinuty perthity. Plagioklas je polysynteticky zdvojitý a postižený sericitizací a kaolinizací. Lupínky biotitu bývají chloritizovány. Vzácně se objevují automorfní až hypautomorfní sloupce turmalínu o délce až 1 cm. V pegmatitu z lomu v Omicích byly popsány v asociaci s turmalínem drobné sloupcovité krystaly andalusitu (Kruťa 1966) a granát (Vallová 2005). Automorfní až hypautomorfní zrna granátu (Alm_{70-77} Sps₉₋₁₄ Prp₇₋₁₁ Grs₁₋₅ Andr₁₋₂) mají velikost až kolem 4 mm (Vallová 2005). Jako akcesorické minerály se běžně objevují opakní minerály, zirkon a apatit.

Chemické a izotopické složení turmalínu

Turmalíny (tab. 1, obr. 3, 4) ze všech studovaných hornin mají velmi podobné chemické složení a můžeme je klasifikovat jako Al-bohaté dravity až Al-bohaté skoryly ($X_{Fe} 0.38 - 0.54$; Na 0.40 - 0.67; Ca 0.07 - 0.39; Al 6.10 - 6.67 apfu). Obsahy F jsou nízké a dosahují hodnot 0.13 apfu. Turmalíny (obr. 3) v granitu, pegmatitu a leukosomu migmatitů se chemicky příliš neliší ($Al = 6.27 - 6.58$; Na 0.52 - 0.67 apfu; $X_{Fe} 0.38 - 0.54$). Turmalín z muskovit-biotitových rul má poněkud vyšší obsahy Ca (0.19 - 0.39 apfu) ve srovnání s ostatními studovanými turmalíny (obr. 3).

Chemické složení turmalínu (obr. 4) je řízeno kombinací dvou hlavních substitučních vektorů $^xNa_1^yAl_1^zCa_1^wR^{2+}_{-1}$ a $^x_{-1}yAl_2^wO_1^zNa_1^yR^{2+}_{-2}w(OH)_{-1}$. V rulách převažuje substituce uvitová $^xNa_1^yAl_1^zCa_1^wMg_1$ naproti tomu v turmalínu z migmatitů, granitů a pegmatitů je zonálnost řízena hlavně substitucí typu $^x_{-1}yAl_2^wO_1^zNa_1^yR^{2+}_{-2}w(OH)_{-1}$. Vliv substituce $^x_{-1}yAl_2^zNa_1^yR^{2+}_{-2}$ je minoritní.

Bylo zjištěno izotopické složení kyslíku $\delta^{18}O$ v křemeni (13.8 ‰ SMOW) a turmalínu (12 ‰ SMOW) z pegmatitové žíly z lokality Ořechov. Izotopické složení kyslíku v studovaném turmalínu je srovnatelné s hodnotami typickými pro magmatické turmalíny (Taylor et al. 1992). Na základě těchto dat bylo možné vypočítat teplotu krystalizace minerálů v pegmatitech pomocí křemen-turmalínového termometru (Kotzer et al. 1993) na 569 °C.

Diskuse

V enklávách metapelitů v západní části brněnského masívu nalezneme turmalín, který je produktem metamorfózy o různé intenzitě. Turmalín z muskovit-biotitové ruly koexistuje s minerální asociací, pro niž byly vypočteny P-T podmínky ~700 °C a 6 - 7 kbar (obr. 5). Tvoří nepravidelná zrna většinou bez výrazné zonálnosti (pouze vzácně má na okrajích vyvinutu tenkou zónu s vyššími vakancemi v pozici X). Tento turmalín vznikl během regionální metamorfózy M1, která předcházela kontaktní metamorfóze M2 provázené migmatitizací (Buriánek 2010). Turmalín v leukosomu migmatitů vznikl jako produkt parciálního tavení v kontaktní aureole granitů a granodioritů suity Tetčice. Zrna mívají nevýraznou, smouhovitou chemickou zonálnost. Někdy jsou v centrech zrn patrná jádra s vyšším obsahem Mg a Ca (obr. 4). Vrcholné P-T podmínky kontaktní metamorfózy M2 (Obr. 5) se pohybovaly kolem 730 °C a 4 - 3 kbar (Buriánek 2010). Tato teplota je srovnatelná s hodnotou zjištěnou Kawakamim (2001a) pro rozpad turmalínu v granát-cordieritických migmatitech (725 °C a 4.5 kbar) a také stabilitou dravitu určenou experimentálně (obr. 5; von Goerne et al. 1999). Chemické složení turmalínu během parciálního

