

<https://doi.org/10.46861/bmp.28.466>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Minerály pegmatitových hnízd z okolí Jablonce nad Nisou (krkonošsko-jizerský pluton) - část I. silikáty

Minerals of pegmatite nests from the surroundings of Jablonec nad Nisou (Krkonoše-Jizera Pluton) - part I. Silicates

JANA ULMANOVÁ* A ZDENĚK DOLNÍČEK

*Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9;***e-mail: jana.ulmanova@nm.cz*

ULMANOVÁ J., DOLNÍČEK Z (2020) Minerály pegmatitových hnízd z okolí Jablonce nad Nisou (krkonošsko-jizerský pluton) - část I. silikáty. Bull Mineral Petrolog 28(2): 466-482 ISSN 2570-7337

Abstract

We have studied silicate minerals in pegmatite nests from the Tanvald Granite (4 sites) and the Liberec Granite (1 site) in the vicinity of Jablonec n. Nisou, situated within the Variscan Krkonoše-Jizera Pluton. They contain major quartz, K-feldspar and plagioclase (An_{0-11}), subordinate biotite, muscovite and locally schorl. Accessory phases include garnet (spessartine-almandine), andalusite, Hf-rich zircon and thorite. In addition, zinnwaldite was found in a single sample. The studied pegmatites show simple internal structure including aplitic, granitic and coarse-grained "blocky" units; the central zone commonly contains miarolitic cavity which is sometimes filled by tourmaline. The mineral composition and fractionation degree largely reflect those of the host granite; the more fractionated are pegmatites hosted by the Tanvald Granite. The pegmatite nest from Nová Ves nad Nisou II exhibits distinct mineral assemblage with zinnwaldite, pure albite and lack of biotite and garnet, therefore we suggest here a substantial modification of mineral assemblage by superimposed processes. Moreover, tourmaline (schorl) composition with local increasing of Mg toward rim indicates a possible contamination derived from adjacent rocks during tourmaline crystallization.

Key words: Tanvald granite, Liberec granite, Krkonoše-Jizera pluton, granitic pegmatite, zinnwaldite, schorl, garnet

Obdrženo 27. 10. 2020; přijato 14. 12. 2020

Úvod

Pegmatity krkonošsko-jizerského plutonu jsou v povědomí mineralogické veřejnosti hlavně díky sběratelsky atraktivním krystalům záhněd z Wagnerova lomu v Liberci, ale moderními metodami nebyly dosud prozkoumány. Zdejší pegmatity obvykle tvoří ostře omezené čočky a žíly a neostře omezená hnízda v granitu (Čech et al. 1981). Tyto pegmatity jsou charakterizovány převážně jako miarolitické NYF pegmatity s nízkým stupněm frakcionace (Novák 2005). Dalšími známými lokalitami jsou kromě Liberce například Raspenava, Fojtka, Smržovka, aj. (obr. 1). Dosud popsanými minerály jsou v nich křemen, K-živec, albit, turmalín, biotit, muskovit, vzácně beryl (Čech et al. 1981, Novák 2005). Fišera a Rychlý (1983) popsali z dvojslídneho pegmatitu u Jablonce nad Nisou i topaz. K hydrotermálním fázím zdejších pegmatitů řadí Čech et al. (1981) epidot, chlorit, allanit, titanit, zeolity (analcim, chabazit, stilbit), kalcit a fosfouranylit. V polské části krkonošsko-jizerského plutonu, kde jsou pegmatitová tělesa a hnízda rovněž častým jevem, je jejich mineralogická prozkoumanost mnohem větší než v české části a je tam patrně i díky tomu popsáno také větší množství minerálů. Například zde byly popsány: gadolinit-(Y), monazit-(Ce), monazit-(Nd), xenotim, fergusonit-(Y), cheralit-(Nd), columbit, pyrit, galenit, sfalerit, tetraedrit, ryzí stříbro, ryzí zlato, ryzí bismut, magnetit, hematit, rutil, anatas, brookit, kasiterit, wolframit, scheelit, fluorapatit, almandin-spes-

sartin (Kozłowski, Sachanbiński 2007), aeschynit-(Y) (Kozłowski et al. 2016), kristiansenit (Evans et al. 2018), liandradit, ixiolit (Matyszczyk 2018) a další.

Na podzim roku 2018 byla autory této práce objevena při terénním průzkumu pegmatitová hnízda uložená ve volných balvanech tanvaldského granitu v lese při jz. okraji Jablonce nad Nisou při katastrální hranici s Novou Vsí nad Nisou a také na katastrálním území Nové Vsi nad Nisou. Později byla autory nalezena pegmatitová hnízda, rovněž v tanvaldském granitu, v neaktivním lomu v Dolní Černé Studnici a ve volném úlomku na pastvině v Lučanech nad Nisou. Podrobnějšímu mineralogickému popisu těchto nálezů se věnuje tato práce. Vzhledem k poměrně velkému počtu nově objevených minerálů jsme problematiku rozdělili do dvou článků. V této první části přinášíme informace o minerálech ze skupiny silikátů, zatímco předmětem druhé části budou minerály ze skupiny prvků, sulfidů, halogenidů, oxidů a fosfátů.

Geologická charakteristika

Krkonošsko-jizerský pluton je situován při sv. okraji Českého masivu a zároveň jde o největší pluton luga karbonského stáří (315 ± 3 - 320 ± 3 Ma; U-Pb datování na zirkonech; Žák et al. 2013; 311 ± 4 - 318 ± 6 Ma; U-Pb datování na monazitech; Kusiak et al. 2014), který je vmístěn do spodnopaleozoických metamorfítů krkonošsko-jizerského krystalinika. Převažující horninou je porfyrický,

středně až hrubě zrnitý biotitický granit dělený dle Žáka a Klomínského (2007) na jizerský a liberecký granit (obr. 1). Oba typy jsou si makroskopicky dosti podobné a jejich typickým znakem je přítomnost vyrostlic růžových K-živců. Obsahují stejné akcesorické minerály (allanit-(Ce), zirkon, fluorapatit), ale liší se velikostí vyrostlic, modálním i chemickým složením a magnetickými vlastnostmi (Chaloupský et al. 1989; Jarchovský et al. 2010; Žák et al. 2013).

Ve střední části plutonu vystupují biotitický, středně zrnitý neporfyrický granit (harrachovský typ) a drobnozrnitý až aplitický biotitický neporfyrický granit (krkonošský typ), které budují svahy krkonošského hřebene. Jedná se o granity I-typu stejně jako v případě liberecké a jizerské žuly (Libalová 1964; Žák, Klomínský 2007; Kozłowski et al. 2016).

Při jihozápadním a západním okraji plutonu se vyskytují dvě samostatná izolovaná tělesa dvojslídového alkalicko-živcového granitu (tanvaldský typ). Původně se jednalo o jedno magmatické těleso, jehož intruze předcházela intruzím ostatních typů granitů, a které bylo jimi později asimilováno nebo segmentováno (Klomínský et al. 2009). Staří intruze tanvaldského granitu bylo určeno U-Pb datováním na zirkonu na 317.3 ± 2 (Žák et al. 2013). Tanvaldský typ se od ostatních granitů krkonošsko-jizerského plutonu v některých ohledech významně odlišuje. Kromě toho, že obsahuje obě slídy (ve zhruba stejném množství), tak je z plagioklasů přítomen pouze albit. Jedná se o S-typový granit. Z akcesorických minerálů často obsahuje stejně jako I-typové granity magnetit, monazit-(Ce) a zirkon, navíc pak granát (spessartin-almandin) a andalusit (Klomínský et al. 2007, 2009; Fediuková et al. 2008). Převážně je tanvaldský typ středně a stejnoměrně zrnitý, v zóně při kontaktu s libereckým granitem je však hruběji zrnitý a nevýrazně porfyrický. Dále je v této

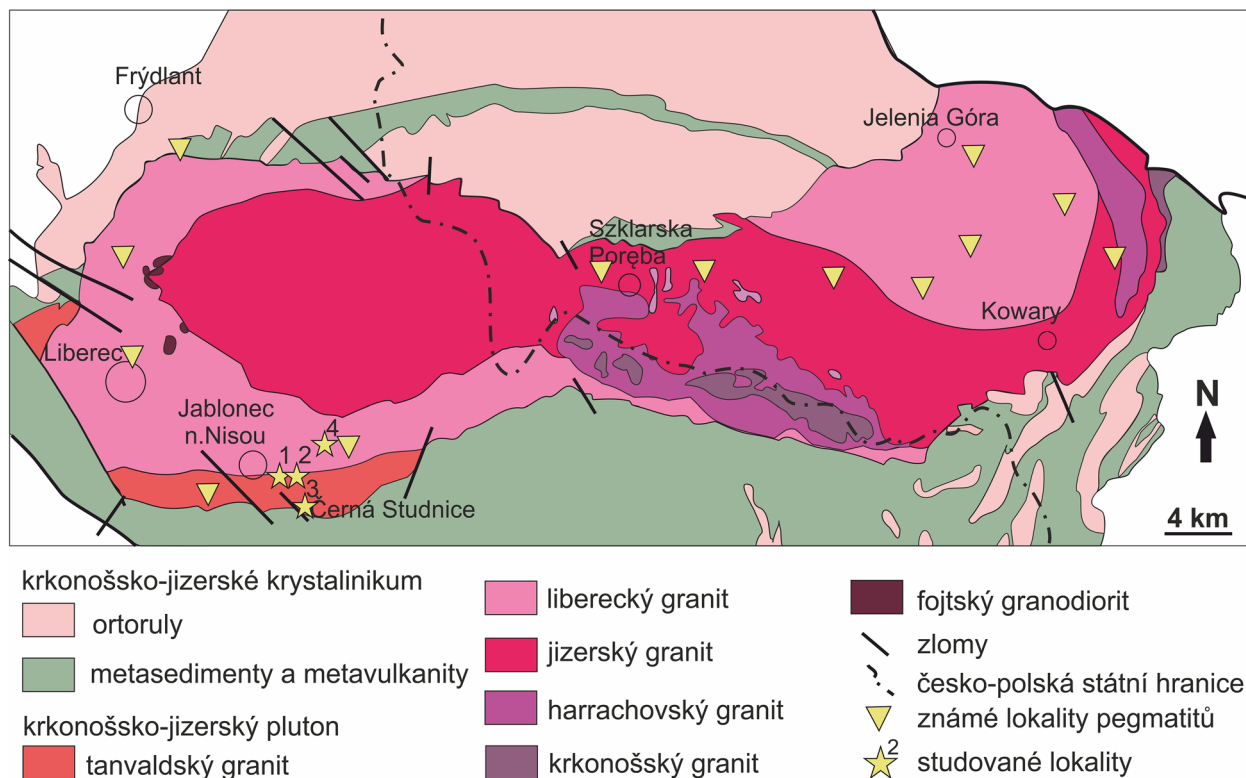
kontaktní zóně na rozdíl od zbytku tělesa tanvaldského granitu výrazná převaha biotitu nad muskovitem a celkový obsah slíd je poněkud nižší (kolem 5 obj. %). Patrná je také geochemická variabilita v rámci tělesa, kdy směrem ke kontaktu s krystalinikem klesá obsah CaO, MgO, K₂O a stoupá obsah mobilních stopových prvků (zejména F a Rb; Klomínský et al. 2007).

Plášť krkonošsko-jizerského plutonu je tvořen metamorfity krkonošského krystalinika, reprezentovanými zejména pararulami, ortorulami a amfibolity (obr. 1).

Metodika výzkumu

Nábrusy a leštěné výbrusy ke studiu v odraženém (resp. procházejícím) světle a následně mikroanalýze byly zhotoveny standardním způsobem. Leštěné výbrusy byly nejprve studovány a zdokumentovány v procházejícím světle na optickém polarizačním mikroskopu Nikon E600.

