ISSN 1211-8796

Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
CVIII (2023): 1, 3–16, 2023

CHARAKTERISTIKA TURMALÍNŮ Z ALBITOVÉ JEDNOTKY GRANITICKÝCH PEGMATITŮ ŽIL Č. 5 A Č. 8 V DOLNÍCH BORECH – HATÍCH

CHARACTERIZATION OF TOURMALINES FROM ALBITE UNIT OF PEGMATITE DIKES NO. 5 AND NO. 8 AT DOLNÍ BORY – HATĚ

EVA MRKUSOVÁ, RADEK ŠKODA, JAKUB HAIFLER, JAN FILIP, MARKÉTA HOLÁ

Abstract

Mrkusová, E., Škoda, R., Haifler, J., Filip, J., Holá, M., 2023: Charakteristika turmalínů z albitové jednotky granitických pegmatitů žil č. 5 a č. 8 v Dolních Borech – Hatích. – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 108, 1, 3–16 (with English summary).

Characterization of tourmalines from albite unit of pegmatite dikes No. 5 and No. 8 at Dolní Bory – Hatě

Tourmaline crystals from albite units of pegmatite dikes No. 5 and No. 8 at Dolní Bory – Hatě were investigated by electron microprobe, LA-ICP-MS, and Mössbauer spectroscopy in order to get complete chemical characterization including Fe^{3+}/Fe_{tot}, light, and trace elements contents. In transmitted light, tourmaline shows quite distinct core with a slight sector zoning which is overgrown by darker parts with oscillatory zoning and delta features. In some section of crystals, the core was not observed. The empirical formulae are characterized by 0.044–0.065 Fe^{3+}/Fe_{tot}, high *X*-site vacancy (0.37–0.61 *pfu*), 1.57–1.64 *apfu* Fe_{tot}, low Mg (0.16–0.29 *apfu*) and elevated Al at the *Y*-site (0.69–1.01 *apfu*). Oxygen or the OH group dominates at *W*-site (0.44–0.69 and 0.20–0.42 *apfu*, respectively), whereas F is low (0.03–0.25 *apfu*). Based on these ionic ratios, the oxy-foitite>foitite>oxy-schorl are dominant endmembers in the tourmaline cores, whereas the oscillatory and delta features parts correspond to oxy-schorl to very rare schorl.

Key words: tourmaline, oxy-foitite, foitite, oxy-schorl, EPMA, Mössbauer spectroscopy, LA-ICP-MS, pegmatite, Dolní Bory – Hatě, Czech Republic

Eva Mrkusová, Department of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic; email: 484435@mail.muni.cz

Radek Škoda, Department of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic

Jakub Haifler, Department of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic

Jan Filip, Czech Advanced Technology and Research Institute (CATRIN), Palacký University in Olomouc, Šlechtitelů 27, 783 71 Olomouc, Czech Republic

Markéta Holá, Department of Chemistry of the Faculty of Science, Masaryk University, Kamenice 5, 625 00 Brno, Czech Republic

1. ÚVOD

Minerály superskupiny turmalínu, dále jen turmalíny, mají zpravidla trigonální symetrii s acentrickou prostorovou grupou *R*3*m*. Obecný vzorec superskupiny turmalínu je uváděn jako $\mathbf{XY_3Z_6[T_6\,O_{18}][B\,O_3]_3V_3W}$, s následným obsazováním jednotlivých strukturních pozic prvky uvedenými podle relativní četnosti: *X*-pozice = Na^{1+}, Ca^{2+}; □ (vakance) > K^+; *Y*-pozice = Fe^{2+} ~ Mg^{2+}, Al^{3+}, Li^+, Fe^{3+}, Ti^{4+}, Mn^{2+}, Cr^{3+} > Zn^{2+}, Ni^{2+}, Cu^{2+}, V^{3+}; *Z*-pozice = Al^{3+} > Mg^{2+}, Fe^{3+},

Cr^{3+}, V^{3+}, Fe^{2+}; *T*-pozice = Si^{4+} > Al^{3+}, B^{3+}; *B*-pozice = B^{3+}; *V*-pozice = OH^-, O^{2-}, *W*-pozice = OH^- ~ F^-, O^{2-}. V minoritním zastoupení byly zjištěny také: Ag^+, Pb^{2+}, Sr^{2+}, Bi^{3+}, Sb^{3+}, Cl^-, Sn^{2+} a Sn^{4+}. Obsazení strukturních pozic ionty je ovlivněno jednak jejich nábojem a poloměrem, ale také úpravou uspořádání a změnou vazby na krátkou vzdálenost (Henry *et al.* 2011).

Základem struktury turmalínu je prstenec šesti tetraedrů TO_4, na něj navazují tři planární skupiny BO_3, šest oktaedrů ZO_6 sdílejících hranu se třemi oktaedry YO_6, velké kationty pozice *X* v devítičetné koordinaci jsou nad středem cyklu T_6O_{18} (např. Hawthorne a Dirlam 2011).

V současné době je známo cca 40 minerálů patřících do superskupiny turmalínu. Turmalíny vznikají v různém geologickém i geotektonickém prostředí a jsou stabilní v širokém poli pT podmínek. Cílem tohoto příspěvku je detailní chemická charakteristika turmalínů z albitových jednotek pegmatitových žil č. 5 a č. 8 pomocí elektronové mikrosondy, laserové ablace a Mössbauerovy spektroskopie, a jejich klasifikace s ohledem na jejich zonálnost.

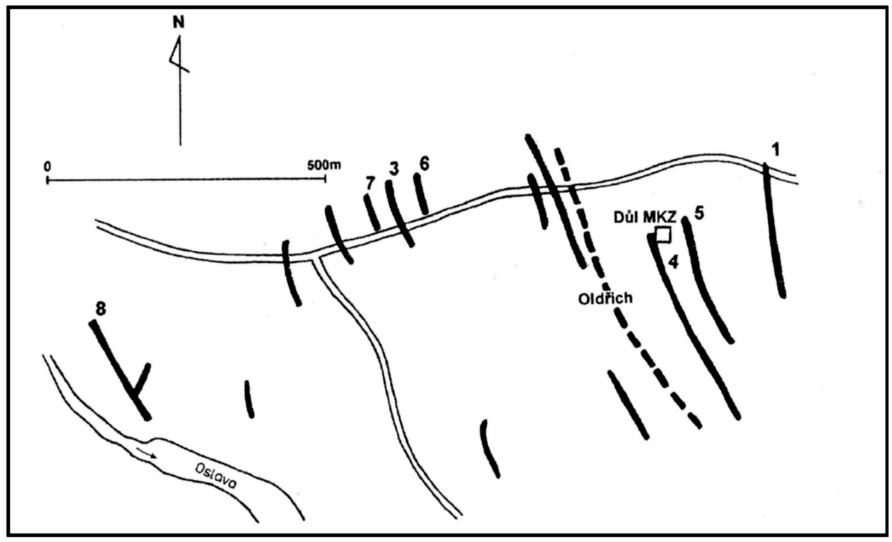
2. GEOLOGICKÁ SITUACE

Pro oblast strážeckého moldanubika je typická hojná přítomnost pegmatitových těles v různém stupni geochemické frakcionace, často s hojným turmalínem (Duda 1986; Staněk 1991, 1997; Novák 2005; Škoda *et al.* 2007; Novák *et al.* 2008; Cempírek *et al.* 2010; Gadas *et al.* 2012; Výravský 2017). Strážecké moldanubikum je tvořeno především silně metamorfovanými, často migmatitizovanými horninami, jako jsou biotitické, biotit-sillimanitické, amfibol-biotitické a kyanit-biotitické ruly. V jižní části vystupuje borský granulitový masiv společně s tělesy serpentinizovaných peridotitů. Dále se vyskytují drobná tělesa amfibolitů, leukokratních rul a dolomitických mramorů.

Studované turmalíny pocházejí z pegmatitových těles vystupujících na lokalitě Dolní Bory – Hatě, která leží přibližně 8 km na SSZ od Velkého Meziříčí a 1,5 km na Z od obce Bory, a spadají do širší borské pegmatitové oblasti. Pegmatity této oblasti lze na základě jejich geochemického vývoje podle Nováka (2005) a Cempírka *et al.* (2010) rozdělit na několik typů: 1) vzácné tenké abysální pegmatitové žilky s grandidieritem a boralsilitem, 2) hrubě zrnité, cordieritem a místy i turmalínem bohaté, nepříliš mocné, pegmatoidní leukosomy, 3) dutinové pegmatity, 4) pegmatity turmalínového a andalusitového subtypu a méně hojné pegmatity fosfátového subtypu, 5) nejvíce frakcionované pegmatity odpovídající lepidolitovému subtypu s charakteristickou přítomností Li-slíd, místy také Li-turmalínů, Li-fosfátů a křemen-spodumenových pseudomorfóz po petalitu.