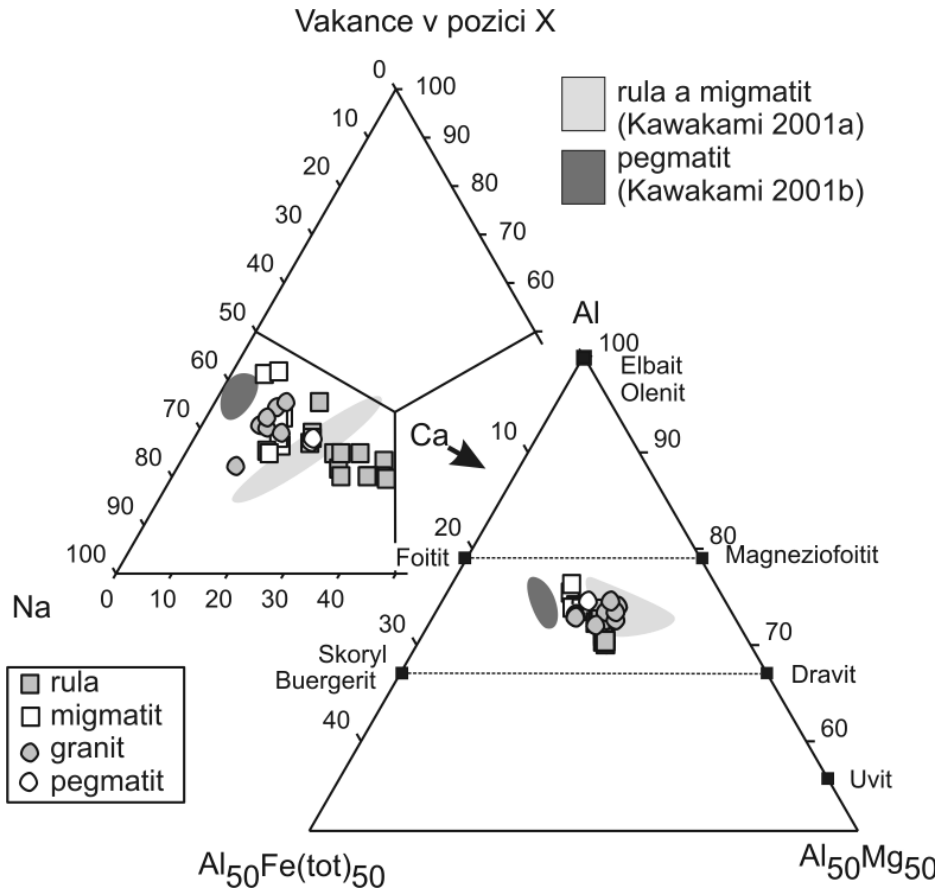
Tabulka 1 Chemické složení turmalínu v horninách ze západní granodioritové zóny brněnského masívu