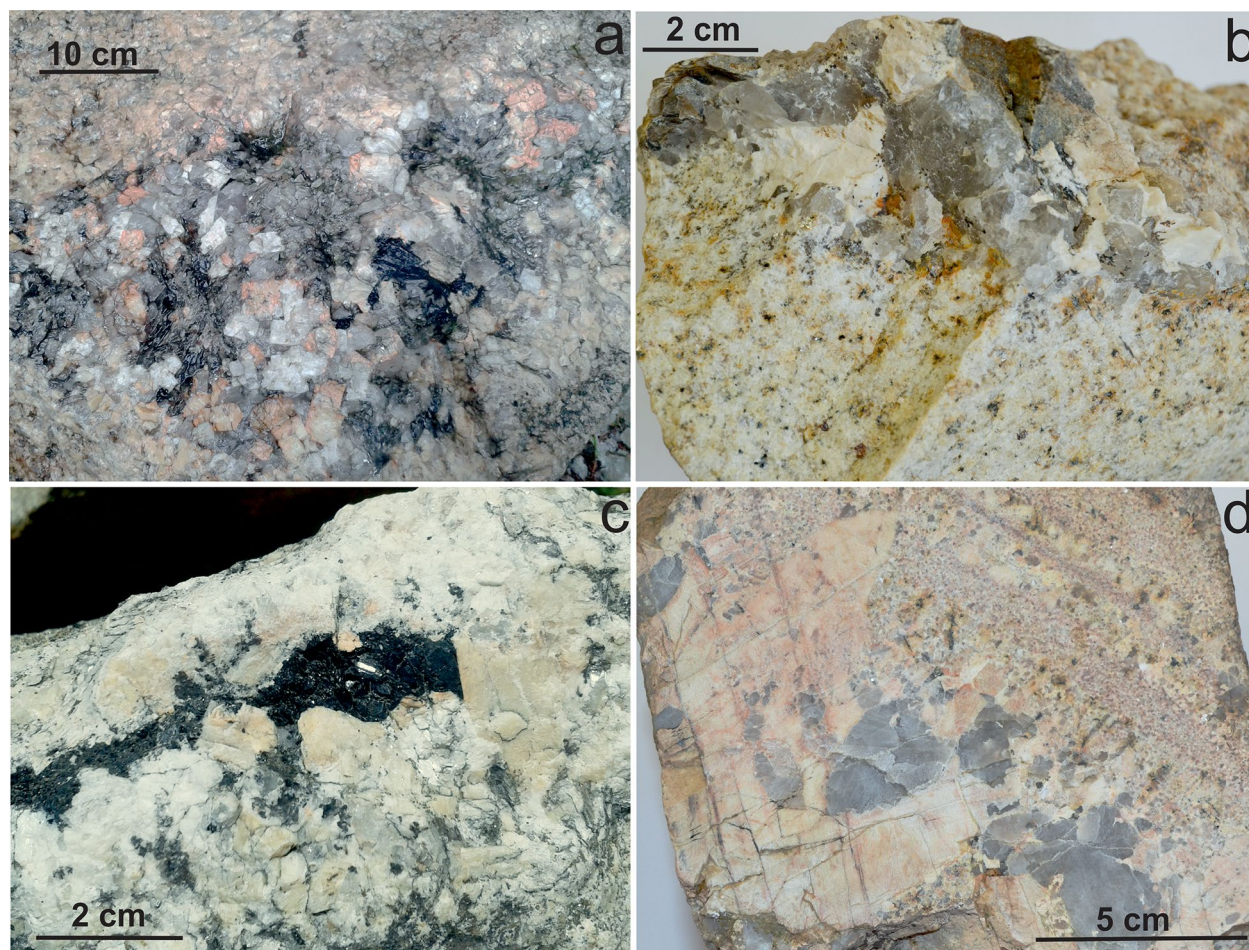
Vzorky byly následně potaženy vrstvou uhlíku o tloušťce 30 nm a dále studovány pomocí elektronové mikroskopy Cameca SX-100 (Národní muzeum, Praha). Při kvantitativních analýzách zhotovených ve vlnově disperzním módu bylo použito urychlovací napětí 15 kV, proud 10 nA a průměr elektronového svazku 2 μm. V živcích a andalusitu byly měřeny obsahy Mg, Al, Si, P, Ca, Na, K, Ba, Fe, Zn, Sr, Pb, Mn, Rb, Cs. Ve fylosilikátech, granátech a turmalínech byly měřeny obsahy Na, Al, Si, Mg, P, K, Ti, Fe, V, Cr, Zn, Mn, Ba, Ca, F, Cl, Cs, Rb, Sb, Pb, Cu, Co, Ni, N. V zirkonu a thoritu byly měřeny obsahy As, P, Y, Na, Al, Si, S, U, Ba, K, Ca, Sr, Fe, Ti, Ce, V, F, La, Pr, Nd, Pb, Sm, Gd, Th, Zr, Eu, Yb, Tb, Dy, Er, Tm, Lu, Ho, Mn, Sc, Hf, Bi. Při analýzách byly použity následující standardy a analytické čáry: albit (NaKα), almandin (AlKα, FeKα), antimonit (SbLα), apatit (PKα), baryt (BaLα), BN (NKα), celestin (SKα, SrLβ), Cr₂O₃



Obr. 1 Zjednodušená mapa krkonošsko-jizerského krystalinika (upraveno dle Žáka et al. 2013) s vyznačenými výskyty pegmatitů a pozicemi studovaných lokalit: 1 - Jablonec n. Nisou, 2 - Nová Ves n. Nisou I a II, 3 - Dolní Černá Studnice, 4 - Lučany n. Nisou.

(CrK α), Cs-sklo (CsL α), Co (CoK α), diopsid (MgK α), halit (ClK α), chalkopyrit (CuK α), LiF (FK α), Ni (NiK α), Rb-Ge-sklo (RbL α), rodonit (MnK α), sanidin (KK α , SiK α , AlK α), TiO₂ (TiK α), V (VK α), wollastonit (CaK α , SiK α), zinkit

(ZnK α), klinoklas (AsL α), YVO₄ (YL α), wulfenit (MoL α , PbM α), ScVO₄ (ScK α), Nb-plech (NbL α), CrTa₂O₆ (TaL α), UO₂ (UM α), zirkon (ZrL α), CePO₄ (CeL α), LaPO₄ (LaL α), PrPO₄ (PrL β), NdPO₄ (NdL β), SmPO₄ (SmL α), GdPO₄



Obr. 2 Makrofotografie studovaných pegmatitů. a - Jablonec n. Nisou; b - Nová Ves n. Nisou I; c - Dolní Černá Studnice; d - Lučany n. Nisou. Foto J. Ulmanová.

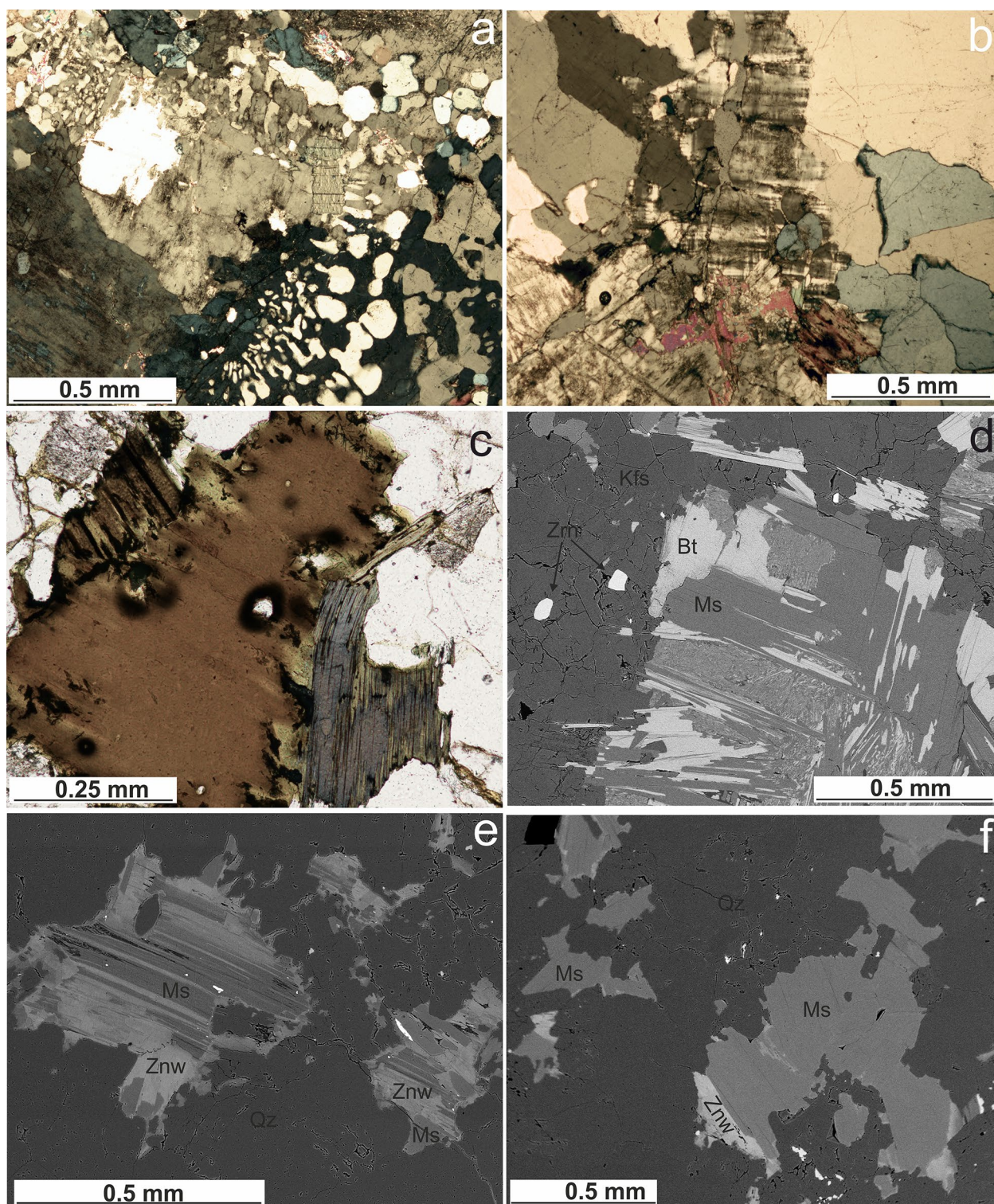
Tabulka 1 Přehled zkoumaných vzorků

lokality	vzorek	pegmatitová zóna	minerální asociace
	JA-4	drobně bloková zóna	křemen, plagioklas, K-živec, muskovit, chamosit, skoryl
	JA-5	drobně bloková zóna	křemen, albit, K-živec, muskovit, skoryl, zirkon
Jablonec n. N.	JA-6	aplitická zóna	křemen, albit, K-živec, muskovit, annit, chamosit, zirkon
	JA-7	granitická zóna	křemen, plagioklas, K-živec, annit, chamosit, almandin, zirkon
	JA-8	kontakt granitické zóny s aplitickou	křemen, albit, K-živec, muskovit, biotit, almandin, zirkon
Nová Ves n. N. I	NV-1	drobně bloková zóna	křemen, plagioklas, K-živec, muskovit, biotit, chamosit, andalusit, almandin, zirkon
	NV-2	drobně bloková zóna	křemen, plagioklas, K-živec, muskovit, chamosit
Nová Ves n. N. II	NV-3	granitická až aplitická zóna	křemen, albit, K-živec, zinnwaldit, muskovit, turmalín, zirkon, thorit
Dolní Černá Studnice	CS-1	drobně bloková až aplitická zóna	křemen, albit, K-živec, muskovit, biotit, turmalín, almandin, zirkon
Lučany n. N.	LU-1	drobně bloková až aplitická zóna	křemen, albit, K-živec, muskovit, klinochlor, chamosit, zirkon

(GdLa), Th (ThMa), EuPO_4 (EuLa), YbPO_4 (YbLa), TbPO_4 (TbLa), DyPO_4 (DyLβ), ErPO_4 (ErLa), TmPO_4 (TmLa), LuPO_4 (LuMβ), HoPO_4 (HoLβ), Hf (HfMa), Bi (BiMa). Získaná data byla přepočítána na hmotnostní procenta s použitím standardní PAP korekce (Pouchou, Pichoir 1985). Měřené prvky s obsahy pod mezí stanovitelnosti nejsou v níže uvedených tabulkách minerálních analýz uváděny.