V oblasti Dolní Bory – Hatě se vyskytují desítky pegmatitových žil různých mocností a délek (Duda 1986), v rámci České republiky se jedná o jedny z nejmocnějších žil, (mocnost žíly Oldřich je až 30 m). Některé z nich byly až do 70. let minulého století těženy na živcové a křemenné suroviny. Schematický přehled nejvýznamnějších těles je uveden na obrázku 1. Žíly jsou v ostrém kontaktu s okolními horninami a jsou orientovány převážně směrem SSZ-JJV s úklonem 50–60° k VSV, což je dáno především tektonickými předpoklady zlomů, vrásových struktur a jejich puklinového systému (Duda 1986; Staněk 1991; Staněk 1997). Pro tyto pegmatity jsou typické vysoké obsahy B, Al, P a Fe a nízký obsah Be (Cempírek *et al.* 2010). Jejich vznik je spojen s variskou orogenezí, radiometrické stáří bylo stanoveno 335,8 ± 2 a 337,2 ± 2 Ma U-Pb metodou na monazitu z žíly Oldřich (Novák *et al.* 1998).

Pegmatity Dolních Borů – Hatí byly předmětem celé řady studií, v době těžby a přístupnosti pegmatitových žil zde byla popsána necelá stovka minerálů (Staněk 1991). Jsou také typovou lokalitou sekaninaitu, Fe^{2+} analogu cordieritu (Staněk a Miškovský 1975). Větší žíly Dolních Borů – Hatí detailněji popisuje Staněk (1997). Z andalusit-diasporové nodule žíly č. 3 studují Novák *et al.* (2008) wolframoixiolit a Výravský *et al.* (2017) se zabývají minerály Sc. Novák *et al.* (2015) se detailně věnují cookeitu. Zájmové žíly č. 5 a č. 8 v Dolních Borech – Hatích byly v meziválečném období těženy a díky tomu byly také relativně dobře odkryty a prozkoumány.



Obr. 1. Schematická mapa významných pegmatitových žil v Dolních Borech – Hatích, převzato ze STAŇKA (1997).
Fig. 1. Schematic map of significant pegmatite dikes in Dolní Bory – Hatě, from STANĚK (1997).

Žíla č. 5 (turmalínový subtyp) tvoří těleso protáhlého deskovitého tvaru o délce cca 750 m s rozsahem mocností od 9 do 13 m. V jejím těsném nadloží leží skrytá žíla č. 5a a předpokládá se, že se hlouběji obě žíly spojují (STANĚK 1997, 2009). Navětralé okraje granitické zóny na žíle č. 5 mají minerální složení: K-živec, plagioklas, křemen, biotit a muskovit. V úzké hrubě zrnité písmenkové zóně (křemen, K-živec) jsou četné pukliny s lištovitými, složitě rozvětvenými agregáty biotitu. Bloková zóna je tvořená K-živcem v kontaktu s masivním křemenným jádrem. V mohutnější metasomatické albitové zóně je hojný turmalín a muskovit. Turmalíny, které jsou považovány za skoryly, zde tvoří sloupcovité automorfní lesklé krystaly s podélným rýhováním, s trigonálním nebo hexagonálním průřezem a opticky a částečně i makroskopicky viditelnou koncentrickou zonálností. Častou akcesorií je apatit (STANĚK 1991, 1997).

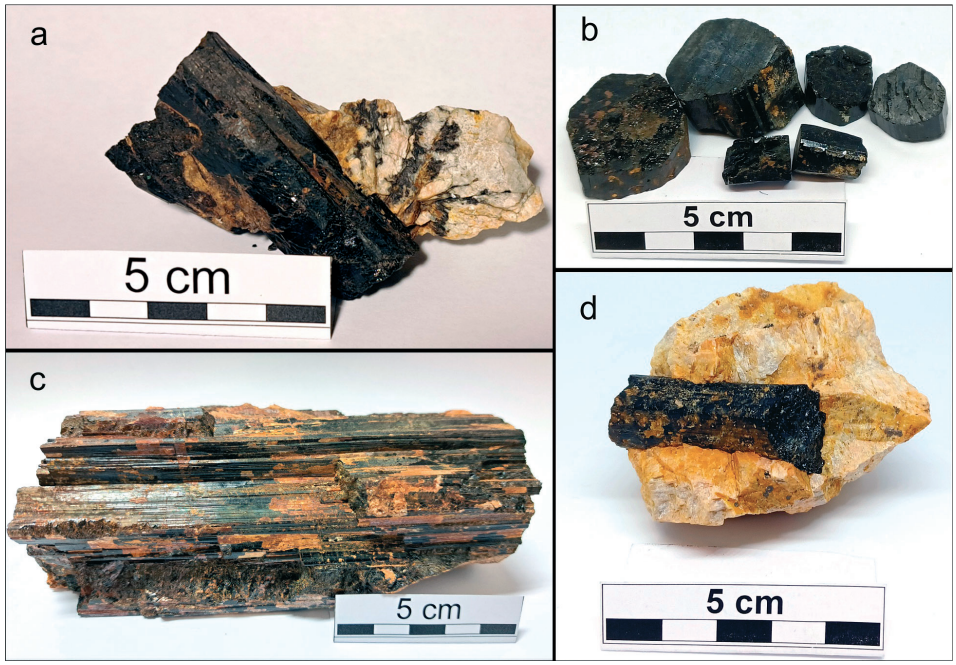
Žíla č. 8 (turmalínový subtyp) patří na lokalitě k mocnějším pegmatitovým žilám s výraznější diferenciací jednotlivých zón. Je přibližně 100 m dlouhá a dosahuje mocnosti až 10 m. Oproti žíle č. 5 má bloková zóna na žíle č. 8 diferencované téměř monominerální křemenné jádro se zonálním zabarvením a samostatnou zónu K-živce (STANĚK 1997). Místy je bloková zóna lemována albitem, ve kterém se nachází stébelnaté až hrubě sloupcovité agregáty hypoparalelně srostlých krystalů turmalínů dosahující délek až 1 m a tloušťky 20 cm. Na této žíle byly rovněž nalezeny velké akumulace andalusitu se zrnky modrého korundu (STANĚK 1991).

3. METODIKA

3.1 Vzorky

Vzorky makroskopicky černých turmalínů pocházejí z hrubozrnné albitové jednotky pegmatitové žíly č. 5 a č. 8. V obou případech turmalín tvoří dobře omezené, dlouze sloupcovité krystaly délky od několika cm s průměrem kolem 1–2 cm (obr. 2). Z žíly č. 8 byly odebrány i vzorky z velkých hypoparalelních agregátů. Kromě albitu, do kterého turmalín zarůstá, se v asociaci vyskytuje muskovit, křemen a K-živec.

Z každé z žil bylo odebráno několik vzorků. Z nich bylo následně vybráno 5 reprezentativních turmalínů (tab. 1), ze kterých byly zhotoveny leštěné výbrusy tak, aby řez byl proveden v rovině kolmé na osu *c*.



Obr. 2. Turmalíny z albitové jednotky žíly č. 5 (a, b) a žíly č. 8 (c, d).
Fig. 2. Tourmalines from the albite unit of dike No. 5 (a, b) and dike No. 8 (c, d).