číslo	B20/1	B20/2	BB37B5	BB37B8	BB 271A	BB 271A	C11
lokality	Bratčice	Bratčice	Omice	Omice	Ořechov	Ořechov	Ořechov
hornina	rula	rula	migmatit	migmatit	granit	granit	pegmatit
SiO ₂	35.96	36.17	35.31	36.13	36.34	36.64	36.04
TiO ₂	0.90	0.99	1.41	0.37	1.38	1.14	1.08
Al ₂ O ₃	32.57	32.96	32.76	34.49	32.69	33.85	34.34
V ₂ O ₃	-	-	0.12	0.07	0.02	0.02	0.03
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.06	0.05	0.00	0.04	0.06
FeO	8.13	7.90	9.22	8.72	8.31	6.74	8.22
MgO	5.97	5.62	4.64	4.16	5.49	5.98	4.94
CaO	1.60	1.22	0.80	0.50	0.88	0.66	1.24
MnO	0.00	0.00	0.03	0.03	0.05	0.02	0.09
ZnO	-	-	0.03	0.00	0.01	0.00	-
Na ₂ O	1.47	1.57	1.65	1.55	1.75	1.79	1.61
K ₂ O	0.05	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.05
F	-	-	0.13	0.12	0.19	0.24	0.05
H ₂ O *	3.66	3.67	3.56	3.60	3.59	3.61	3.69
B ₂ O ₃ *	10.62	10.64	10.50	10.61	10.67	10.78	10.77
O=F	-	-	0.06	0.05	0.08	0.10	0.02
Total	100.92	100.77	100.22	100.37	101.41	101.44	102.18
<i>(apfu)</i>							
pozice T+Z+Y							
Si ⁴⁺	5.884	5.911	5.844	5.920	5.919	5.908	5.818
Al ³⁺	6.282	6.347	6.390	6.662	6.275	6.433	6.534
Ti ⁴⁺	0.111	0.121	0.176	0.046	0.169	0.138	0.131
Cr ³⁺	0.000	0.000	0.008	0.006	0.000	0.005	0.008
V ³⁺	-	-	0.016	0.009	0.003	0.003	0.004
Fe ²⁺	1.112	1.079	1.276	1.195	1.132	0.909	1.109
Mg ²⁺	1.456	1.368	1.145	1.016	1.333	1.437	1.189
Mn ²⁺	0.000	0.000	0.004	0.004	0.007	0.003	0.012
Zn ²⁺	-	-	0.003	0.000	0.001	0.000	-
pozice X							
Ca ²⁺	0.281	0.214	0.142	0.087	0.154	0.114	0.214
Na ⁺	0.466	0.498	0.530	0.491	0.553	0.560	0.504
K ⁺	0.010	0.011	0.013	0.008	0.008	0.008	0.010
vak	0.244	0.277	0.315	0.414	0.284	0.318	0.272
OH	4.000	4.000	3.930	3.938	3.902	3.878	3.974
F ⁻	-	-	0.070	0.062	0.098	0.122	0.026
B ³⁺	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000