Petrografická a mineralogická charakteristika

V rámci této studie bylo zkoumáno pět pegmatitových hnízd. Tři z nich byly uzavřeny v nevýrazně porfyrickém tanvaldském granitu (Jablonec nad Nisou, Nová Ves nad Nisou I, II) ve volných balvanech v lese. Pegmatitové hnízdo z Jablonce n. Nisou (obr. 2a) bylo největší ze



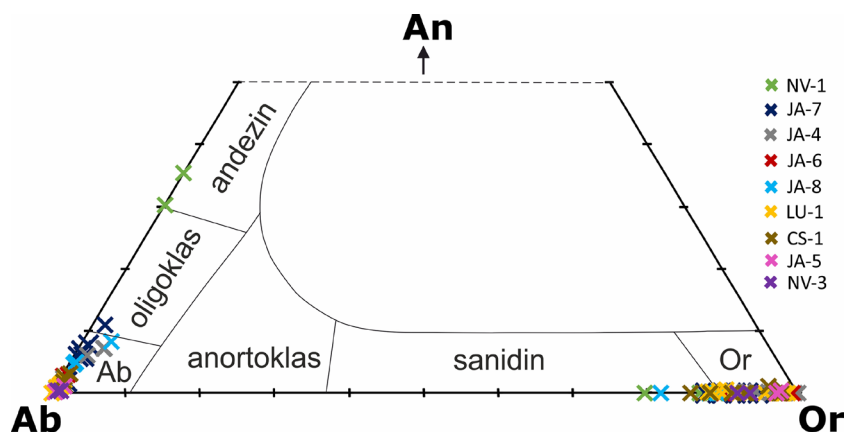
Obr. 3 Mikrofotografie studovaných vzorků. a - d - Minerální asociace a vývin minerálů ze studované lokality Jablonec n. Nisou v XPL (a, b), PPL (c) a BSE (d); myrmekity na kontaktu plagioklasu a K-živce (a), mikroklinové mřížkování v K-živci (Kfs; b), pleochroické dvůrky v chloritizovaném biotitu (c), d - lamelární prorůstání biotitu (Bt) a muskovitu (Ms); e, f - zinnwaldit (Znw) narůstající na muskovit v pegmatitu z Nové Vsi n. Nisou II, BSE obraz. Qz - křemen, Zrn - zirkon. Foto J. Ulmanová.

všech zkoumaných vzorků, s rozměry 40 × 25 cm, hnízda z Nové Vsi n. Nisou (obr. 2b) měřila obě okolo cca 20 × 20 cm. Pegmatit z Dolní Černé Studnice (obr. 2c) pocházel z volného balvanu v neaktivním lomu. Byl uzavřen ve stejnoměrně zrnitém tanvaldském granitu a měřil 6 × 6 cm.

Vzorek z Lučan nad Nisou (obr. 2d) byl nalezen jako volný úlomek u cesty o velikosti 25 × 12 × 13 cm bez okolní horniny, avšak v okolí odběrového místa vystupuje na povrch liberecký granit. Pegmatitová hnízda jsou zřetelně zonální. Na příčném řezu hnízdy lze pozorovat od kraje ke středu

Tabulka 2 Příklady chemického složení (hm. %) živců (Kfs - K-živce, Ab - albit, Olg - oligoklas, Ands - andezín) a koeficienty empirického vzorce vypočítané na bázi osmi atomů kyslíku. Obsahy koncových členů v mol. %.

minerál	Ab	Olg	Ab	Ands	Ab	Ab	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs
analýza	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vzorek	JA-8	JA-7	JA-4	NV-1	CS-1	LU1	JA-6	JA-5	NV-1	NV-3	CS-1	LU1
P ₂ O ₅	0.08	0.02	0.04	0.00	0.08	0.00	0.04	0.12	0.25	0.51	0.46	0.00
SiO ₂	69.85	66.17	67.80	57.74	68.37	69.12	64.04	66.18	63.46	64.09	63.79	65.33
Al ₂ O ₃	19.35	21.97	19.43	25.79	18.92	19.45	17.90	18.33	18.19	18.61	19.39	18.46
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00
CaO	0.13	2.50	1.36	7.52	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
FeO	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00	0.00	0.15	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
SrO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
Na ₂ O	11.39	10.74	11.13	7.45	11.92	11.32	0.09	0.89	2.37	0.88	1.62	1.14
K ₂ O	0.13	0.34	0.36	0.03	0.14	0.04	16.93	15.27	13.91	15.20	14.75	14.94
Rb ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.11	0.06	0.05
Celkem	100.93	101.74	100.12	99.33	100.00	99.93	99.38	100.79	98.48	99.56	100.07	99.99
P	0.003	0.001	0.001	0.000	0.003	0.000	0.002	0.005	0.010	0.020	0.018	0.000
Si	3.015	2.869	2.972	2.611	2.995	3.011	2.998	3.015	2.968	2.966	2.936	3.003
Al	0.984	1.123	1.004	1.374	0.977	0.999	0.988	0.984	1.003	1.015	1.052	1.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000
Ca	0.006	0.115	0.063	0.360	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Fe	0.000	0.000	0.000	0.028	0.000	0.000	0.006	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
Na	0.953	0.903	0.946	0.653	1.013	0.956	0.008	0.079	0.215	0.079	0.145	0.102
K	0.007	0.019	0.020	0.002	0.008	0.002	1.011	0.887	0.830	0.897	0.866	0.876
Rb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.003	0.002	0.001
Catsum	4.969	5.029	5.007	5.030	5.022	4.968	5.019	4.969	5.038	4.986	5.018	4.986
An	0.6	11.1	6.1	35.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
Ab	98.6	87.1	91.9	64.4	96.8	99.8	0.8	8.1	20.5	8.1	14.3	10.4
Or	0.7	1.8	2.0	0.2	0.7	0.2	99.2	91.9	79.3	91.9	85.7	89.3
Cn	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0



Obr. 4 Klasifikační diagram živců s vnesenými naměřenými daty (Ab - albit, An - anortit, Or - ortoklas).

du aplitickou (mocnost zóny je mezi 1 - 5 cm), granitickou (mocnost 1 - 2 cm) a drobně blokovou (mocnost 1 - 7 cm) zónou. Kontakt mezi pegmatity a okolním granitem je pozvolný. Obsahují pouze menší množství drobných dutin ve středu hnízda, lemovaných krystaly živců či křemene, a případně i posléze vyplněných černým stébelnatým turmalínem. Přehled zkoumaných vzorků a jejich základní minerální asociace jsou specifikovány v tabulce 1.

Křemen je jednou z hlavních komponent ve všech zkoumaných pegmatitových hnízdech. Tvoří masivní, šedobílá, xenomorfně omezená zrna o velikosti běžně kolem 1 cm (max. 5 cm), srůstající s živci a slídkami. Vzác-

ně tvoří prizmatické krystaly do dutin o velikosti do 2 cm.

Plagioklas (obr. 3a) tvoří také podstatnou složkou všech studovaných vzorků. Nejčastěji tvoří hypautomorfně až xenomorfně omezená zrna bílé až narůžovělé barvy o velikosti až kolem 1 cm. Středky plagioklasu, ale někdy i celá zrna, jsou významně postižena sericitizací, zatímco okrajové zóny některých zrn jí postiženy nejsou. Plagioklas je i součástí myrmekitů (spolu s křemenem) na styku s K-živcem nebo v něm tvoří perthitické odmíšeniny. Převážně se jedná o albit, výjimečně až kyselý oligoklas ($An_{0.0-11.1}Or_{0.2-4.1}Cn_{0.0-0.3}$), přičemž středky zrn jsou bazičtější než okraje. Jedno zrno uzavřené v granátu od-

Tabulka 3 Reprezentativní chemické analýzy (hm. %) biotitu (Bt) a chloritů (Chm - chamosit, Clc - klinochlor) a koeficienty empirického vzorce vypočítané na bázi 10 atomů kyslíku a 2 (OH+F) v biotitu, respektive 10 atomů kyslíků a 8 (OH+F) v chloritu.

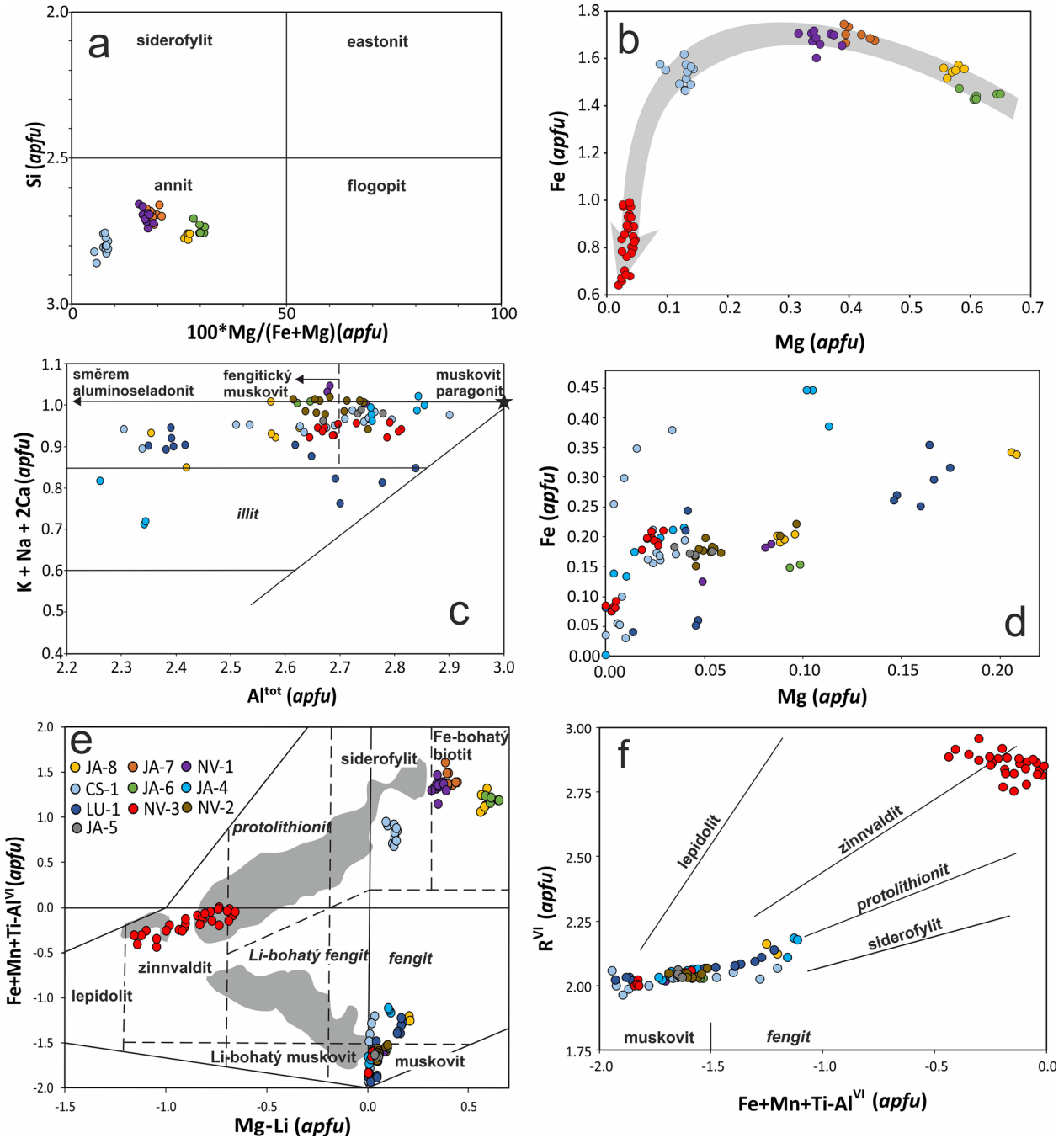
č. an.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
minerál	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Chm	Chm	Chm	Chm	Chm	Clc
vzorek	JA-8	JA-6	JA-7	NV-1	NV-1	CS-1	JA-6	JA-7	NV-2	LU1	LU1	LU1
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.06	0.00	0.40	0.06	0.11	0.00
SiO ₂	34.94	35.79	33.38	34.15	34.62	35.43	32.50	33.64	24.52	27.73	33.64	31.42
TiO ₂	0.16	2.65	2.63	2.06	2.49	1.04	0.12	0.07	0.04	0.06	0.05	0.09
Al ₂ O ₃	19.10	18.66	18.21	19.20	19.49	22.06	20.89	27.84	21.20	19.83	20.78	21.85
V ₂ O ₃	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	4.91	5.61	3.20	3.27	3.01	1.22	7.22	2.71	3.40	9.03	10.12	17.85
FeO	23.68	22.49	26.88	24.81	25.28	23.65	27.30	21.43	36.34	30.61	22.43	16.87
ZnO	0.10	0.00	0.00	0.18	0.00	0.21	0.00	0.00	0.24	0.15	0.09	0.00
MnO	1.71	0.60	0.69	0.78	0.84	0.93	0.64	0.90	1.17	0.51	0.32	0.18
BaO	0.13	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.14	0.06	0.15	0.06	0.14	0.05
Na ₂ O	0.12	0.16	0.42	0.19	0.40	0.00	0.00	0.56	0.00	0.16	0.09	0.00
K ₂ O	9.03	9.64	9.54	9.28	9.15	9.18	0.23	0.16	0.00	0.09	0.81	0.06
Cs ₂ O	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rb ₂ O	0.20	0.17	0.32	0.26	0.19	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O	3.38	3.70	3.58	3.28	3.46	3.16	11.71	12.00	10.64	11.19	11.93	12.23
F	0.84	0.42	0.35	1.02	0.77	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.26
O=F	-0.35	-0.18	-0.15	-0.43	-0.32	-0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.11	-0.11
Celkem	98.02	99.91	99.12	98.08	99.44	98.04	100.81	99.37	98.10	99.48	100.66	100.86
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.005	0.000	0.038	0.005	0.009	0.000
Si	2.773	2.757	2.673	2.717	2.722	2.785	3.329	3.363	2.764	2.972	3.382	3.083
Ti	0.010	0.154	0.158	0.147	0.124	0.062	0.009	0.005	0.003	0.005	0.004	0.007
Al	1.786	1.694	1.719	1.803	1.804	2.044	2.522	3.280	2.816	2.505	2.462	2.527
V	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.581	0.644	0.382	0.352	0.389	0.143	1.103	0.404	0.571	1.443	1.517	2.611
Fe	1.571	1.449	1.800	1.659	1.654	1.555	2.339	1.792	3.425	2.744	1.886	1.384
Zn	0.006	0.000	0.000	0.000	0.011	0.012	0.000	0.000	0.020	0.012	0.007	0.000
Mn	0.115	0.039	0.047	0.056	0.053	0.062	0.056	0.076	0.112	0.046	0.027	0.015
Ba	0.011	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011
Ca	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.015	0.006	0.018	0.007	0.015	0.005
Na	0.018	0.024	0.065	0.061	0.029	0.000	0.000	0.109	0.000	0.033	0.018	0.000
K	0.914	0.947	0.975	0.916	0.944	0.921	0.030	0.020	0.000	0.012	0.104	0.008
Cs	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rb	0.010	0.008	0.016	0.010	0.013	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
OH	1.789	1.898	1.911	1.808	1.742	1.654	8.000	8.000	8.000	8.000	7.917	7.919
F	0.211	0.102	0.089	0.191	0.257	0.346	0.000	0.000	0.000	0.000	0.083	0.081
Catsum	7.797	7.731	7.838	7.726	7.743	7.601	9.408	9.056	9.768	9.785	9.430	9.651
F/FM	0.73	0.69	0.82	0.82	0.81	0.92	0.68	0.82	0.86	0.66	0.55	0.35