Tabulka 1. Seznam studovaných vzorků, texturní charakteristika a přehled aplikovaných analytických metod.
Table 1. List of studied samples, textural characteristics, and overview of applied analytical methods.

lokalita	vzorek	zonálnost	analýzy	makroskopický popis
žíla č.5	VS211a	jádro	EPMA	sloupec v albitu
		OD partie	EPMA	
	VS211b	OD partie	EPMA	sloupec v albitu
	VS212	jádro	EPMA, MS, LA-ICP-MS	sloupec v albitu
		OD partie	EPMA, MS, LA-ICP-MS	
žíla č.8	VS213	jádro	EPMA, MS, LA-ICP-MS	sloupec v albitu
		OD partie	EPMA, MS, LA-ICP-MS	
	VS216	jádro	EPMA	fragment
		OD partie	EPMA	hypoparaleního srůstu

3.2 Chemické složení turmalínů

3.2.1 Elektronová mikrosonda (EPMA)

Chemické složení turmalínů bylo stanoveno z pografitovaných leštěných výbrusů (VS211, VS212, VS213, VS216) pomocí elektronové mikrosondy CAMECA SX100 ve vlnově disperzním režimu za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 10 nA a průměr svazku na povrchu vzorku 10 μm. Nízké proudy a defokusovaný elektronový svazek byly použity proto, aby nedocházelo poškození analyzovaného místa a úniku volatilních prvků během mikroanalýzy. Jako standardy byly pro kalibraci použity následující dobře definované přírodní a syntetické fáze: Na (albit), Si, Al, Fe (almandin), K (sanidin), Ca (wollastonit), Mn (Mn_2SiO_4), Ti (anatas), Ba (baryt), Mg (Mg_2SiO_4), Sr ($SrSO_4$), V ($ScVO_4$), Cr (chromit), Ni (Ni), Zn (gahnit), Cl (vanadinit), F (topaz).

Načítací časy na píku se pohybovaly od 10 s pro hlavní prvky po 40 s pro minoritní prvky. Matrix efekt byl korigován použitím X-PHI korekčního algoritmu (Merlet 1994) na změřené RTG intenzity s tím, že do korekce byly zahrnuty i teoretické obsahy B_2O_3 a H_2O. Poměr Si:Al byl kontrolován oproti kyanitovému standardu.

3.2.2 Mössbauerova spektroskopie (MS)

Pro stanovení valence Fe Mössbauerovou spektroskopií byly pomocí diamantové mikrofrézky odebrány vzorky turmalínů z centrální a okrajové části krystalu ze vzorků z obou pegmatitových žil, vzorky VS212 a VS213. Odebraný materiál byl posléze nadrcen v achátové misce pod acetonem. Transmisní Mössbauerovo spektrum na izotopu ^{57}Fe bylo načteno v módu konstantního zrychlení při pokojové teplotě (zdroj ^{57}Co v Rh matrici). Hodnoty izomerního posunu byly kalibrovány proti α-Fe folii. Spektra byla fitována Lorentzovou funkcí a vyhodnocena v programu CONFIT2000 (Žák a Jirásková 2006). Experimentální chyby se pohybují v rozmezí ±0,01 $mm.s^{-1}$ pro hyperjemné parametry a ±1 rel.% pro plochy spektrálních komponent.

3.2.3 Laserová ablace spojená s hmotnostní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (LA-ICP-MS)

Tato metoda byla využita pro stanovení obsahu lehkých prvků, které jsou obtížně stanovitelné anebo nestanovitelné pomocí elektronové mikrosondy, jako B, respektive Li, a také ke stanovení obsahu stopových prvků. Měření probíhalo na přístroji skládajícího se z laserové ablační jednotky Analyte G2 operující s laserem o vlnové délce 193 nm a analyzátoru Agilent 7900 ICP-MS s octopolovou reakční celou. Helium o průtoku 0,65 $l.min^{-1}$ bylo použito jako nosný plyn. Průměr ablačního kráteru byl stanoven na 110 μm, frekvence 10 Hz a fluence laseru byla 3 $J.cm^{-1}$. Jeden analytický bod byl měřen po dobu 60 s; celkem bylo měřeno 34 izotopů (^{7}Li, ^{11}B, ^{24}Mg, ^{27}Al, ^{28}Si, ^{29}Si, ^{45}Sc, ^{47}Ti, ^{56}Fe, ^{57}Fe, ^{66}Zn, ^{71}Ga, ^{72}Ge, ^{89}Y, ^{90}Zr, ^{118}Sn, ^{139}La, ^{140}Ce, ^{141}Pr, ^{146}Nd, ^{147}Sm, ^{153}Eu, ^{157}Gd, ^{159}Tb, ^{163}Dy, ^{165}Ho, ^{166}Er, ^{169}Tm, ^{172}Yb, ^{175}Lu, ^{178}Hf, ^{208}Pb, ^{232}Th, ^{238}U). Pro kalibraci byly použity referenční materiály NIST 610 a NIST 612, kvantifikace byla provedena na sumu hm. % Si + Al zjištěných v místech ablačních kráterů pomocí elektronové mikrosondy. Data byla vyhodnocena pomocí programu Ilaps (Faltusová *et al.* 2022).

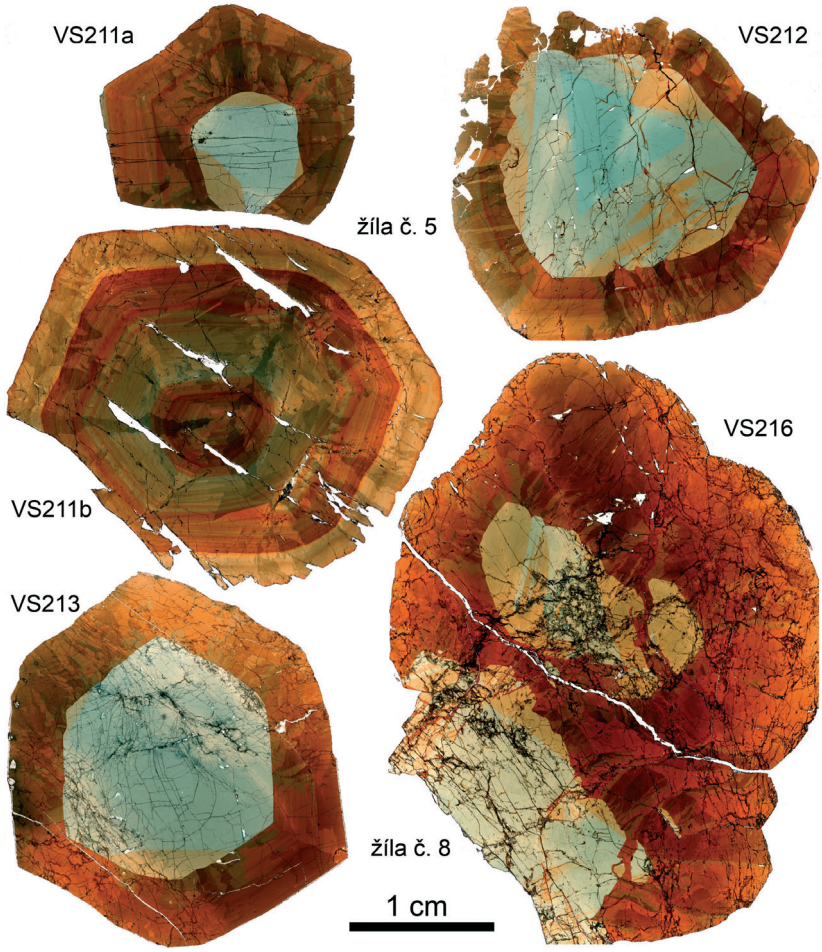
3.2.4 Výpočet empirického vzorce turmalínů

Empirické vzorce byly normalizovány na základě $Y + Z + T = 15$ kationů, B=3. Zastoupení Fe^{3+} bylo použito z výsledků MS. Zastoupení O a OH ve strukturních pozicích V a W bylo vypočteno na základě elektroneutrality.

4. VÝSLEDKY

4.1 Texturní charakteristika turmalínů

Makroskopicky jsou krystaly studovaných turmalínů černé, jak na povrchu, tak uprostřed. Při pohledu pod binokulární lupou je patrná nevýrazná zonálnost. V tenkých úštěpcích prosvítají okrajové části turmalínu hnědě a fragmenty z centrální části krystalu mají často namodralou barvu. Tyto barevné rozdíly vyniknou v tenkých řezech, což je dobře viditelné na leštěných výbrusech (obr. 3). Z výbrusů je patrná ostře omezená centrální část krystalu (**jádro**) šedomodré až světle hnědé barvy s patrnou sektorovou zonálností. Na jádro nasedá vnější tmavší zóna s výraznou jak oscilační, tak tzv. deltovitou zonálností (delta



Obr. 3. Leštěné řezy turmalínů z pegmatitové žíly č. 5 (VS211a, VS211b, VS212) a žíly č. 8 (VS213 a VS216). Většina vzorků se skládá z centrálního jádra s vyvinutou sektorovou zonálností, na které narůstají tmavší partie s oscilační a tzv. deltovou zonálností (souhrnně OD partie). U vzorku VS211b není jádro v řezu zachyceno.