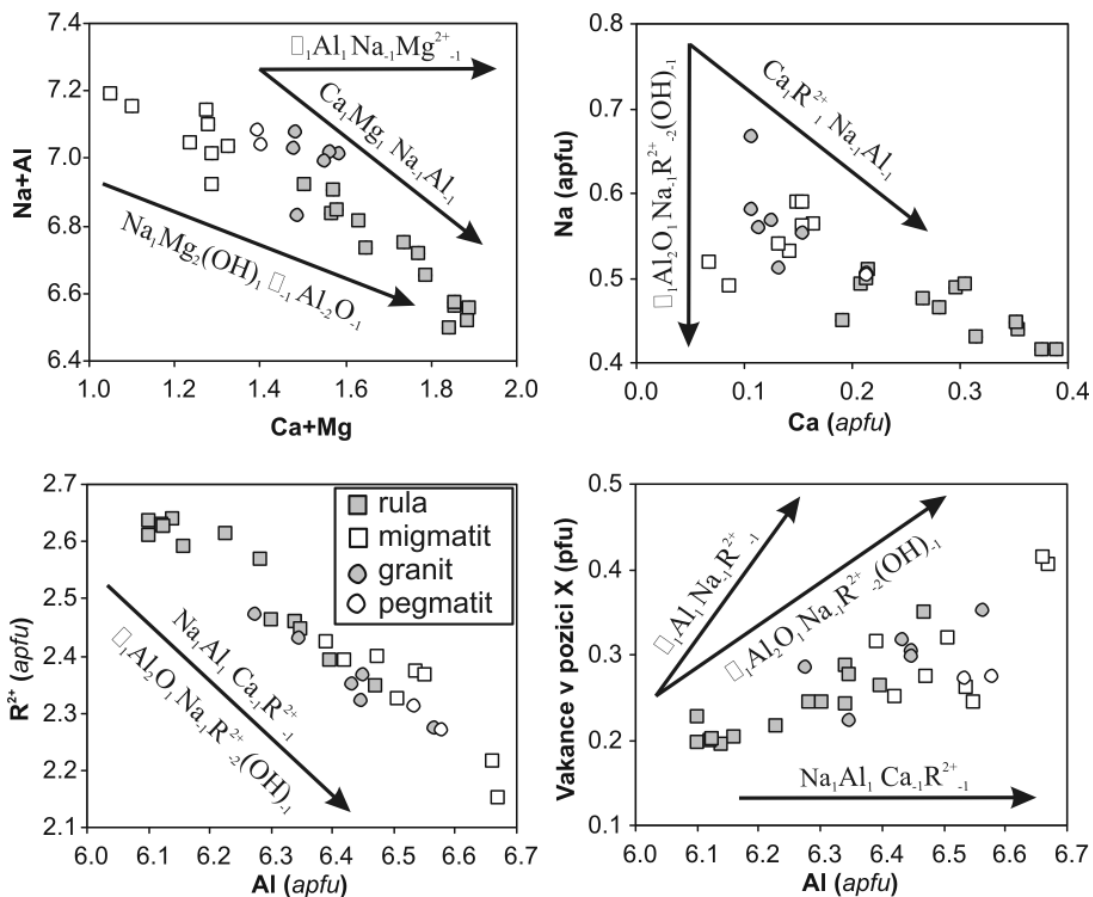
tavení metapelitů studoval Kawakami (2001a,b) v migmatitech metamorfního pásma Ryoke. Turmalíny krystalující z anatektické taveniny (pegmatity) mají podle něj ve srovnání s turmalíny v metasedimentech vyšší X_{Fe} a nižší obsahy Ca (obr. 3). Avšak zároveň tento autor nezjistil žádné výrazné rozdíly mezi turmalíny z rul a migmatitů (Kawakami 2001b). Ve srovnání s těmito daty jsou studované turmalíny chemicky méně diferencované (turmalíny z jednotlivých horninových typů se příliš neliší v poměrech X_{Fe}). V brněnském masívu jsou ale patrné rozdíly v obsazích Ca mezi turmalíny z metapelitů a turmalíny z migmatitů, granitů a pegmatitů (obr. 3).

Taveniny pro vznik turmalínových granitů, aplitů a pegmatitů mohly být generovány ze dvou zdrojů: intenzivní frakcionací granitů a granodioritů suity Tetčice, nebo jako produkt parciálního tavení metapelitů v okolí intruze. První alternativa je však nepravděpodobná. Granity