povídalo klasifikačně andezínu ($An_{30.3-35.5}Or_{0.2}$). Z dalších příměsí je lehce zvýšený obsah fosforu (až 0.024 apfu P; tab. 2, obr. 4).

K-živec je zastoupený ve zhruba stejném množství jako plagioklas. Vytváří béžová, narůžovělá, růžová či sytě oranžová, xenomorfně až hypautomorfně omezená, až 1 cm veliká zrna. Na některých zrnech je patrné mikroklinové mřížkování (obr. 3b) nebo perthitické odmišleniny. K-živec je často postižen v různé míře argilitizací, která tvoří nepravidelné smouhy po celém zrně. V BSE se nejeví být zonální. Kromě převažující ortoklasové složky

(79.3 - 100 mol. %) obsahuje často i podíl albitové (0.0 - 20.5 mol. %) a vzácně i anortitové (max. 1.0 mol. %), celsianové (max. 0.5 mol. %) a slawsonitové (max. 0.5 mol. %) komponenty. Většina analýz měla lehce zvýšený obsah fosforu (až 0.020 apfu P; tab. 2, obr. 4).

Biotit (annit) je zastoupen ve větším množství než muskovit. Vytváří tenké tabulkovité, hypautomorfně omezené krystaly o velikosti až 2 cm, makroskopicky tmavě hnědé až černé barvy. V procházejícím světle je ve výbruse rezavě hnědý až tmavohnědý, silně pleochroický. Občas je od okrajů a podél trhlin zatlačován v různé míře



Obr. 5 Grafická prezentace chemického složení slíd z pegmatitových hnízd. a - trioktaedrické slíd v diagramu podle Riedera et al. (1998); b - graf závislosti Mg vs. Fe pro trioktaedrické slíd, šedá šipka ukazuje pravděpodobný trend ve vývoji chemismu slíd během krystalizace; c - dioctahedrické slíd v diagramu podle Maydagána et al. (2016); d - graf závislosti Mg vs. Fe pro dioctahedrické slíd; e - všechny slíd v klasifikačním diagramu podle Tischendorfa et al. (1997), šedé datové pole představuje srovnávací data z eibenstockého granitu (Tischendorf et al. 1997); f - diagram závislost $\text{Fe}+\text{Mn}+\text{Ti}+\text{Al}^{\text{VI}}$ vs. R^{VI} (Tischendorf et al. 1997) s vyznačenými trendy chemického složení pro jednotlivé slíd.

chloritem. Hojně uzavírá zrna rutilu a ilmenitu a další akcesorické minerály (monazit, xenotim, zirkon, apatit), kolem kterých se často tvoří pleochroické dvůrky (obr. 3c). Chemicky je biotit mírně variabilní (tab. 3, obr. 5a, b). Kromě Fe (1.427 - 1.800 *apfu*), které převažuje nad Mg (0.088 - 0.650 *apfu*), vstupuje do oktaedrické pozice Mn (0.028 - 0.126 *apfu*), Ti (0.002 - 0.196 *apfu*) a Zn (max. 0.014 *apfu*). Hydroxylovou skupinu zastupuje v menší míře F (0.027 - 0.557 *apfu*) a do mezivrstevní pozice vstupuje kromě K (0.863 - 1.000 *apfu*) také malé množství Ba (max. 0.035 *apfu*), Na (max. 0.106 *apfu*), Rb (0.003 - 0.024 *apfu*), Cs (max. 0.014 *apfu*) a Ca (max. 0.006 *apfu*). Obsah Si se pohybuje v rozmezí od 2.66 do 2.78 *apfu*.

Dle klasifikace Riedera et al. (1998) se jedná o annit.

Muskovit (tab. 4, obr. 3d-f, obr. 5c-f) tvoří hypautomorfně až xenomorfně omezená lištovitá zrna o velikosti až 3 cm, často prorůstající se živci a křemenem. Výjimečně tvoří vějířovité agregáty nebo paralelní srůsty s biotitem (obr. 3d). Z příměsí je přítomné vždy Fe (0.030 - 0.348 *apfu*), Mg (max. 0.209 *apfu*), Na (0.011 - 0.153 *apfu*), Mn (max. 0.020 *apfu*), v některých případech i F (až 0.472 *apfu* na lokalitách Dolní Černá Studnice a Nová Ves nad Nisou II, na ostatních lokalitách jen do 0.201 *apfu*), Ti (max. 0.053 *apfu*), Ba (max. 0.016 *apfu*), Rb (max. 0.013 *apfu*) a Cs (max. 0.007 *apfu*). Vyskytuje se i v podobě jemně šupinatého sericitu, vzniklého přeměnou živců.

Tabulka 4 Reprezentativní chemické analýzy (hm. %) muskovitu (*Ms*), illitu (*Ill*), zinnwalditu (*Znw*) a koeficienty empirického vzorce vypočítané na bázi 10 atomů kyslíku a dvou (*OH+F*). Obsahy Li_2O byly vypočítané na základě vztahu: $Li_2O = (0.289 * SiO_2) - 9.658$ (Tischendorf et al. 2004).

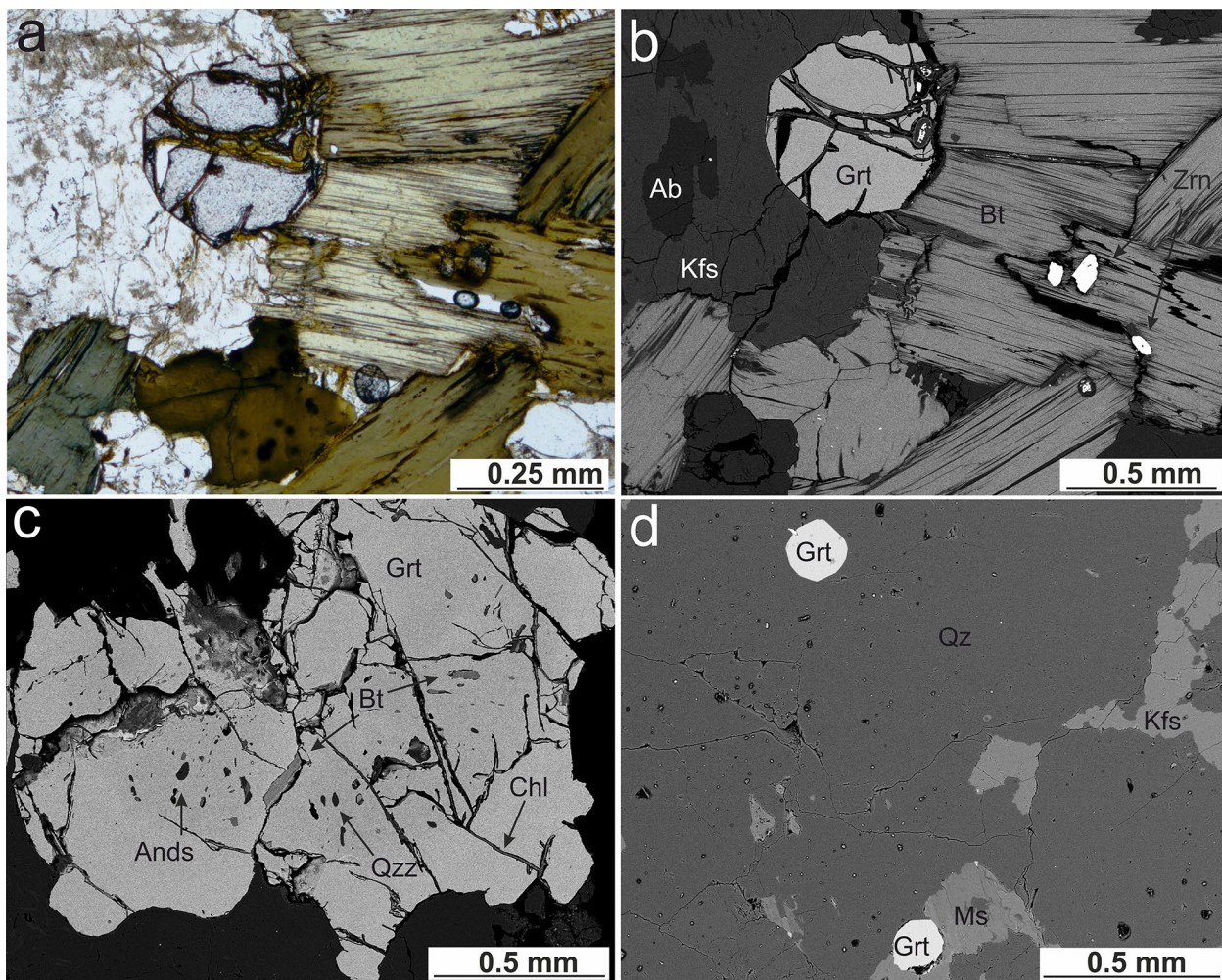
č. an.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
minerál	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ill	Ill	Ill	Znw	Znw	Znw	Znw
vzorek	JA-8	JA-6	NV-2	CS-1	LU1	JA-4	CS-1	LU1	NV-3	NV3	NV3	NV3
P ₂ O ₅	0.03	0.03	0.08	0.05	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	45.99	45.69	46.65	47.28	47.83	46.32	46.77	48.29	43.68	45.19	47.33	41.71
TiO ₂	0.00	0.74	0.12	0.03	0.21	0.46	0.00	0.07	0.24	0.10	0.43	0.17
Al ₂ O ₃	28.68	32.63	33.56	34.13	29.31	28.53	36.66	35.90	22.59	21.49	19.74	23.99
MgO	1.98	0.97	0.47	0.36	1.72	0.98	0.06	0.00	0.35	0.38	0.23	0.35
FeO	5.86	2.68	3.18	3.05	5.54	7.64	0.99	1.46	14.88	12.98	11.32	16.37
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.30	0.00	0.10	0.10	0.08	0.14	0.00	0.00	0.30	0.34	0.14	0.37
BaO	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00
Na ₂ O	0.09	0.62	0.91	0.62	0.12	0.00	0.22	0.18	0.00	0.17	0.20	0.12
K ₂ O	10.33	10.62	10.09	10.20	10.23	7.80	8.71	9.42	9.89	10.05	10.40	9.91
Cs ₂ O	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.09	0.11	0.17
Rb ₂ O	0.24	0.08	0.03	0.13	0.00	0.50	0.00	0.00	0.47	0.41	0.54	0.62
Li ₂ O									2.97	3.40	4.02	2.40
H ₂ O	4.31	4.30	4.08	3.83	4.03	4.30	4.24	4.53	1.48	1.03	0.88	1.68
F	0.00	0.20	0.81	1.44	0.79	0.00	0.55	0.09	5.69	6.67	7.07	5.21
O=F	0.00	-0.08	-0.34	-0.61	-0.33	0.00	-0.23	-0.04	-2.40	-2.81	-2.98	-2.19
Celkem	98.30	98.48	99.74	100.61	99.53	97.26	97.97	99.91	100.33	99.51	99.43	100.87
P	0.002	0.002	0.005	0.003	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Si	3.204	3.115	3.134	3.145	3.254	3.230	3.117	3.170	3.133	3.232	3.354	3.016
Ti	0.000	0.038	0.006	0.002	0.011	0.024	0.000	0.003	0.013	0.005	0.023	0.009
Al	2.355	2.622	2.657	2.676	2.350	2.344	2.880	2.777	1.910	1.811	1.648	2.045
Mg	0.206	0.099	0.047	0.036	0.174	0.102	0.006	0.000	0.037	0.041	0.024	0.038
Fe	0.341	0.153	0.179	0.170	0.315	0.445	0.055	0.080	0.893	0.776	0.671	0.990
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.018	0.000	0.006	0.006	0.005	0.008	0.000	0.000	0.018	0.021	0.008	0.023
Ba	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000
Na	0.012	0.082	0.119	0.080	0.016	0.000	0.028	0.023	0.000	0.024	0.027	0.017
K	0.918	0.924	0.865	0.866	0.888	0.694	0.741	0.789	0.905	0.917	0.940	0.914
Cs	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.003	0.003	0.005
Rb	0.011	0.004	0.001	0.006	0.000	0.022	0.000	0.000	0.022	0.019	0.025	0.029
Li									0.856	0.978	1.146	0.697
OH	2.000	1.957	1.828	1.697	1.830	2.000	1.884	1.981	0.709	0.491	0.416	0.809
F	0.000	0.043	0.172	0.303	0.170	0.000	0.116	0.019	1.291	1.509	1.584	1.192
Catsum	7.091	7.038	7.017	6.987	7.012	6.906	6.827	6.844	7.793	7.828	7.870	7.783