Fig. 3. Polished sections of tourmalines from pegmatite dike No. 5 (VS211a, VS211b, VS212) and dike No. 8 (VS213 and VS216). Most of the samples consist of a central core with developed sectorial zonation, on which darker portions with oscillatory and "delta features" zonation (collectively termed OD portions) grown. Note, the core is not exposed in the section of the sample VS211b.

feature, viz Rustemeyer 2022). Dále v textu budou tyto texturní části krystalů označovány jako **OD partie**. V některých řezech krystalů není jádro vyvinuto a pozorujeme pouze OD partie, (obr. 3, VS211b). Oscilační zonálnost je více vyvinuta u turmalínů z žíly č. 5, na vzorcích z žíly č. 8 výrazně převažuje deltovitá zonálnost (VS213) nebo oscilační zonálnost zcela chybí (VS216).

4.2 Chemické složení turmalínů

Kombinace zvolených analytických metod umožnila kompletní chemickou charakteristiku studovaných vzorků, a to jak z pohledu obsahu hlavních prvků (EPMA, LA-ICP-MS) a valence Fe (MS), tak i zastoupení vybraných stopových prvků (LA-ICP-MS).

Metoda LA-ICP-MS odhalila nízké obsahy Li (≤63 ppm) v turmalínech z obou žil (tab. 2). Změřené obsahy B (3,18–3,23 hm.%) indikují plné obsazení planární BO_3 pozice a neukazují na vstup B do tetraedrické pozice. Vzhledem k vyšší analytické chybě stanovení B pomocí LA-ICP-MS, kolem 5 rel.%, je pro jednoduchost dále uvažován obsah B odpovídající 3 atomům na vzorcovou jednotku (*apfu*). Obsahy Li a dalších stopových prvků nejsou vzhledem ke svým nízkým obsahům do výpočtu empirických vzorců zohledněny.

Tabulka 2. Obsahy Li, B a stopových prvků, stanovených pomocí LA-ICP-MS pro jádro a OD partie u turmalínu z žíly č. 5 (VS212) a žíly č. 8 (VS 213). SD = směrodatná odchylka, LoD = detekční limit.

Table 2. Contents of Li, B, and trace elements determined by LA-ICP-MS for the core (jádro) and OD part (OD partie) of tourmaline from dike No. 5 (VS212) and dike No. 8 (VS 213). SD = standard deviation, LoD = limit of detection.

	VS212 žíla č. 5				VS213 žíla č. 8				
	OD partie		jádro		OD partie		jádro		
µg/g	průměr (n=6)	SD	průměr (n=7)	SD	průměr (n=6)	SD	průměr (n=7)	SD	LoD
Li	57	4	33	11	43	7	28	7	1.420
B	31830	940	32050	1301	32180	904	32250	986	1.370
Sc	132	22	113	10	121	9	135	10	0.024
Zn	538	55	471	18	694	83	656	87	0.131
Ga	163	20	133	3	169	21	168	26	0.011
Ge	5.4	1.1	3.4	0.6	4.5	1.1	3.4	0.7	0.422
Y	0.011	0.004	0.004	0.002	0.024	0.012	0.007	0.003	0.001
Zr	0.28	0.07	0.12	0.04	0.36	0.09	0.38	0.10	0.001
Sn	8.3	1.3	3.4	0.9	10.6	1.8	8.0	1.7	0.076
La	0.49	0.12	0.09	0.02	1.27	0.21	0.23	0.12	0.001
Ce	1.4	0.2	0.2	0.1	2.9	0.5	0.6	0.3	0.001
Pr	0.15	0.02	0.03	0.01	0.27	0.05	0.05	0.03	0.001
Nd	0.47	0.07	0.10	0.03	0.84	0.18	0.16	0.09	0.002
Sm	0.10	0.03	0.03	0.01	0.12	0.03	0.03	0.01	0.004
Eu	0.003	0.002	0.004	0.001	0.010	0.014	0.003	0.001	0.001
Gd	0.058	0.015	0.017	0.009	0.088	0.045	0.020	0.010	0.003
Tb	0.006	0.002	0.002	0.001	0.007	0.002	0.003	0.001	0.001
Dy	0.013	0.005	0.005	0.003	0.022	0.009	0.009	0.005	0.002
Ho	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.002	0.000	0.001
Er	0.005	0.004	0.002	0.000	0.005	0.002	0.003	0.002	0.001
Tm	0.002	0.000	0.002	0.001	0.004	0.002	0.001	0.000	0.001
Yb	0.015	0.004	0.009	0.008	0.009	0.004	0.009	0.004	0.003
Lu	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001
Hf	0.052	0.016	0.035	0.021	0.074	0.020	0.156	0.042	0.002
Pb	0.546	0.057	0.175	0.046	0.495	0.118	0.149	0.050	0.010
Th	0.003	0.001	0.003	0.000	0.012	0.003	0.004	0.002	0.001
U	0.005	0.002	0.004	0.001	0.005	0.001	0.014	0.023	0.002

Výsledky elektronové mikroanalýzy u turmalínů **ze žíly č. 5** (vzorky VS211 a VS212) ukázaly v jádrech vzorků obsahy 34,73–35,71 hm.% SiO_2 a 34,54–35,34 hm.% Al_2O_3. Množství FeO_{tot} 13,13–13,59 hm % výrazně převyšuje nad MgO 0,65–0,74 hm.%. Množství TiO_2 je nízké, 0,16–0,37 hm %, obsahy MnO a ZnO nepřesahují 0,34 hm %. Obsahy Na_2O 1,37–1,56 hm.% převažují na CaO (≤0,06 hm.%) a K_2O (≤0,05 hm.%). Zastoupení F je nízké 0,16–0,34 hm.%. OD partie vzorku turmalínu z žíly č. 5 obsahují oproti centrální části více TiO_2 (0,56–0,67 hm.%), MgO (0,71–1,02 hm.%), Na_2O (1,67–1,99 hm.%) a F (0,33–0,47 hm.%); obsahy Al_2O_3 jsou nepatrně nižší (34,51–34,98 hm.%), (tab. 3). Mössbauerova spektroskopie ukázala, že jádro turmalínu vzorku VS212 obsahuje 6,5 rel.% Fe^{3+} a OD partie 6,4 rel.% Fe^{3+} (tab. 4). Vzhledem k velké chemické podobnosti obou studovaných vzorků (s ohledem na jádro a OD partie) můžeme aplikovat stanovené zastoupení Fe^{3+} i na vzorek VS211. Dostaneme tedy 12,28–12,71 hm.% FeO a 0,95–0,98 hm.% Fe_2O_3 pro centrální partie a 12,80–13,01 hm.% FeO a 0,99–0,99 hm.% Fe_2O_3 pro OD partie.

Empirické vzorce ukazují následující zastoupení jednotlivých prvků. Tetraedrická pozice je dominantně obsazena Si, pouze ojediněle byl zjištěn vstup malého množství Al, do 0,14 *apfu*, pozice *Z* je plně obsazena Al. Zastoupení prvků v pozici *Y* je pro jádro i OD partie podobné a dílčí variace odráží mírnou variabilitu oxidů popsanou výše. Dominantním ionem je Fe^{2+} (1,73–1,80 *apfu*), dále následuje Al (0,71–0,93 *apfu*), Mg (0,16–0,26 *apfu*), Fe^{3+} (0,12–0,13 *apfu*) a Ti (0,02–0,08 *apfu*). Zastoupení Mn a Zn nepřesahuje 0,03 *apfu*. Pozice *X* v centrální části krystalu obsahuje méně Na (0,45–0,51 *apfu*) oproti okrajovým partiím (0,54–0,64 *apfu*). Vzhledem k nízkým obsahům Ca (do 0,01 *apfu*) a K (do 0,01 *apfu*) se hodnoty vakancí pohybují v rozmezí 0,48–0,54 *pfu* pro jádro a 0,34–0,44 pro OD partie. Budeme-li uvažovat plné obsazení *V* pozice OH skupinou, potom ve *W* pozici v jádře převládá O (0,44–0,59 *apfu*) nad OH (0,30–0,42 *pfu*) a F (0,09–0,18 *apfu*), v OD partiích se významněji uplatňuje F (0,18–0,25 *apfu*) na úkor OH (0,20–0,31 *pfu*), přičemž zastoupení O je podobné jako v jádře (0,48–0,60 *apfu*).