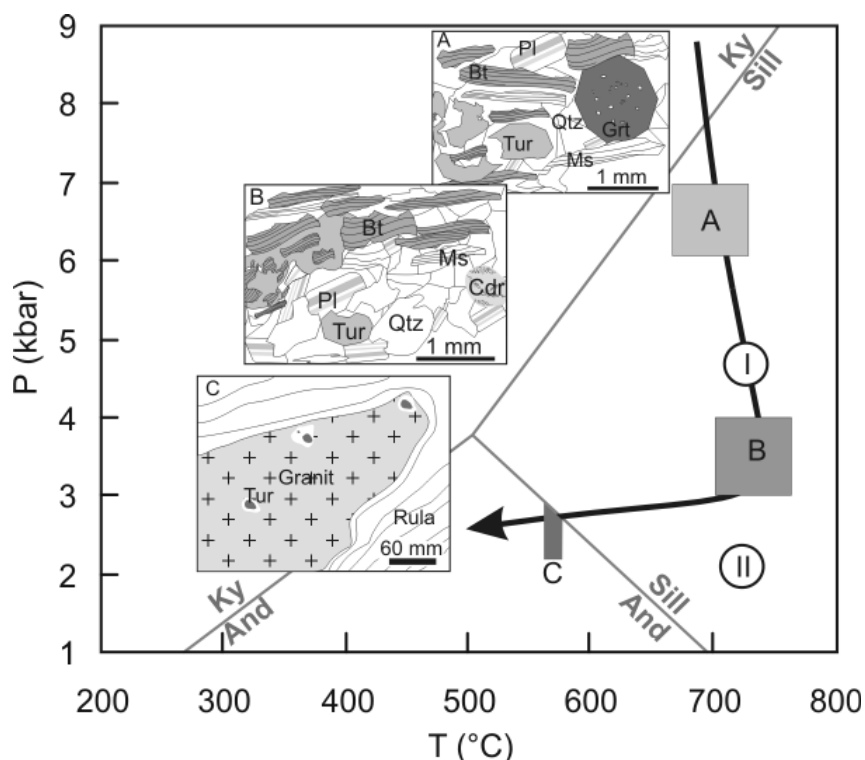
a granodiority suity Tetčice bývají řazeny mezi peraluminické horniny ($ASI = 1.14 - 1.20$; Leichmann, Höck 2008), avšak většinou se jedná o biotitické vzácně dokonce amfibol-biotitové granodiority. Prozatím publikovaná data z této části brněnského masívu (Štelcl, Weiss 1986), která byla potvrzena novými pozorováními autora, ukazují, že žilné horniny prorážející granity jsou bez turmalínu. Horniny s turmalínem se také nevyskytují v enklávách, které nejsou asociovány s metapelity a skládají se z amfibolitů, vápenatosilikátových hornin, křemenem bohatých biotitových rul. Pegmatity a aplity, které tedy můžeme podle jejich geologické pozice považovat za produkt frakcionace granitů Tetčické suity jsou bez turmalínu. Prostorová vazba turmalínových granitů, aplitů a pegmatitů na enklávy metapelitů naznačuje, že bórem bohaté taveniny byly generovány parciálním tavením metasedimentů v okolí intruze granitů a granodioritů suity Tetčice. V okolí



Obr. 3 Trojúhelníkové diagramy Ca-Na-vakance v pozici X a $Mg_{50}-Fe_{50}-Al$.



Obr. 4 Diagramy Ca+Mg vs. Na+Al (a); Ca vs. Na (b); Al vs. R^{2+} (c); Al vs. vakance v pozici X (d) pro turmalíny.



Obr. 5 Diagram zobrazující P-T podmínky vzniku hlavních typů turmalínu v kontaktní aureole granitů a granodioritů suity Tetčice. Schematicky je zobrazena pozice turmalínu v hornině: A) turmalín v muskovit-biotitové rule z lokality Bratčice (P-T metamorfní podmínky hornin v lomu Omice, Buriánek 2010); B) turmalín v migmatitu (hypautomorfní zrna v leukosomu a xenomorfní zrna s inkluzemi biotitu na kontaktu s melanosomem) z cordierit-biotitového migmatitu z lomu Omice (P-T metamorfní podmínky, Buriánek 2010); C) drobné turmalínové noduly v granitu při kontaktu s rulami (schematický obrázek: lokalita Skalka); I) horní hranice stability turmalínu v migmatitech v pásnu Ryoke (Kawakami 2001a); II) horní hranice stability dravitu v asociaci s křemenem (von Goerne et al. 1999).

lokality Skalka se také vyskytují žilky pegmatitů až aplitů s vyrostlicemi cordieritu pseudomorfovanými slídkami. Tyto horniny tvoří žíly a čočky o mocnosti maximálně 50 cm uložené souhlasně s foliací okolních migmatitů. Také tyto horniny můžeme považovat za produkt parciálního tavení metapelitů. Jejich relativně jednoduché minerální složení se shoduje se složením leukosomu migmatitů.