Zinnwaldit (siderofylit - polyolithionit) je přítomný pouze v pegmatitu Nová Ves n. Nisou II (vzorek NV-3), ve kterém naopak nebyl nalezen biotit. Zinnwaldit se vyskytuje ve formě nepravidelných mikroskopických nárůstů na muskovitu velikosti do 0.4 mm (obr. 3e, f). Chemicky je jen omezeně variabilní (tab. 3, obr. 5e, f). V oktaedrické pozici kolísá obsah Al (0.991 - 1.112 *apfu*), Fe (0.642 - 0.990 *apfu*), Li (0.697 - 1.189 *apfu*), Mg (0.020 - 0.047 *apfu*), Mn (0.008 - 0.028 *apfu*), Ti (0.004 - 0.027 *apfu*). Lithium bylo dopočítáno na základě obsahu Si podle Tischendorfa et al. (1997). V mezivrstevní pozici se kromě K (0.877 - 0.957 *apfu*) uplatňuje Rb (0.015 - 0.028 *apfu*), Na (až 0.038 *apfu*) a Cs (0.002 - 0.007 *apfu*). Fluor zastupuje hydroxylovou skupinu oproti ostatním slídám ve výrazně větší míře (1.095 - 1.583 *apfu* F).

Granát (almandin) je přítomen jako akcesorická fáze ve čtyřech zkoumaných vzorcích (JA-7, JA-8, NV-1, CS-1). Vytváří automorfně až xenomorfně omezené izometrické krystaly (obr. 6a-d), které vzácně dosahují až makroskopických rozměrů (50 μ m až 2 mm). Větší krystaly (nad cca 0.5 mm) jsou často nepravidelně rozpraskány (6a-b), přičemž praskliny jsou vyplněny chlority a limonitem. Větší granátová zrna také uzavírají inkluze biotitu, plagioklasu, křemene a chloritu (obr. 6c). Menší krystaly jsou téměř neporušené (obr. 6d). Dle chemického složení se jedná o almandiny (Alm_{55.7 - 80.4} Sps_{11.6 - 43.9} Prp_{0.0 - 8.0}).

Grs_{0.3 - 4.5}). Z dalších příměsí bylo v některých analýzách naměřeno zvýšené množství Na (max. 0.078 *apfu*), Ba (až 0.016 *apfu*) a Zn (max. 0.007 *apfu*). Nejvyšší obsahy Mg (3.8 - 8.0 mol. % pyropové komponenty) byly zjištěny v granátech ze vzorku z Nové Vsi n. Nisou I, které obsahovaly zároveň i nejvíce almandinové a grossulárové komponenty (0.3 - 4.5 mol. %). Naopak nejnižší obsahy Mg, Ca a Fe byly zjištěny ve vzorku z Dolní Černé Studnice (0.3 - 0.4 mol. % grossulárové, 0.0 - 0.5 mol. % pyropové, 41.6 - 43.9 mol. % spessartinové a 55.7 - 58.4 mol. % almandinové komponenty). Složení granátů (tab. 5, obr. 7) v tomto vzorku je zároveň nejméně variabilní. V BSE obraze se jednotlivé krystaly téměř nejeví být zonální, ačkoli chemické složení v rámci jednoho krystalu mírně kolísá. U automorfně omezených nerozpraskaných krystalů se dá vyzorovat trend, kdy středy jsou výrazně bohatší pyropovou a grossulárovou složkou než okraje a zároveň od středu k okraji krystalu mírně roste obsah Mn a klesá obsah Fe.

Turmalín (skoryl, oxy-skoryl až fluor-skoryl) je přítomen v hlavním až vedlejším množství (obr. 8a-d). Tvoří ve vzorcích většinou vějířovité agregáty o velikosti až 3 cm srůstající se živci a křemenem. Ve vzorku z Dolní Černé Studnice tvoří zrnité agregáty, vyplňující střed pegmatitového hnízda. Makroskopicky má hnědočernou až černou barvu. Ve výbruse tvoří hypautomorfně omezené



Obr. 6 Mikrofotografie studovaných granátů. a, b - hypautomorfně omezený granát (Grt) zatlačovaný po puklinách chloritem a limonitem z pegmatitu z Jablonce n. Nisou v PPL (a), v BSE (b); c - větší rozpraskané zrna granátů s inkluzemi andezínu (Ands), biotitu (Bt), chloritu (Chl) a křemene (Qz) z pegmatitu Nová Ves n. Nisou I, BSE obraz; d - automorfní granáty z pegmatitu z Dolní Černé Studnice v BSE obraze.

sloupcovité krystaly až nepravidelná, xenomorfně omezená zrna. V PPL má hnědou, zelenou až namodralou barvu. Bývá hodně rozpraskán a protkán křemennými žilkami. V BSE obraze je nejčastěji nezonální, výjimečně lze pozorovat při okraji krystalu světlejší zónu (obr. 8c). Všechny analyzované turmalíny odpovídají klasifikačně (Henry et al. 2011) skorylu, *oxy-skorylu* až *fluor-skorylu* (tab. 5, obr. 9a-f). V pozici X převažuje vždy Na (0.538 - 0.817 *apfu*), obsah Ca je vždy nízký (0.004 - 0.043 *apfu*), dopočtená vakance se pohybuje od 0.132 do 0.436 *pfu*. V pozici Y převládá vždy Fe (1.561 - 2.302 *apfu*), obsah

Mg je nízký (max. 0.942 *apfu*), stejně jako obsah Ti (0.004 - 0.075 *apfu*), někdy je lehce zvýšený obsah Mn (0.011 - 0.102 *apfu*). V případě zonálních zrn směrem od středu k okraji vzrůstá mírně obsah Mg, Ti a klesá obsah Mn, obsah Fe mírně osciluje. U zonálního turmalínu v sousedství dutiny ze vzorku JA-4 byl zjištěn pokles poměru Fe/(Fe + Mg) směrem k vnějšímu okraji krystalu (obr. 8c). Pozice T je většinou kompletně obsazena Si; obsah ^vAl dosahuje maximálně 0.238 *apfu*. Obsazení pozice W bylo vypočteno na základě valenčního vyrovnání. U většiny analýz převládá v pozici W OH⁻ (0.050 - 0.574 *apfu*) nad

Tabulka 5 Reprezentativní chemické analýzy (hm. %) granátů (*Alm*) a turmalínů (*Srl* - skoryl, *O-srl* - oxy-skoryl, *F-srl* - fluor-skoryl) a koeficienty empirického vzorce vypočítané na bázi 12 atomů kyslíku (granáty) a 15 kationtů v pozici Y+Z+T (turmalíny). B₂O₃ v turmalínech bylo dopočítáno na základ 3 *apfu* B, OH a O v pozici V a W bylo dopočítáno na základě valenčního vyrovnání.

minerál	F-srl	Srl	O-srl	Srl	Srl	O-srl	F-srl	Alm	Alm	Alm	Alm	Alm	Alm	
č. an.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
vzorek	CS-1	JA-4	JA-4	JA-5	JA-5	NV-3	NV-3	JA-8	JA-8	JA-7	JA-7	NV-1	NV-1	CS-1
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	35.50	34.41	35.53	35.31	36.04	35.03	34.86	38.04	36.16	37.21	37.07	36.34	35.89	36.91
TiO ₂	0.30	0.36	0.07	0.39	0.55	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Al ₂ O ₃	31.72	33.39	35.82	33.15	32.40	33.95	33.36	20.31	20.35	20.51	20.48	20.49	20.70	20.65
B ₂ O ₃	10.06	10.19	10.37	10.33	10.39	10.19	10.12							
MgO	0.00	0.51	0.08	2.46	3.78	0.20	0.29	0.97	0.53	0.64	1.18	1.23	1.95	0.09
FeO	15.93	15.22	13.05	12.77	11.16	14.42	14.84	30.85	26.25	30.51	33.79	33.08	34.87	23.07
MnO	0.29	0.36	0.65	0.11	0.09	0.33	0.21	10.07	14.69	11.28	7.33	8.13	4.99	17.98
CaO	0.02	0.08	0.07	0.18	0.21	0.05	0.04	0.52	0.82	0.52	0.17	0.54	1.23	0.11
ZnO	0.18	0.13	0.11	0.00	0.00	0.22	0.12	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	1.92	2.01	1.94	2.16	2.38	2.11	1.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00
K ₂ O	0.05	0.04	0.04	0.06	0.06	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O	2.65	3.10	2.80	3.09	2.99	2.68	2.74							
F	0.88	0.41	0.38	0.36	0.43	0.71	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O=F	-0.37	-0.17	-0.16	-0.15	-0.18	-0.30	-0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Celkem	99.13	100.04	100.74	100.21	100.30	99.77	99.00	100.76	98.80	100.78	100.02	99.79	99.82	98.84
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Si	6.134	5.871	5.957	5.944	6.028	5.978	5.989	3.078	3.006	3.031	3.031	2.990	2.947	3.052
Ti	0.039	0.046	0.009	0.049	0.069	0.010	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
Al	6.460	6.714	7.078	6.576	6.387	6.828	6.755	1.937	1.994	1.969	1.987	1.974	2.003	2.012
B	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000							
Mg	0.000	0.130	0.020	0.617	0.942	0.051	0.074	0.117	0.066	0.078	0.144	0.151	0.239	0.011
Fe	2.302	2.171	1.830	1.798	1.561	2.058	2.132	2.087	1.825	2.078	2.311	2.276	2.394	1.595
Mn	0.042	0.052	0.092	0.016	0.013	0.048	0.031	0.690	1.034	0.778	0.508	0.566	0.347	1.259
Ca	0.004	0.014	0.012	0.032	0.037	0.009	0.007	0.045	0.072	0.045	0.015	0.047	0.107	0.010
Zn	0.023	0.016	0.014	0.000	0.000	0.028	0.015	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.643	0.665	0.631	0.705	0.772	0.698	0.613	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000
K	0.011	0.009	0.009	0.013	0.013	0.011	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
vac	0.342	0.312	0.348	0.250	0.178	0.282	0.373							
^v OH	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000							
^w OH	0.051	0.530	0.125	0.464	0.334	0.050	0.140							
^w O	0.468	0.248	0.673	0.344	0.438	0.504	0.403							
F	0.481	0.221	0.202	0.192	0.227	0.383	0.456	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Catsum	15.635	15.672	15.638	15.750	15.822	15.690	15.612	7.954	7.997	7.985	7.982	8.016	8.067	7.940
Alm								71.0	60.9	69.8	77.6	74.9	77.6	55.5
Sps								23.5	34.5	26.1	17.1	18.6	11.2	43.8
Prp								4.0	2.2	2.6	4.8	5.0	7.7	0.4
Grs								1.5	2.4	1.5	0.5	1.5	3.5	0.3

O²⁻ (0.192 - 0.673 *apfu*) a F (0.165 - 0.484 *apfu*; viz obr. 9d).