Turmalíny **ze žíly č. 8** (vzorky VS 213 a VS216) obsahují v jádře 35,71–36,61 hm.% SiO_2 a 35,62–36,27 hm.% Al_2O_3. Množství FeO_{tot} 11,92–12,58 hm % výrazně převyšuje nad MgO 0,84–1,16 hm.%. Množství TiO_2 je nízké 0,25–0,44 hm %, obsahy MnO a ZnO nepřesahují 0,16 hm %. Obsahy Na_2O 1,19–1,52 hm.% převažují na CaO (≤0,07 hm.%) a K_2O (≤0,05 hm.%). Zastoupení F se pohybuje v rozmezí 0,16–0,34 hm.%. OD partie turmalínů z žíly č. 5 obsahují oproti jádru více FeO_{tot} (12,83–13,04 hm %), TiO_2 (0,78–1,13 hm.%), MgO (0,80–1,09 hm.%), Na_2O (1,58–1,89 hm.%) a F (0,33–0,47 hm.%); obsahy Al_2O_3 jsou nepatrně nižší (34,58–35,46 hm.%). Mössbauerova spektroskopie vzorku VS213 odhalila v jádře 4,9 rel.% Fe^{3+} v OD partii 4,4 rel.% Fe^{3+} (tab. 4). Vzhledem k velké chemické podobnosti obou studovaných vzorků z žíly č 8 (s ohledem na jádro a OD partie) můžeme uvažovat o obdobném zastoupení Fe^{3+} i u vzorku VS216. Dostaneme tedy 11,34–11,96 hm.% FeO a 0,65–0,68 hm.% Fe_2O_3 pro jádra a 12,26–12,82 hm.% FeO a 0,63–0,66 hm.% Fe_2O_3 pro OD partie.

Z empirických vzorců vyplývá následující zastoupení jednotlivých prvků (tab. 3). V *T* pozici dominuje Si, který je minoritně nahrazován Al (≤0,17 *apfu*). Pozice *Z* je plně obsazena Al. V pozici *Y* je dominantním ionem Fe^{2+} jehož zastoupení je jádře mírně nižší (1,57–1,66 *apfu*) ve srovnání s OD partiemi (1,70–1,78 *apfu*). Podobné chování vykazuje i Ti, 0,03–0,05 *apfu* v jádře a 0,10–0,14 *apfu* v OD partiích. Distribuce hliníku má opačný charakter, 0,95–1,01 *apfu* v jádře a 0,69–0,83 *apfu* v OD partiích. Zastoupení Mg (0,20–0,27 *apfu*), Fe^{3+} (0,08–0,09 *apfu*), Mn a Zn (oba ≤0,03 *apfu*) je podobné v obou texturně odlišných partiích. Pozice *X* v jádře krystalu obsahuje méně Na (0,38–0,49 *apfu*) oproti okrajovým partiím (0,51–0,61 *apfu*). Vzhledem k nízkým obsahům Ca (do 0,02 *apfu*) a K (do 0,01 *apfu*) se hodnoty vakancí pohybují v rozmezí 0,50–0,58 *pfu* pro jádro a 0,36–0,46 *pfu* pro OD partie. Budeme-li uvažovat plné obsazení *V* pozice OH skupinou, potom ve *W* pozici v jádře převládá O (0,53–0,66 *apfu*) nad OH (0,27–0,42 *pfu*) a F (0,03–0,09 *apfu*), v OD partiích se opět významněji uplatňuje F (0,10–0,15 *apfu*) na úkor OH (0,21–0,36 *pfu*), přičemž zastoupení O je podobné jako v jádře (0,53–0,67 *apfu*).

Tabulka 3. Chemické složení turmalínů ze žíly č. 5 a č. 8 a jejich empirické vzorce pro jádro a OD partie. STC-procentuální zastoupení dominující sestavy STC, RCA-procentuální zastoupení dominující sestavy RCA. * obsah B dopočten podle stechiometrie, ** množství vody stanoveno podle stechiometrie a na principu elektroneutrality. F-foitit, S-skoryl, OF-oxy-foitit, OS-oxy-skoryl.

Table 3. Representative chemical composition of tourmalines from dikes No. 5 and No. 8 and their empirical formulae for the core (jádro) and OD parts (OD partie). STC-percentage of the dominant STC, RCA-percentage of the dominant RCA. * B content calculated from stoichiometry, ** water content determined from stoichiometry and electroneutrality. F-foitite, S-schorl, OF-oxy-foitite, OS-oxy-schorl.

	žíla č. 5						žíla č. 8					
	jádro			OD partie			jádro			OD partie		
	VS212	VS211	VS211	VS212	VS212	VS211	VS213	VS213	VS216	VS213	VS216	VS216
SiO_2	35.29	35.34	35.60	35.29	35.14	35.21	35.85	35.85	36.36	35.06	35.26	35.25
TiO_2	0.19	0.31	0.19	0.66	0.61	0.66	0.26	0.25	0.28	1.13	1.01	0.78
Al_2O_3	35.04	35.01	35.32	34.98	34.74	34.96	35.99	35.96	36.05	34.99	35.46	35.24
Fe_2O_3	0.95	0.97	0.96	0.99	0.97	0.98	0.67	0.66	0.67	0.66	0.64	0.65
B_2O_3*	10.29	10.36	10.39	10.43	10.33	10.44	10.46	10.45	10.54	10.45	10.44	10.42
MgO	0.68	0.72	0.66	0.80	0.71	1.01	0.93	0.86	0.98	0.98	0.80	0.90
CaO	0.04	0.03	0.03	0.06	0.06	0.05	0.06	0.02	0.04	0.09	0.05	0.06
MnO	0.11	0.12	0.11	0.16	0.14	0.19	0.07	0.11	0.11	0.19	0.16	0.13
FeO	12.28	12.60	12.39	12.97	12.80	12.90	11.65	11.60	11.65	12.82	12.51	12.64
ZnO	0.00	0.17	0.23	0.19	0.02	0.03	0.17	0.29	0.10	0.23	0.01	0.05
K_2O	0.02	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03	0.00	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04
Na_2O	1.56	1.37	1.52	1.67	1.78	1.99	1.31	1.27	1.24	1.86	1.89	1.70
H_2O**	2.93	3.02	3.01	2.97	2.85	2.93	3.08	3.08	3.08	3.02	2.90	2.97
F	0.19	0.34	0.19	0.41	0.38	0.42	0.07	0.09	0.07	0.21	0.21	0.27
F=-O	-0.08	-0.14	-0.08	-0.17	-0.16	-0.17	-0.03	-0.04	-0.03	-0.09	-0.09	-0.11
Total	99.49	100.24	100.53	101.44	100.41	101.61	100.55	100.48	101.18	101.63	101.29	100.99
						X-site						
Na	0.511	0.445	0.492	0.538	0.581	0.642	0.423	0.408	0.398	0.600	0.610	0.551
Ca	0.007	0.005	0.005	0.011	0.012	0.009	0.011	0.003	0.007	0.016	0.009	0.011
K	0.005	0.007	0.003	0.010	0.009	0.006	0.001	0.006	0.011	0.009	0.006	0.009
vac.	0.477	0.542	0.500	0.441	0.398	0.343	0.566	0.583	0.585	0.375	0.375	0.429
						Y-site						
Mg	0.171	0.179	0.164	0.198	0.179	0.250	0.231	0.214	0.241	0.243	0.198	0.224
Mn	0.016	0.018	0.016	0.023	0.020	0.027	0.010	0.016	0.016	0.027	0.023	0.018
Fe^{2+}	1.734	1.768	1.732	1.806	1.800	1.796	1.619	1.612	1.608	1.784	1.742	1.764
Zn	0.000	0.021	0.029	0.023	0.002	0.004	0.021	0.035	0.012	0.028	0.002	0.006
Al	0.934	0.852	0.915	0.744	0.799	0.718	1.003	1.008	1.006	0.695	0.829	0.809
Fe^{3+}	0.121	0.123	0.120	0.123	0.123	0.123	0.083	0.083	0.083	0.082	0.080	0.081
Ti	0.024	0.039	0.024	0.082	0.077	0.082	0.032	0.031	0.035	0.141	0.127	0.098
						Z-site						
Al	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
						T-site						
Si	5.959	5.929	5.954	5.878	5.911	5.860	5.957	5.961	5.997	5.834	5.871	5.880
Al	0.041	0.071	0.046	0.122	0.089	0.140	0.043	0.039	0.003	0.166	0.129	0.120
(BO_3)	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
O	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000
						V-site						
OH	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
						W-site						
F	0.103	0.180	0.102	0.217	0.202	0.218	0.038	0.047	0.035	0.109	0.110	0.141
OH	0.304	0.375	0.357	0.304	0.197	0.250	0.409	0.419	0.388	0.356	0.223	0.309
O	0.593	0.445	0.542	0.480	0.600	0.531	0.553	0.535	0.577	0.535	0.667	0.550
minerál	OS	F	OF	S	OS	OS	OF	OF	OF	OS	OS	OS
STC	51.570	54.210	49.990	52.040	59.070	53.120	55.280	53.470	57.720	53.490	61.590	55.000
RCA	51.570	54.210	49.990	52.040	59.070	53.120	54.340	53.470	54.560	53.490	61.590	55.000