Žíly granitů a pegmatitů často prorážají migmatity diskordantně. K jejich intruzi tedy došlo až po vrcholu metamorfózy. Borem bohatá tavenina měla totiž ve srovnání s běžnou granitickou taveninou nižší viskozitu a teplotu solidu. Díky tomu mohla snadno migrovat a vytvářet žíly až během chladnutí kontaktní aureoly.

Turmalíny z muskovit-biotitové ruly mají chemické složení typické pro turmalín z metapelitů (Henry, Guidotti 1985) a ostatní studované turmalíny se od nich liší hlavně nižším obsahem Ca. Chemické složení turmalínů z leukosomu migmatitu a turmalínu z granitu a pegmatitu je velmi podobné. Tato příbuznost je velmi pravděpodobně dána podobným chemickým složením granitové taveniny, z níž turmalíny vznikly.

Turmalínové granity a pegmatity krystalovaly v závěrečných fázích kontaktní metamorfózy při teplotách kolem 570 °C. V granitech je často turmalín koncentrován do nodulů s leukokratickým lemem. Přičemž podobné noduly turmalínu bývají považovány za produkt krystalizace v podmínkách blízkých solidu granitické taveniny (Buriánek 2003). Přítomnost andalusitu v pegmatitu z lokality Omice naznačuje krystalizaci těchto hornin za tlaku nižšího než 3 kbar (obr. 5).

Závěry

Turmalínové granity, pegmatity a aplity západní zóny brněnského masívu jsou prostorově vázány na enklávy metapelitů, které představují reliktní metamorfní pláště brněnského masívu. Turmalín také vystupuje jako akcesorický minerál v těchto metapelitech. Během kontaktní metamorfózy spojené s intruzí granitoidů byla místy v migmatitech překročena hranice stability turmalínu (~730 °C a 4 - 3 kbar). Díky tomu vznikala borem bohatá tavenina, jejíž existenci potvrzuje přítomnost turmalínu v leukosomu některých migmatitů. Žíly turmalínových granitů, pegmatitů a aplitů pronikly do metapelitů během ranných stádií chladnutí kontaktní aureoly intruze granitů a granodioritů suity Tetčice (~570 °C a < 3 kbar). Pro všechny zmíněné žilné horniny je charakteristické poměrně primitivní složení turmalínu (relativně vysoké obsahy Ca, Mg) a prostorová vazba žil na enklávy metapelitů. Tyto žíly tedy patrně nejsou produktem frakcionace granitů a granodioritů suity Tetčice, ale vznikly parciálním tavením metapelitů v jejich kontaktní aureole.

Turmalíny krystalující z taveniny (migmatity, granity a pegmatity) se od metamorfního turmalínu z muskovit-biotitové ruly liší hlavně nižším obsahem Ca. V metamorfních turmalínech z ruly dominuje substituce ${}^x\text{Na}_1{}^y\text{Al}_1{}^z\text{Ca}_{-1}{}^w\text{Mg}_{-1}$. U turmalínů krystalujících z taveniny (migmatit, granit, pegmatit) pozorujeme významný vliv substituce ${}^x\text{Al}_2{}^y\text{Al}_2{}^z\text{W}_1{}^w\text{Na}_{-1}{}^y\text{R}^{2+}{}^w(\text{OH})_{-1}$.

Poděkování

Autor děkuje J. Cempírkovi a P. Bačkoví za kritické pročtení rukopisu. Práce byla vypracována s finanční podporou projektu ČGS 390003 (Základní geologické mapování Brněnska v měřítku 1:25 000).