Zirkon je běžným akcesorickým minerálem ve většině vzorků. Tvoří hypautomorfně až automorfně omezené krystaly s kosočtverečnými nebo obdélníkovitými průřezy (obr. 8e, f), jejichž velikost dosahuje maximálně 60 μm . V BSE je často výrazně oscilačně nebo skvrnitě zonální, středové zóny bývají v BSE obraze nejsvětlejší (obr. 8e). Chemicky je značně variabilní (tab. 6, obr. 10a, b). Zirkonium je téměř vždy zastupováno Hf (až 0.151 *apfu*, průměrně 0.033), U (max. 0.06 *apfu*), Sr (0.002 - 0.008 *apfu*), Fe (max. 0.039 *apfu*) a HREE (max. 0.006 *apfu*). Rovněž je často zastoupena xenotimová komponenta (max. 0.068 *apfu* Y a 0.131 *apfu* P, obr. 10a). Často byly pozorovány projevy alterace, kdy některé zirkony, respektive jejich zóny, byly značně rozpraskány (obr. 10a), a zároveň analýzy v nich provedené měly snížené analytické sumy a zvýšené obsahy U (0.002 - 0.015 *apfu*), Th (max. 0.023 *apfu*), Fe (0.012 - 0.150 *apfu*), Ca (0.006 - 0.063 *apfu*) a Mn (max. 0.011 *apfu*). Atomový poměr Hf/(Zr+Hf) roste od středu krystalu k jeho okraji (0.000 - 0.155, průměrně 0.034).

Andalusit byl zachycen jako akcesorická fáze pouze ve vzorku z Nové Vsi n. Nisou I. Ve výbruse je v PPL nažloutlý s výrazně vystupujícím reliéfem. Tvoří až 300 μm velká, protažená rozpraskaná zrna, jehož praskliny jsou vyplněny jílovým minerálem. Chemicky je téměř čistý, až na slabě zvýšený obsah Fe (0.02 *apfu*).

Thorit byl identifikován jako akcesorická fáze pouze ve vzorku z Nové Vsi n. Nisou II (NV-3). Nalezen byl pouze jeden hypautomorfně omezený krystal o velikosti 100 μm , který je zatlačován mladšími hydrotermálními fázemi (florencit, fluorit). Thorit jeví známky metamiktizace, což se projevuje sníženými analytickými sumami a degradací pod fokusovaným elektronovým svazkem. Značně zvýšený je obsah F (0.414 - 0.518 *apfu*), Fe (0.118 - 0.172 *apfu*), Zr (0.097 - 0.123 *apfu*), P (0.152 - 0.267 *apfu*), méně i Ca (0.038 - 0.074 *apfu*), Y (0.031 - 0.038 *apfu*), U (0.006 - 0.010 *apfu*) a Bi (max. 0.017 *apfu*). Příměs Ca, Y a P značí přítomnost cheralitové a xenotimové komponenty (tab. 6).

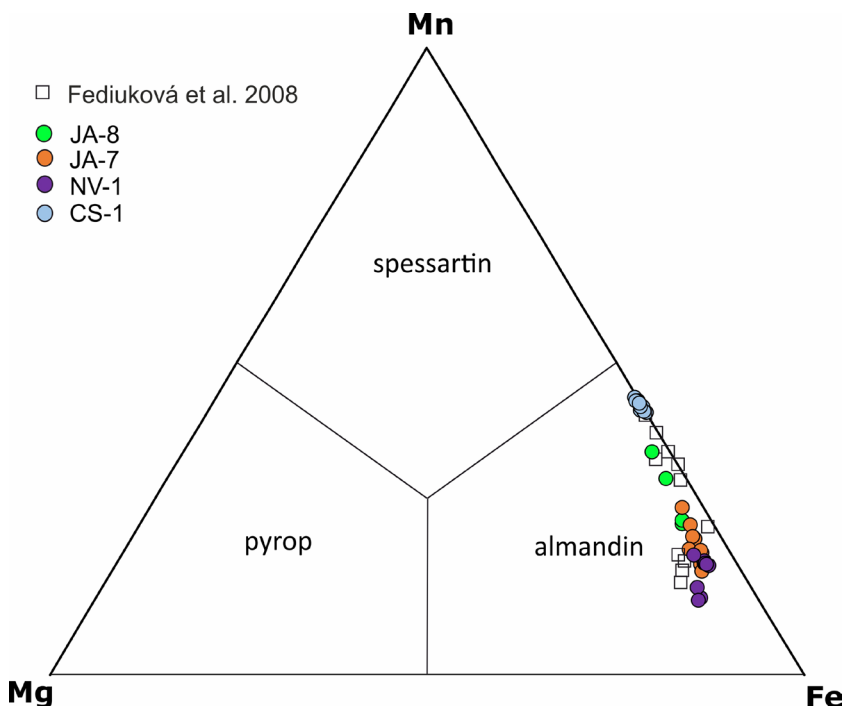
Illit (tab. 3, obr. 5c, d) zatlačuje po trhlinách muskovit a plagioklas nebo vzniká jako produkt alterace biotitu. V oktaedrické pozici je obsaženo Fe (0.001 - 0.446 *apfu*), Mg (max. 0.113 *apfu*), Ti (max. 0.025 *apfu*), Mn (max. 0.011 *apfu*). Draslík (0.675 - 0.817 *apfu* K) je zastupován Na (max. 0.028 *apfu*), Ca (max. 0.019 *apfu*) a Rb (max. 0.022 *apfu*). Oproti ostatním slídám obsahuje průměrně vyšší množství fosforu (až 0.017 *apfu* P).

Chlorit (chamosit až klinochlor) byl identifikován ve většině zkoumaných vzorků jako častý produkt přeměny biotitu (obr. 3c). Ve výbruse tvoří tabulkovité, silně pleochroické agregáty. V PPL má světle zelenou až zelenohnědou barvu, v XPL má anomální zelenohnědou a levandulově modrou interferenční barvu. Chemismus chloritu je značně variabilní (tab. 3, obr. 11). Většina analyzovaných bodů odpovídá klasifikačně chamositu, jen tři analýzy (vzorek LU-1) spadají do pole klinochloru (Bayliss 1975). Poměr F/FM [Fe/(Fe + Mg)] se pohybuje v rozmezí 0.35 - 0.97, ve vzorku z Lučan n. Nisou (F/FM = 0.35 - 0.68) byly měřené chlority celkově o něco hořčnatější než ve vzorcích z Nové Vsi n. Nisou (F/FM = 0.86 - 0.96) a Jablonce n. Nisou (0.67 - 0.90). Běžný je zvýšený obsah Mn (0.008 - 0.300 *apfu*), někdy také K (max. 0.161 *apfu*), Ti (max. 0.029 *apfu*) a Na (max. 0.109 *apfu*), což může poukazovat na relikty biotitu, nebo, s ohledem k mírně zvýšenému obsahu Ca (max. 0.039 *apfu*), na přítomnost smektitové komponenty.

Diskuse

Chemické složení minerálů

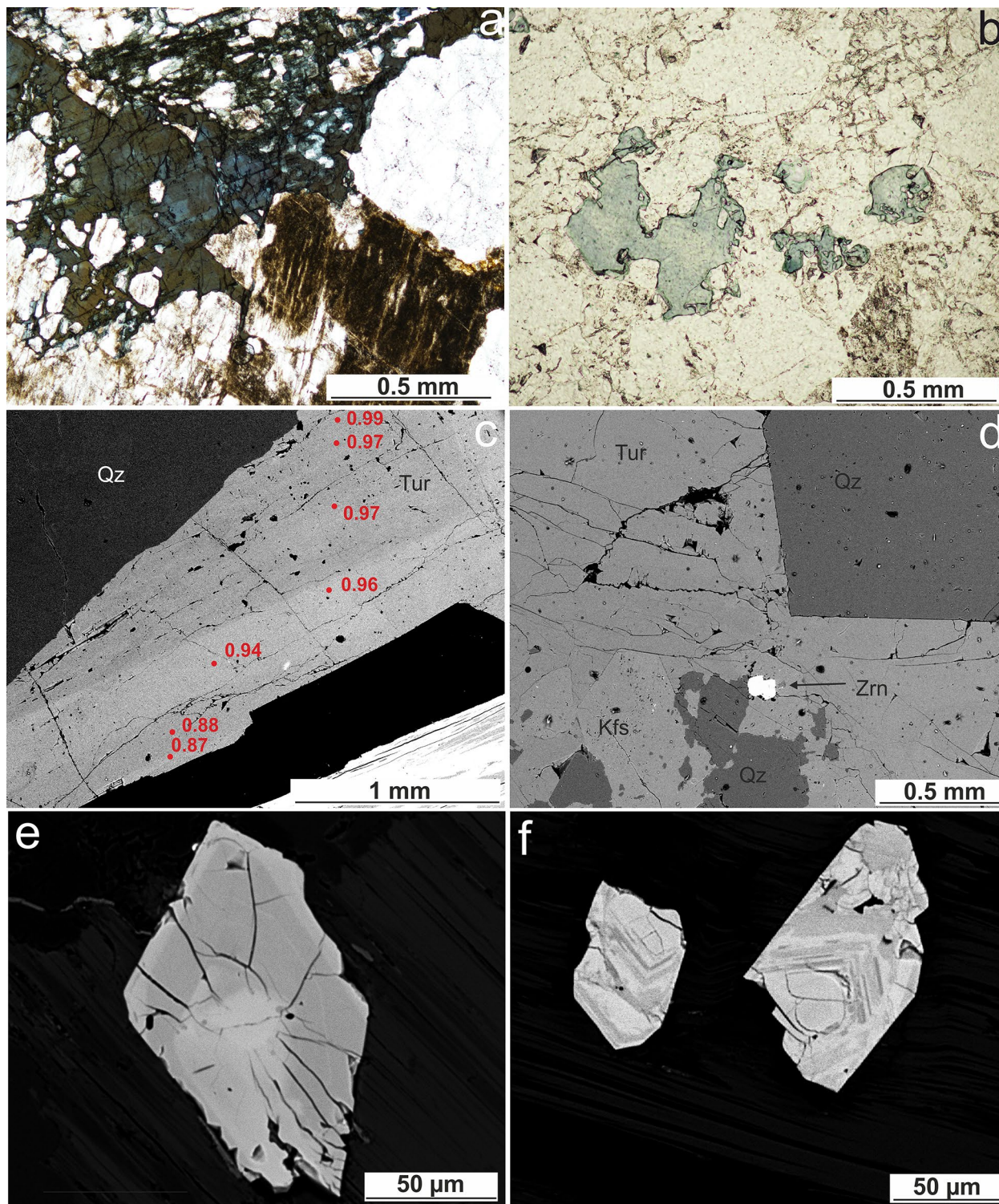
Chemické složení živců je ve všech studovaných pegmatitech dosti obdobné. Není patrná variace v jejich složení v rámci jednotlivých zón pegmatitových hnízd. Výrazně převládajícím plagioklasem je albit. Ve vzorku z Jablonce n. Nisou jsou plagioklasy celkově o trochu bazičtější (0.1 až 11.1 mol. % An) a přecházejí výjimečně až do oligoklasu (obr. 4), v ostatních pegmatitech se jedná o relativně čistší albity (max. 3.2 mol. % An). V případě pegmatitu Nová Ves n. Nisou II byl obsah anortitové komponenty v albitu dokonce jen maximálně 0.4 mol. % . To



Obr. 7 Chemické složení granátů v diagramu Mg - Fe - Mn, srovnávací data z tanvaldského granitu převzata z práce Fediukové et al. (2008).

naznačuje buď pokročilejší frakcionaci pegmatitové taveniny (v porovnání s ostatními námi studovanými pegmatity) nebo uplatnění procesu albitizace plagioklasů v tomto vzorku. V pegmatitu Nová Ves n. Nisou I nebyl plagioklas vůbec zastoupen v základní matici pegmatitu. Pouze bylo zjištěno jedno zrna uzavřené v granátu, s chemismem odpovídajícím andezínu. Výrazně vyšší bazicitu tohoto zrna, než je ve studovaných pegmatitech obvyklé, lze vysvětlit tím, že by mohlo jít o relikvitu staršího plagioklasu, který byl

díky uzavření v granátu uchráněn před resorpcí či albitizací. S ohledem na skutečnost, že z hostitelského tanvaldského granitu jsou popisovány pouze albity (Klomínský et al. 2009), se pravděpodobně jedná o xenokryst, pocházející či snad z xenolitů hornin metamorfního pláště granitoidů či enkláv bazičtějších magmatitů uzavíraných místy v granitoidech (Sláby, Martin 2008; Žák et al. 2013). Chemické složení draselných živců se v jednotlivých pegmatitech nijak neliší. Jejich magmatickému původu na-