4.3 Stopové prvky v turmalínech

Obsahy lanthanoidů a Y (*REE*) ve studovaných turmalínech jsou nízké, jejich suma nepřesahuje 6 μg/g (tab. 2). Z výsledků je patrné, že okrajové partie nabývají cca 5× vyšších hodnot než centrální části turmalínu. Chondritem normalizovaná křivka lanthanoidů ukazuje mírné obohacení o lehké vzácné zeminy (*LREE*) a zřetelnou negativní Eu anomálii (obr. 4). Zatímco u vzorku VS212 z žíly č. 5 indikují hodnoty pro Eu anomálie nižší míru (0,63) ve středové partii turmalínu ve srovnání s okrajem (0,29), v případě turmalínu z žíly č. 8 je míra Eu anomálie v jádře a okraji shodná (0,47). Obsahy některých těžších *REE* jsou na hranici detekčního limitu, což může způsobovat více rozkolísaný průběh normalizované křivky právě v oblasti těžších *REE*.

Obsahy Sc se pohybují v hodnotách od 113–135 μg/g, přičemž nebyl pozorován žádný vztah mezi zastoupením Sc a analyzovanou oblastí (jádro, okraj). Obsahy všech analyzovaných stopových prvků jsou uvedeny v tabulce 2.

5. DISKUZE

Staněk (1997) označuje turmalíny z pegmatitových žil Dolních Borů – Hatí jako skoryl a foitit. Kromě makroskopicky černého turmalínu uvádí mladší modravé a jehlicovité krystaly narůstající na starší turmalíny nebo na albit. Přestože byly pegmatity z oblasti Dolních Borů – Hatí intenzivně těženy a vzorkovány, a turmalín je na mnoha žilách hojným minerálem, není v odborné literatuře publikováno mnoho jeho chemických analýz. Povondra (1981) uvádí dvě chemické analýzy provedené mokrou cestou (z albitové jednotky a z křemenného jádra), jednu analýzu (průměr ze 7 měření) uvádějí Bačík *et al.* (2011). Gadas *et al.* (2012) studovali turmalíny z dutin granitických pegmatitů strážeckého moldanubika. Do studovaných lokalit zahrnuli i výskyty z Hatí, odkud uvádějí analýzy z jádra, přechodné a okrajové zóny krystalu turmalínu.

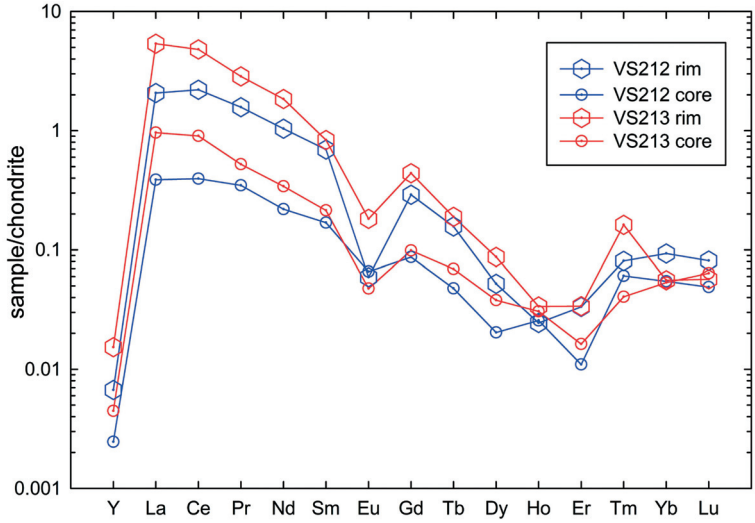
Palčivým problémem studia chemického složení a/nebo klasifikace turmalínů je dostupnost kompletní chemické analýzy, provedené například mokrou cestou. Nevýhodou těchto analýz může být větší objem materiálu potřebného k analýze a také velká míra nejistoty, zda neprovedeme směsnou analýzu různých chemicky odlišných zón. Běžně dostupné analýzy turmalínů pomocí elektronové mikrosondy, umožňující studium mikrometrových domén, jsou zatíženy dvěma nedostatky: 1) není známa valence prvků, což je kritické zejména u Fe, případně Mn, 2) nejsou stanoveny obsahy lehkých prvků (H, Li, B). Koncentraci B lze za určitých podmínek pomocí EPMA stanovit, avšak s velkou chybou stanovení. Tyto faktory znemožní dopočet zastoupení O – OH ve *W*-pozici na základě principu elektroneutrality. Doplněním EPMA analýz o stanovení lehkých prvků (LA-ICP-MS) valence Fe pomocí Mössbauerovy spektroskopie, ideálně separací homogenních domén, dostaneme kompletní chemickou analýzu, u které lze s velkou mírou jistoty spolehlivě dopočítat obsazení *W*-pozice.

Chemické složení námi studovaných turmalínů je do jisté míry podobné již publikovaným analýzám. Povondra (1981) uvádí zastoupení Fe^{3+} 4,4 a 10,8 rel.%. Tyto hodnoty jsou v souladu s údaji zjištěnými z MS (4,4–6,9 rel.% Fe^{3+}). Přestože Bačík *et al.* (2011) uvádějí obdobné složení turmalínu z Dolních Borů – Hatí, jejich MS měření ukázalo nulové zastoupení Fe^{3+}. Variabilita v zastoupení Fe^{3+} může být tedy v rámci různých pegmatitových žil větší, bohužel u uvedených analýz chybí přesnější lokalizace vzorků. Analýzy uvedené Povondrou (1981) rovněž potvrzují, že obsahy B odpovídají 3 *apfu* a tudíž není důvod předpokládat vstup B do tetraedrické pozice. Charakteristickým rysem analýz turmalínů z Dolních Borů – Hatí je vstup Al do *Y*-pozice, vysoké zastoupení Fe a nízké množství Mg. Toto složení odráží celkovou geochemickou signaturu některých borských pegmatitů, pro které je výrazné obohacení o Fe a Al (přítomnost sekaninaitu, andalusitu, diasporu, či korundu) typické (Cempírek *et al.* 2010).

Tabulka 4. Výsledky Mössbauerovy spektroskopie pro jádro a OD partie u turmalínu z žíly č. 5 (VS212) a žíly č. 8 (VS213).

Table 4. Mössbauer spectroscopy results of the core (jádro) and OD part (OD partie) of tourmaline from dike No. 5 (VS212) and dike No. 8 (VS213).