Literatura

- Buriánek D. (2003): Turmalinické granity moldanubika a saxothuringika - příklad využití turmalínu jako petrogenetického indikátoru. - Disertační práce (MS), PřF MU, Brno, pp 256.
- Buriánek D. (2010): Metamorfované horniny západní části brněnského batolitu. - *Acta Mus. Morav., Sci. geol.* **95**, 2, 151-170.
- Dudek A. (1980): The Crystalline basement block of the Outer Carpathians in Moravia: Brunovistulicum. - *Rozpr. Čs. Akad. Věd, Ř. mat. přír. Věd* **90**, 8, 3-83.
- Dudek A. (1995): Metamorphic evolution of the Moravo-Silesian basement. - In: Dallmeyer R. D., Franke W., Weber K. (eds): Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe, Springer, Berlin, 508-511.
- Filip J., Novák M., Buriánek D. (2003): Mineralizace vázané na bórem bohatá fluida v brunovistuliku. - Závěrečná zpráva (MS), PřF MU, Brno, 1-38.
- Finger F., Frasl G., Dudek A., Jelínek E., Thöni M. (1995): Cadomian plutonism in the Moravo-Silesian basement. - In: Dallmeyer R. D., Franke W., Weber K. (eds.): Tectonostratigraphic evolution of the central and eastern European orogens, Springer, Berlin, 495-507.
- Finger F., Pin C. (1997): Arc-type crustal zoning in the Brunovistulicum, eastern Czech Republic: a trace of the late Proterozoic Euro-Gondwana margin. - *J. Czech Geol. Soc.* **42**, 53.
- Finger F., Tichomirowa M., Pin C., Hanžl P. (2000): Relics of an Early-Panafrican anisimatic metabasite-metahyolite formation in the Brno Massif, Eastern Czech Republic. - *Int. J. Earth Sci.* **89**, 328-335.
- Hanžl P., Melichar R., Leichmann J. (eds.) (1999): Excursion guide of 4th meeting of the Czech tectonic studies group. - *Geolines* **8**, 80-96.
- Henry D. J., Guidotti C. V. (1985): Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. - *Am. Mineral.* **70**, 1-15.
- Kawakami T. (2001a): Boron depletion controlled by the breakdown of tourmaline in the migmatite zone of the Aoyama area, Ryoke metamorphic belt, southwestern Japan. - *Can. Mineral.* **39**, 1529-1546.
- Kawakami T. (2001b): Tourmaline breakdown in the migmatite zone of the Ryoke metamorphic belt, SW Japan. - *J. Met. Geol.* **19**(1), 61-75.
- Kotzer T. G., Kyser T. K., King R. W., Kerrich R. (1993): An empirical oxygen- and hydrogen-isotope geothermometer for quartz-tourmaline and tourmaline-water. - *Geochim. Cosmochim. Acta* **57**(14), 3421-3426.
- Kretz R. (1983): Symbols for rock-forming minerals. - *Am. Mineral.* **68**, 277-279.
- Kruťa T. (1966): Moravské nerosty a jejich literatura 1940-1965. - Mor. muzeum Brno, 1-394.
- Leichmann J., Höck V. (2008): The Brno Batholith: an insight into the magmatic and metamorphic evolution of the Cadomian Brunovistulian Unit, eastern margin of the Bohemian Massif. - *J. Geosci.* **53**(3-4), 281-305.
- Mitřenga P., Rejl L. (1993): Brněnský masív. - In: Přichystal A. et al. eds.: Geologie Moravy a Slezska, 9-14, Mor. zem. muzeum, Brno.
- Štelcl J., Weiss J. (eds.) (1986): Brněnský masív. - UJEP Brno, pp 255.
- Taylor R. P., Ikingura J. R., Fallick A. E., Watkinson D. H. (1992): Stable isotope compositions of tourmalines from granites and related hydrothermal rocks of the Karagwe-Ankolean belt, northwest Tanzania. - *Chem. Geol.* **94**(3), 215-227.
- Vallová S. (2005): Granáty v granitoidních horninách východního okraje Českého masívu. - Diplomová práce (MS), PřF MU, Brno, pp 53.
- van Breemen O., Aftalion M., Bowes D. R., Dudek A., Mísař Z., Povondra P., Vrána S. (1982): Geochronological studies of the Bohemian massif, Czechoslovakia, and their significance in the evolution of central Europe. - *Trans. Roy. Soc. Edinburgh: Earth Sciences* **73**, 89-108.
- von Goerne G., Franz G., Wirth R. (1999): Hydrothermal synthesis of large dravite crystals by the chamber method. - *Eur. J. Miner.* **11**(6), 1061-1077.