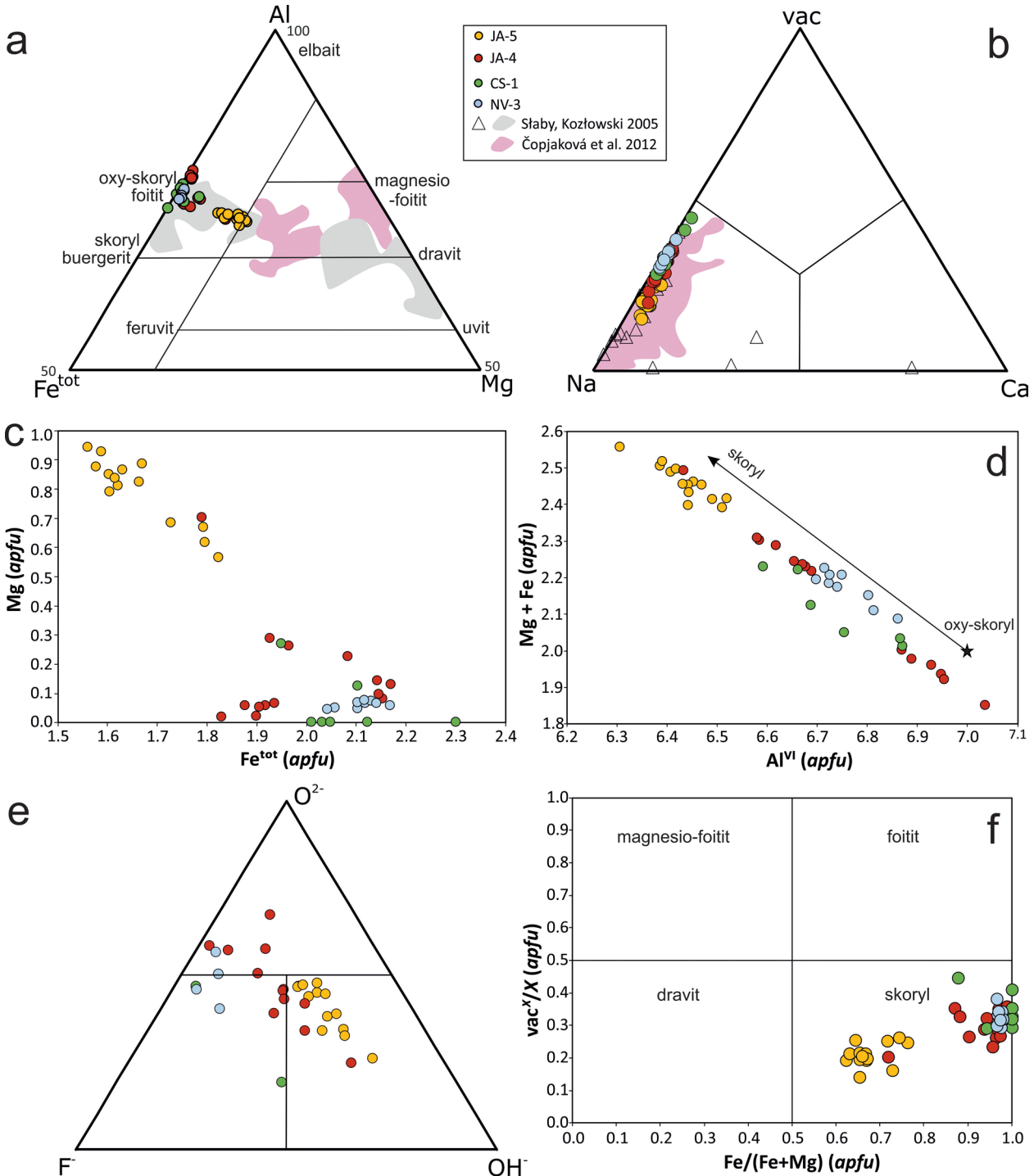


Obr. 8 Mikrofotografie studovaných turmalinů (a - d). a, b, d - xenomorfní zrna turmalinů (Tur) z pegmatitu z Jablonce n. Nisou, v PPL (a, b), z Dolní Černé Studnice v BSE obraze (d); c - zonální sloupcovitý krystal turmalínu z pegmatitu z Jablonce n. Nisou v BSE obraze. Mikrofotografie zonálních zirkonů (Zrn) z pegmatitu Jablonce n. Nisou, BSE obraz (e, f). Červené body v obrázku d vyznačují místa WDS analýz s příslušným poměrem Fe/(Fe+Mg).

svědčuje zvýšený obsah albitové složky (až 20.5 mol. %) a přítomnost perthitů.

Chemismus slíd v rámci různých vzorků mírně varíruje. Muskovity odpovídají složením od téměř čistého muskovitu po *fengitický* muskovit (obr. 5c, e, f). Zajímavý je pouze zvýšený obsah F (až 0.472 *apfu*) ve vzorcích z Dolní Černé Studnice (CS-1) a Nové Vsi n. Nisou II (NV-3). *Illity* se vyskytují zřídka a podle texturní charakteristiky jsou sekundárního (alteračního) původu. Biotity ve všech vzorcích odpovídají annitu (obr. 5a). Odlišný je

pouze pegmatit z lokality Nová Ves n. Nisou II (NV-3), ve kterém není zastoupen biotit, ale jako jediný ze studovaných pegmatitů obsahuje zinnwaldit. V klasifikačním diagramu podle Tischendorfa et al. (1997; obr. 5e, f) vytvářejí průměrné body analyzovaných Li-slíd diagonální trend přes celé pole zinnwalditu a mírně zasahují i do pole *protolithionitu*. Chemismus trioktaedrických slíd indikuje různou míru frakcionace v rámci různých texturních zón pegmatitů i v rámci pegmatitů z různých lokalit. Nejvyšší hodnotu (0.27 - 0.30) poměru M/FM [(Mg/Fe+Mg)], která



Obr. 9 Variace v chemickém složení turmalínů z pegmatitů z Jablonce n. Nisou, Nové Vsi n. Nisou a Dolní Černé Studnice. a - trojúhelníkový diagram Fe - Mg - Al; b - diagram Na - Ca - vac; c - diagram Fe vs. Mg; d - diagram Al vs. Mg+Fe; e - diagram F - OH - O; f - diagram Fe/(Fe+Mg) vs. vakance/kationty v pozici X. Srovnávací data jsou pro turmalíny z metamorfovaných hornin krkonošsko-jizerského krystalinika (Słaby, Kozłowski 2005; Čopjaková et al. 2012).

odpovídá nejméně frakcionovanému magmatu, mají biotity z okrajové partie pegmatitu z Jablonce n. Nisou (JA-6, JA-8), poté biotity z granitické zóny pegmatitu z Jablonce n. Nisou (M/FM = 0.18 - 0.21) a jen o něco málo nižší hodnoty vykazují biotity z pegmatitu Nová Ves n. Nisou I. Nejnižší hodnotu (0.05 - 0.09) poměru M/FM mají biotity (annity) z pegmatitu z Dolní Černé Studnice. Ještě nižší hodnoty tohoto poměru, a tedy největší míru frakcionace, vykazují zinnwaldity (M/FM = 0.03 - 0.05) zjištěné pouze v pegmatitu Nová Ves n. Nisou II. V diagramech Mg vs. Fe lze pozorovat jak u trioktaedrických slíd (obr. 5b), tak u dioktaedrických slíd (obr. 5d) separátní trendy pro jednotlivé pegmatity, což svědčí o (očekávaném) samostatném vývoji vzájemně izolovaných drobných těles zbytkového magmatu. U trioktaedrických slíd lze však vysledovat jednotný celkový trend vývoje obsahů hořčíku a železa, kdy Mg má klesající trend od okraje ke středu v rámci pegmatitového hnízda (patrně pouze u pegmatitu Jablonce n. Nisou) a od nejméně frakcionovaného pegmatitového tělesa (Jablonce n. Nisou) po nejvíce frakcionované peg-

matitové těleso (Nová Ves n. Nisou II), zatímco množství Fe naopak nejdříve mírně vzrůstá a pak klesá (obr. 5b). Zinnwaldit je rovněž popisován i ze dvou pegmatitů v polské části krkonošsko-jizerského plutonu (Kozłowski, Sachanbiński 2007).

Ačkoli je chemismus granátů jen omezeně variabilní, v diagramu Mg-Fe-Mn (obr. 7) je jasně patrný vývoj v jeho složení mezi texturními zónami, a hlavně mezi jednotlivými lokalitami, kdy s klesajícím poměrem Fe/Mn klesá i obsah Mg a Ca. Nejvyšší obsahy Mg a Fe mají granáty z Nové Vsi n. Nisou I, o něco méně pak granáty z granitické zóny pegmatitu z Jablonce n. Nisou a nejnižší obsahy Mg i Fe mají granáty z Dolní Černé Studnice. Klesající poměr Mg/Fe a zvyšující se poměr Mn/Fe odpovídá rostoucí frakcionaci granitického magmatu (Černý et al. 1985; Solokov, Khlestov 1990; London et al. 2001). Postupná změna ve složení granátů ve prospěch spessartinové komponenty může rovněž indikovat postupné změny tlaku a teploty během krystalizace (Solokov, Khlestov 1990). Růst obsahu Mn od středu po okraj, v rámci kry-

Tabulka 6 Reprezentativní chemické analýzy (hm. %) zirkonu (Zrn = nealterovaný zirkon, Zrn-a = alterovaný zirkon) a thoritu (Thr) a koeficienty empirického vzorce vypočítané na bázi čtyř atomů kyslíku.

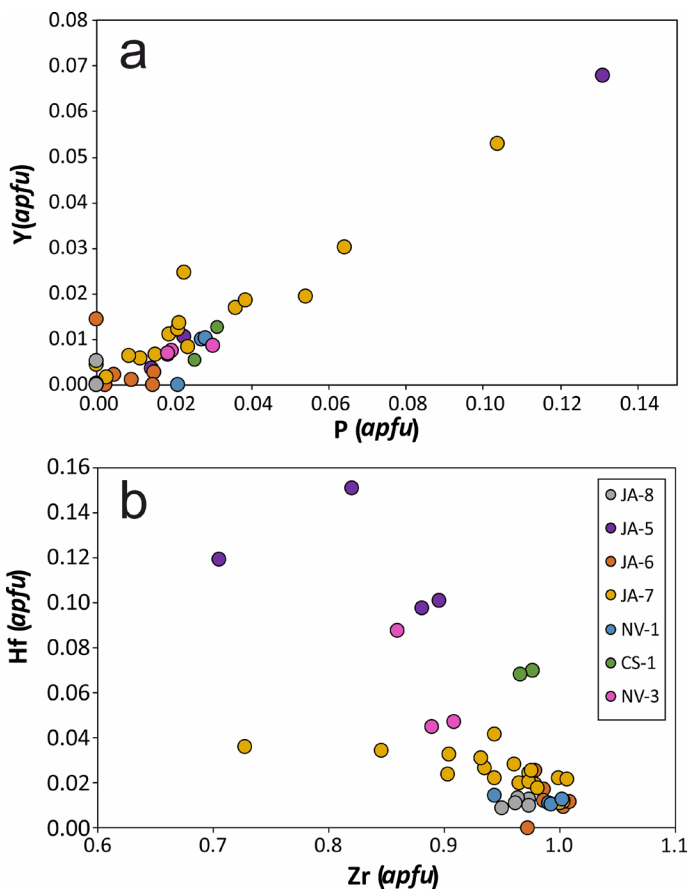
minerál	Zrn	Zrn	Zrn	Zrn-a	Zrn-a	Zrn-a	Thr	Thr		Zrn	Zrn	Zrn	Zrn-a	Zrn-a	Zrn-a	Thr	Thr
č. an.	1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8
vzorek	JA-5	JA-7	NV-1	JA-5	JA-7	CS-1	NV-3	NV-3		JA-5	JA-7	NV-1	JA-5	JA-7	CS-1	NV-3	NV-3
SO ₃	0.03	0.00	0.04	0.15	0.24	0.03	0.08	0.00	S	0.001	0.000	0.001	0.004	0.006	0.001	0.003	0.000
P ₂ O ₅	0.49	0.09	0.00	4.42	3.50	0.85	3.93	6.00	P	0.014	0.002	0.000	0.131	0.104	0.025	0.160	0.267
As ₂ O ₅	0.56	0.25	0.00	0.52	0.42	0.38	0.00	0.62	As	0.010	0.004	0.000	0.010	0.008	0.007	0.000	0.017
SiO ₂	28.00	31.30	31.59	22.08	23.08	24.85	18.74	13.07	Si	0.951	0.988	0.981	0.775	0.811	0.876	0.899	0.688
TiO ₂	0.00	0.00	0.06	0.24	0.19	0.00	0.00	0.00	Ti	0.000	0.000	0.001	0.006	0.005	0.000	0.000	0.000
ZrO ₂	49.55	61.28	65.51	41.17	42.51	56.84	4.92	3.79	Zr	0.821	0.943	0.992	0.705	0.728	0.977	0.115	0.097
HfO ₂	15.59	4.63	1.21	11.92	3.60	6.98	0.00	0.09	Hf	0.151	0.042	0.011	0.119	0.036	0.070	0.000	0.001
ThO ₂	0.15	0.00	0.00	0.71	2.92	0.00	55.93	55.71	Th	0.001	0.000	0.000	0.006	0.023	0.000	0.610	0.668
UO ₂	0.66	0.00	0.00	1.92	1.91	0.38	0.58	0.83	U	0.005	0.000	0.000	0.015	0.015	0.003	0.006	0.010
Al ₂ O ₃	0.28	0.07	0.00	2.12	2.54	0.09	0.57	0.42	Al	0.011	0.003	0.000	0.088	0.105	0.004	0.032	0.026
Sc ₂ O ₃	0.00	0.06	0.00	0.17	0.31	0.21	0.09	0.00	Sc	0.000	0.002	0.000	0.005	0.009	0.006	0.004	0.000
Y ₂ O ₃	0.19	0.09	0.00	3.63	2.83	0.29	1.49	1.12	Y	0.003	0.002	0.000	0.068	0.053	0.005	0.038	0.031
Ce ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.31	0.32	0.00	0.00	0.00	Ce	0.000	0.000	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000
Pr ₂ O ₃	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Pr	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Nd ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	Nd	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
Sm ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.21	0.21	Sm	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.003	0.004
Gd ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.21	0.29	0.00	0.34	0.45	Gd	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.005	0.008
Dy ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.67	0.29	0.00	0.36	0.45	Dy	0.000	0.000	0.000	0.008	0.003	0.000	0.006	0.008
Er ₂ O ₃	0.17	0.00	0.00	0.53	0.37	0.16	0.00	0.00	Er	0.002	0.000	0.000	0.006	0.004	0.002	0.000	0.000
Tm ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	Tm	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
Yb ₂ O ₃	0.00	0.18	0.00	0.88	0.58	0.27	0.00	0.00	Yb	0.000	0.002	0.000	0.009	0.006	0.003	0.000	0.000
Bi ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27	Bi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017
FeO	0.88	0.70	0.87	1.94	5.09	0.59	2.95	3.91	Fe	0.025	0.018	0.023	0.057	0.150	0.017	0.118	0.172
MnO	0.24	0.00	0.00	0.17	0.05	0.15	0.10	0.00	Mn	0.007	0.000	0.000	0.005	0.001	0.004	0.004	0.000
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002
CaO	0.33	0.10	0.02	0.75	0.44	0.24	1.46	0.69	Ca	0.012	0.003	0.001	0.028	0.016	0.009	0.074	0.038
SrO	0.27	0.21	0.19	0.17	0.22	0.15	0.00	0.00	Sr	0.005	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.000	0.000
PbO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	Pb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
K ₂ O	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.00	0.00	0.13	K	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.009
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.75	3.11	F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.417	0.518
O=F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.16	-1.31	Catsum	2.024	2.014	2.013	2.059	2.104	2.014	2.080	2.066
Celkem	97.67	98.98	99.51	94.88	92.19	92.46	93.38	90.72	Hf/(Hf+Zr)	0.156	0.042	0.011	0.145	0.047	0.067		