			VS212 žíla č. 5				VS213 žíla č. 8			
			jádro		OD partie		jádro		OD partie	
	Isomer shift	[mm/s]	1.087	± 0.002	1.078	± 0.003	1.086	± 0.006	1.076	± 0.002
Y1-site	Quadrupole shift/splitting	[mm/s]	2.473	± 0.012	2.615	± 0.032	2.938	± 0.024	2.512	± 0.029
Fe^{2+}	width	[mm/s]	0.289	± 0.013	0.258	± 0.043	0.334	± 0.039	0.473	± 0.016
	Area fraction		0.545	± 0.060	0.168	± 0.060	0.128	± 0.026	0.527	± 0.094
	Isomer shift	[mm/s]	1.07	± 0.011	1.079	± 0.002	1.093	± 0.004	1.068	± 0.009
Y2-site	Quadrupole shift/splitting	[mm/s]	2.156	± 0.069	2.305	± 0.027	2.362	± 0.020	2.132	± 0.082
Fe^{2+}	width	[mm/s]	0.325	± 0.105	0.339	± 0.050	0.475	± 0.065	0.435	± 0.180
	Area fraction		0.187	± 0.072	0.454	± 0.076	0.357	± 0.053	0.177	± 0.112
	Isomer shift	[mm/s]	1.058	± 0.015	1.043	± 0.025	1.06	± 0.005	1.079	± 0.009
Y3-site	Quadrupole shift/splitting	[mm/s]	1.504	± 0.088	1.853	± 0.102	1.824	± 0.044	1.523	± 0.097
Fe^{2+}	width	[mm/s]	0.597	± 0.052	0.569	± 0.041	0.673	± 0.024	0.715	± 0.029
	Area fraction		0.203	± 0.039	0.314	± 0.063	0.466	± 0.049	0.251	± 0.067
	Isomer shift	[mm/s]	0.105	± 0.029	0.29	± 0.095	0.045	± 0.020	0.105	± 0.030
Y-site	Quadrupole shift/splitting	[mm/s]	0.284	± 0.058	0.36	± 0.177	0.632	± 0.043	0.253	± 0.044
Fe^{3+}	width	[mm/s]	0.264	± 0.041	0.446	± 0.084	0.382	± 0.064	0.311	± 0.046
	Area fraction		0.065	± 0.015	0.064	± 0.017	0.049	± 0.011	0.044	± 0.012

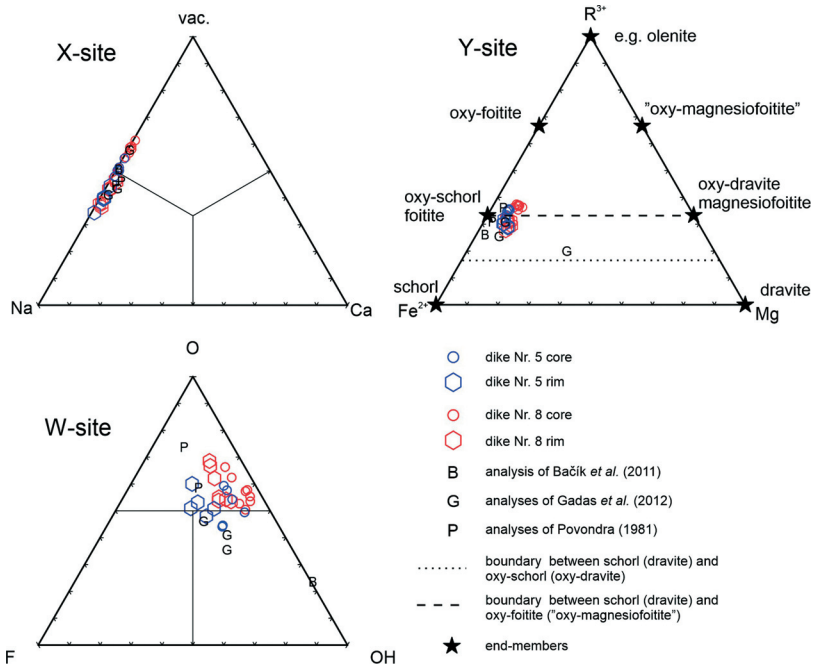


Obr. 4. Křivka distribuce *REE* normalizovaná chondritem (McDonough a Sun, 1996) pro jádro (core) a OD partie (rim) u turmalínu z žíly č. 5 (VS212) a žíly č. 8 (VS 213). Každá z křivek je průměrem 6–7 LA-ICP-MS analýz. Z křivek je patrné nabohacení o *LREE* výraznější negativní Eu anomalie u turmalínu z žíly č. 5 ve srovnání s žilou č. 8. Za zmínku stojí i velmi nízké obsahy Y.

Fig. 4. Chondrite-normalized *REE* pattern (McDonough and Sun, 1996) for the core and OD parts (rim) of tourmaline from dike No. 5 (VS212) and dike No. 8 (VS 213). Each curve is an average of 6–7 LA-ICP-MS analyses. The patterns of the tourmaline from dike No. 5 show an enrichment by *LREE* and the more pronounced negative Eu anomaly compared to tourmaline from dike No. 8. The very low Y content is noteworthy.

Klasifikace turmalínů

Podíváme-li se na chemické složení turmalínů pohledem platné klasifikace superskupiny turmalínu (Henry *et al.* 2011), je patrné, že na základě obsazení *X*-pozice spadá část turmalínu do alkalických a část do vakantních turmalínů. Na základě obsazení pozice *W* převážná část analýz spadá do pole oxy-turmalínů, část analýz spadá do pole OH dominantních turmalínů. Vzhledem k předpokládanému plnému obsazení *Z*-pozice Al, bude tedy pro klasifikaci klíčové prvkové a nábojové obsazení pozice *Y*. Současné doporučení mezinárodní mineralogické asociací IMA upřednostňuje při klasifikaci minerálů tzv. pravidlo dominantní valence. Aplikaci tohoto pravidla na komplexní minerály a složení vyznačující se souběhem homovalentních a heterovalentních substitucí navrhli Bosi *et al.* (2019). Hierarchicky je nejprve pro jednotlivé strukturní pozice určena sestava dominujícího rozložení náboje v krystalochemickém vzorci (kombinace site-total-charge arrangements, STC) a následně jí podřízená dominující sestava (root-charge-arrangements, RCA) konstituentů reprezentujících toto rozložení náboje. Pro takto vybranou sestavu RCA je aplikací pravidla dominantního konstituentu (iontu) určen odpovídající koncový člen. V závislosti na drobných variacích chemického složení lze na základě převažující komponenty označit jádra turmalínu z žíly č. 5 jako foitit, oxy-foitit a ojediněle i oxy-skoryl. Vyšší obsahy Na ve strukturní pozici *X* u OD partií způsobily, že turmalíny s tímto chemickým složením lze klasifikovat jako oxy-skoryl, ojediněle i jako skoryl. Podobně lze klasifikovat i turmalín z žíly č. 8. Jádra těchto turmalínů odpovídají oxy-foititu a OD partie oxy-skorylu. Procentuální zastoupení převažující komponenty počítané podle STC a RSA u reprezentativních analýz je zobrazeno v tabulce 3.



Obr. 5. Obsazení strukturních pozic *X*, *Y* a *W* turmalínů z pegmatitové žíly č. 5 a žíly č. 8 doplněné o již publikované analýzy turmalínů z Dolních Borů – Hatí (bez přesnější lokace).

Fig. 5. Occupation of *X*, *Y* and *W* structural positions of tourmalines from pegmatite dike No. 5 and dike No. 8 supplemented by previously published analyses of tourmalines from Dolní Bory – Hatě (without precise location).

Výsledky chemického složení rovněž ukázaly, že původně uváděný skoryl je v albitových zónách pegmatitů č. 5 a č. 8 vzácným minerálem. Dílem to lze přisoudit relativně nově popsanému minerálu oxy-skorylu (Bačík *et al.* 2013), který nebyl v osmdesátých a devadesátých letech minulého století znám, i když Povondra (1981) poukazuje na substituční trendy vedoucí k oxy-skorylu a oxy-foititu. Analýzy publikované Povondoru (1981) odpovídají skorylu a oxy-skorylu. Lem turmalínu krystalizujícího do dutiny, studovaný Gadasem *et al.* (2012) odpovídá foititu a je celkově více obohacený o MgO (3,67 hm. %). Takové složení nebylo ve studovaných vzorcích zaznamenáno. Turmalíny z dutinových pegmatitů strážeckého moldanudika (Gadas *et al.* 2012) mají obsahy MgO ještě mnohem významnější (až 6,61 hm. %), což svědčí buď o méně frakcionovaném zdroji, nebo o kontaminaci Mg bohatým materiálem.

Obsahy *REE* jsou ve studovaných turmalínech velmi nízké (do 6 μg/g). Na základě distribučních koeficientů pro *REE* u turmalínu, které van Hinsberg (2011) uvádí blízko 1, můžeme usoudit na nízké koncentrace těchto prvků v prostředí, ze kterého turmalíny krystalovaly. Přítomnost většího množství krystalů monazitu a xenotimu, ve vazbě především na krystaly ilmenitu z blokové zóny, známé z některých pegmatitových žil z Hatí, indikují procesy vedoucí k lokálnímu obohacení o *REE*. Významnou úlohu pro obsahy *REE* v turmalínech bude hrát vzájemná krystalizační posloupnost minerálů koncentrující tyto prvky. Oproti námi zjištěným hodnotám může suma *REE* v turmalínech z NYF pegmatitů dosáhnout až X00 μg/g (Bačík *et al.* 2012; Čopjaková *et al.* 2013).

6. ZÁVĚRY

Studium turmalínů z albitových jednotek pegmatitů č. 5 a č. 8 ukázalo na dominanci v zastoupení oxy-foititu, oxy-skorylu nebo foititu v jádrech turmalínů a přítomnost oxy-skorylu, vzácně i skorylu v OD partiích. Turmalíny z pegmatitových žil v oblasti Dolních Borů – Hatí by si zasloužily systematičtější studii, s ohledem na jednotlivá pegmatitová tělesa, jejich genetickou pozici v rámci pegmatitu (bloková zóna, albitová jednotka, křemenné jádro, dutiny, mladší turmalín na trhlinách atd.) a také s ohledem na asociující minerály.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři děkují recenzentům Peteru Bačíkovi a Luboši Vrtiškovi za cenné připomínky, které pomohly zlepšit kvalitu rukopisu. Další díky patří Evě Víškové za editování rukopisu. Předložené práce vznikla za podpory projektu Specifického výzkumu Masarykovy University MUNI/A/1570/2021 a MUNI/A/1271/2022.

LITERATURA

Bačík, P., Ozdín, D., Miglierini, M., Kardošová, P., Pentrák, M., Haloda, J., 2011: Crystallochemical effects of heat treatment on Fe-dominant tourmalines from Dolní Bory (Czech Republic) and Vlachovo (Slovakia). – Physics and Chemistry of Minerals, 38, 599–611.

Bačík, P., Uher, P., Ertl, A., Jonsson, E., Nysten, P., Kanický, V., Vaculovič, T., 2012: Zoned REE Enriched Dravite from a Granitic Pegmatite in Forshammar Bergslagen Province, Sweden an EMPA, XRD and LA-ICP-MS Study. – The Canadian Mineralogist, 50, 4, 825–841.

Bačík, P., Cempírek, J., Uher, P., Novák, M., Ozdín, D., Filip, J., Škoda, R., Breiter, K., Klementová M., Ďuďa R., Groat, L. A., 2013: Oxy-schorl, Na ($Fe^{2+}{}_2Al$) $Al_6Si_6O_{18}(BO_3)_3$ $(OH)_3O$, a new mineral from Zlatá Idka, Slovak Republic and Přibyslavice, Czech Republic. – American Mineralogist, 98, 2–3, 485–492.

Bosi, F., Hatert, F., Hálenius, U., Pasero, M., Miyawaki, R., Mills, S. J., 2019: On the application of the IMA–CNMNC dominant-valency rule to complex mineral compositions. – Mineralogical Magazine, 83, 5, 627–632.

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. – American Mineralogist, 95, 10, 1533–1547.

Čopjaková, R., Škoda, R., Vašinová Galiová, M., Novák, M., 2013: Distributions of Y+ REE and Sc in tourmaline and their implications for the melt evolution; examples from NYF pegmatites of the Třebíč Pluton, Moldanubian Zone, Czech Republic. – Journal of Geosciences, 58, 2, 113–131.

Duda, J., 1986: Pegmatites in the Bory granulite massif. – Sborník geologických Věd, Ložisková geologie a mineralogie, 27, 157–202.

Faltusová V., Vaculovič T., Holá M., Kanický V., 2022: Ilaps – python software for data reduction and imaging with LA-ICP-MS. – Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 37, 733–740.

Gadas, P., Novák, M., Staněk, J., Filip, J., Galiová, M. V., 2012: Compositional evolution of zoned tourmaline crystals from pockets in common pegmatites of the Moldanubian Zone, Czech Republic. – The Canadian Mineralogist, 50, 4, 895–912.

Hawthorne, F. C., Henry, D. J., 1999: Classification of the minerals of the tourmaline group. – European Journal of Mineralogy, 11, 2, 201–215.

Hawthorne, F. C., Dirlam, D. M., 2011: Tourmaline the indicator mineral: From atomic arrangement to Viking navigation. – Elements, 7, 5, 307–312.

van Hinsberg, V. J., 2011: Preliminary experimental data on trace-element partitioning between tourmaline and silicate melt. – The Canadian Mineralogist, 49, 1, 153–163.

Henry, D. J., Novák, M., Hawthorne, F. C., Ertl, A., Dutrow, B. L., Uher, P., Pezzotta, F., 2011: Nomenclature of the tourmaline-supergroup minerals. – American Mineralogist, 96, 5–6, 895–913.

McDonough W. F., Sun S. S., 1995: The composition of the Earth. – Chemical Geology, 120, 223–253.

Merlet, C., 1994: An accurate computer correction program for quantitative electron probe microanalysis. – Microchimica acta, 114, 363–376.

Novák, M., 2005: Granitické pegmatity Českého masivu (Česká republika); mineralogická, geochemická a regionální klasifikace a geologický význam. – Acta Musei Moraviae, Scientiae naturales. 90, 3–74.

Novák, M., Černý, P., Kimbrough, D. L., Taylor, M. C., Ercit, T. S., 1998: U-Pb ages of monazite from granitic pegmatites in the Moldanubian Zone and their geological implications. – Acta-Universitatis Carolinae Geologica, 309–309.

Novák, M., Johan, Z., Škoda, R., Černý, P., Šrein, V., Veselovský, F., 2008: Primary oxide minerals in the system WO_3–Nb_2O_5–TiO_2–Fe_2O_3–FeO and their breakdown products from the pegmatite No. 3 at Dolní Bory-Hatě, Czech Republic. – European Journal of Mineralogy, 20, 4, 487–499.

Novák, M., Henry, D., Hawthorne F. C., Ertl, A., Uher, P., Dutrow, B., and Pezzotta, F., 2009: Nomenclature of the tourmaline-group minerals. – Report of the Subcommittee on Tourmaline Nomenclature to the International Mineralogical Association's Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification.

Novák, M., Čopjaková, R., Dosbaba, M., Galiová, M. V., Všianský, D., Staněk, J., 2015: Two paragenetic types of cookeite from the Dolní Bory-Hatě pegmatites, Moldanubian Zone, Czech Republic: Proximal and distal alteration products of Li-bearing sekaninaite. – The Canadian Mineralogist, 53, 6, 1035–1048.

Povondra P., 1981: The crystal chemistry of tourmalines of the schorl-dravite series. – Acta Universitatis Carolinae, Geologica, 223–264.

Rustemeyer, P., 2022: The inner architecture of tourmaline crystals, as inferred from the morphology of color zones in thin slices. – Journal of Geosciences, 67, 2, 103–128.

Staněk, J., 1991: Parageneze minerálu pegmatitových žil z Hatí u Dolních Boru na západní Moravě. – Acta Musei Moraviae, Scientiae naturales, 76, 1–2, 19–49.

Staněk, J., 1997: Asociace minerálů významnějších pegmatitových žil v Hatích u Dolních Borů na západní Moravě. – Acta Musei Moraviae, Scientiae Geologicae, 82, 3–19.

Staněk, J., 2009: Minerály Borů a Cyrilova u Velkého Meziříčí. – 1–102, Vydavatel obec Bory.

Staněk, J., Miškovský, J., 1975: Sekaninaite, a new mineral of the cordierite series, from Dolní Bory, Czechoslovakia. – Scripta Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis, Geologia, 5, 21–30.

Škoda, R., Staněk, J., Čopjaková, R., 2007: Minerální asociace fosfátových nodulí z granitického pegmatitu od Cyrilova u Velkého Meziříčí, moldanubikum; Část I primární a exsoluční fáze. – Acta Musei Moraviae, Scientiae Geologicae, 92, 59–74.

Výravský, J., Novák, M., Škoda, R., 2017: Formation of pretulite ($ScPO_4$) by recrystallization of Sc-rich precursors in Dolní Bory pegmatite: Evidence for different mobility of Sc, Y, REE and Zr in hydrothermal conditions. – Chemical Geology, 449, 30–40.

Žák, T., Jirásková, Y., 2006: CONFIT: Mössbauer spectra fitting program. – Surface and Interface Analysis, 38, 710–714.