stalu, značí magmatický původ granátu (Allan, Clarke 1981). Podobné trendy v chemickém složení vykazují i granáty popisované z tanvaldského granitu Fediukovou et al. (2008). V jejich případě ale více železnaté granáty obsahují poněkud více Mg a naopak manganatější granáty obsahují o něco méně Mg. I obsah Ca je v granátech z granitů celkově o trochu nižší než v granátech z pegmatitů studovaných v této práci. I z pegmatitů z polské části krkonošsko-jizerského plutonu popisují Kozłowski, Sachanbiński (2007) granát almandin-spessartinového složení jako častou akcesorii, konkrétní chemické složení však neuvádějí.

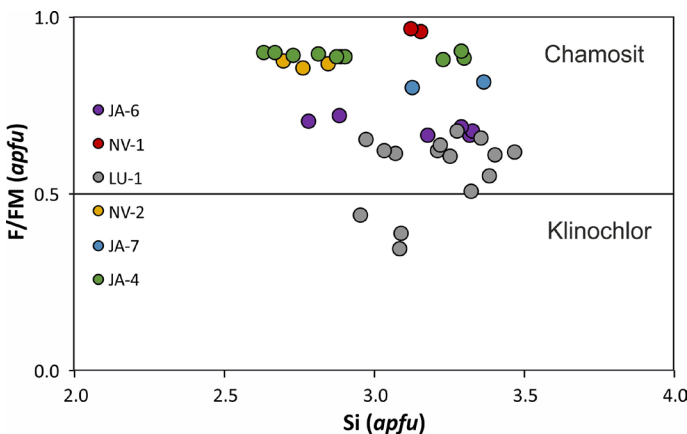
Složení turmalínu se napříč studovanými lokalitami nijak výrazně nemění. Jelikož je turmalín považován za velice citlivý indikátor prostředí, v němž krystalizoval (He-

nry, Dutrow 2002; van Hinsberg et al. 2011), lze i z malých změn v jeho složení usuzovat na změny ve vývoji magmatu. V diagramu Fe vs. Mg (obr. 9c) je patrná jasná negativní korelace pouze u vzorku z drobně blokované zóny z pegmatitu z Jablonce nad Nisou (JA-5). V tomto vzorku také směrem od středu k okraji turmalínového krystalu stoupá graduálně poměr Mg/Fe, což je v rozporu s chováním obou prvků během krystalizace pegmatitové taveniny (např. Jolliff et al. 1986). Uvedený jev tedy vysvětlujeme přínosem hořčíku fluidy z externího zdroje, jehož intenzita v čase (během krystalizace turmalínu) postupně narůstala. Zdrojem Mg mohly být buď geochemicky primitivnější granity (v dané oblasti reprezentovány libereckým granitem) nebo již výše zmíněné enklávy bazaltičtějších magmatitů uzavírané místy v granitoidech (Sláby, Martin 2008; Žák et al. 2013). Naopak turmalín z pegmatitu z Nové Vsi n. Nisou II vykazuje v diagramu Fe vs. Mg mírně pozitivní subhorizontální trend a pro ostatní vzorky jsou trendy nezřetelné. To může být způsobeno krátkým krystalizačním intervalem těchto turmalínů, kdy se změny v chemismu zbytkové taveniny, způsobené frakční krystalizací, nestihly projevit. Téměř dokonalá negativní korelace mezi obsahem Al^{VI} a Mg+Fe (obr. 9d) indikuje, že se jedná o turmalíny z řady skoryl - oxy-skoryl. Obsazení pozice W je zřetelně ilustrováno v diagramu F-OH-O²⁻ (obr. 9e). Klasifikačně (Henry et al. 2001) odpovídá nejvíce analýz skorylu, menší množství analýz spadá do pole fluor-skorylu a oxy-skorylu. Oxy-skoryl není v pegmatitech Českého masivu vzácnou varietou turmalínu, převažuje nad skorylem například v pegmatitech moldanubika (Novák et al. 2004) a tam se vždy jedná o peraluminické LCT pegmatity. Z diagramů 9a,f vyplývá, že více frakcionované pegmatity (Dolní Černá Studnice, Nová Ves n. Nisou II) mají o něco málo větší vakanci v pozici X a zároveň i vyšší obsah F než méně frakcionovaný pegmatit z Jablonce n. Nisou (JA-4, JA-5). V porovnání s turmalíny z metamorfního pláště krkonošsko-jizerského plutonu (greiseny, ruly, metasomatity, leptinit; Sláby, Kozłowski 2005; Čopjaková et al. 2012) mají turmalíny z pegmatitů z části podobné složení, avšak plášťové turmalíny jsou chemicky mnohem variabilnější a odpovídají až dravitu a uvitu.

Zirkon často podléhá metamiktizaci, projevující se sníženými analytickými sumami a zvýšeným obsahem Ca, U, Th a Fe. Jinak jeho složení kolísá hlavně v poměru Hf/Zr, který je obecně považován za indikátor magmatické frakcionace (Černý 1985; Pan 1997). Ve většině analýz je obsah Hf relativně nízký (průměrně 0.033 apfu). Ve více frakcionovaných vzorcích zkoumaných pegmatitů (Dolní Černá Studnice, Nová Ves n. Nisou II) jsou hodnoty Hf/(Zr+Hf) zvýšené (0.066 - 0.067 pro Dolní Černou Studnici, 0.048 - 0.093 pro pegmatit Nová Ves n. Nisou II) oproti ostatním vzorkům, jejichž hodnoty Hf/(Zr+Hf) se pohybují v intervalu 0.000 - 0.047. Poměr Hf/Zr v rámci pegmatitového hnízda z Jablonce nad Nisou narůstá ve směru od krajních zón po středovou zónu (obr. 10b) a zároveň v rámci jednotlivých krystalů tento poměr narůstá od centra krystalu k jeho okraji. Výjimkou jsou zirkony ze vzorku JA-5 (drobně blokovaná zóna pegmatitu Jablonce n. Nisou), ve kterých byly naměřeny extrémně vysoké obsahy Hf [10.35 - 15.59 hm. % HfO₂, Hf/(Zr+Hf) =



Obr. 10 Variace v chemickém složení zirkonů. a - graf P vs. Y; b - graf Zr vs. Hf.



Obr. 11 Klasifikační diagram chloritů podle Baylisse (1975) s vynesnými daty z pegmatitů z okolí Jablonce n. Nisou.

0.100 - 0.156], které jsou běžné spíše v extrémně frakcionovaných pegmatitech (Černý et al. 1985; Černý 1993), ale mohou být i důsledkem vlivu metasomatických procesů (Bau 1996; Linnen, Kepler 2002).

Chlority odpovídající složením chamositu, až na ojedinělé analýzy z pegmatitu z Lučan nad Nisou (LU-1) spadající do pole klinochloru, vykazují (kromě vzorku LU-1) separátní horizontální trendy v klasifikačním diagramu podle Baylisse (1975; obr. 11), což vypovídá o různém poměru Fe/(Fe + Mg) v původním biotitu a také o uzavřenosti systému z pohledu Mg a Fe při postmagmatické alteraci biotitu. Uvedený názor podporují většinou téměř shodné hodnoty M/FM v biotitech a v jim příslušných chloritech v rámci jednoho vzorku (JA-11: biotit 0.28 - 0.39, chlorit 0.28 - 0.33; JA-7: biotit 0.18 - 0.21, chlorit 0.18 - 0.20; NV-1: biotit 0.17 - 0.19, chlorit 0.03 a 0.04).

Magmatický vývoj

Získané údaje nasvědčují úzké genetické vazbě studovaných pegmatitů k hostitelským granitům. Vedle geologické pozice a texturních znaků, které jsou charakteristické pro miarolové pegmatity, lze u pegmatitů lokalizovaných v S-typovém tanvaldském granitu konstatovat rovněž jejich peraluminický charakter (přítomnost slíd, turmalínu, granátu a místy i andalusitu). Získaná data z pegmatitů z okolí Jablonce nad Nisou umožňují identifikovat různý stupeň frakcionace v rámci studovaných pegmatitových těles. Uvedený jev mohl být způsoben rozdílnými podmínkami krystalizace (velikost tělesa, přítomnost různých koncentrací těkavých látek apod.) pro jednotlivé vzájemně izolované výskyty pegmatitů. Další možností je, že různý stupeň frakcionace jednotlivých pegmatitových těles odráží různé fáze vývoje mateřského tělesa tanvaldského granitu, jinými slovy že k odmíšení zbytkové pegmatitové taveniny mohlo dojít v různých fázích krystalizace hostitelské intruze v závislosti na lokálních rozdílech v teplotě a/nebo obsahu těkavých složek (srov. např. Buriánek et al. 2016). V neposlední řadě mohla hrát roli i vzdálenost od kontaktu s libereckým granitem a/nebo metamorfním pláštěm. Toto tvrzení podporuje rozdílnost v chemickém složení granátů v rámci jednotlivých pegmatitových těles, které zcela koresponduje s daty získanými z granátů z tanvaldského granitu (Fediuková et al. 2008). V obou případech mají granáty z lokalit v blízkosti hranice tanvaldského a libereckého granitu (Jablonec n. Nisou, Nová Ves n. Nisou I) výrazně vyšší poměr Mg/Fe a Fe/Mn než granáty z okraje tělesa tanvaldského granitu (Dolní Černá Studnice). S tímto vývojem není v souladu pouze těleso pegmatitu z lokality Nová Ves n. Nisou II, které se od ostatních liší přítomností zinnwalditu, přítomností čistého albitu a nepřítomností granátů a biotitu. Jeho anomální minerální složení nasvědčuje vyššímu stupni frakcionace taveniny, přestože je toto těleso lokalizováno jen několik metrů od méně frakcionovaného pegmatitového tělesa z lokality Nová Ves n. Nisou I a tedy i blízko hranice tanvaldského a libereckého granitu. Odlišným pegmatitem je i těleso z lokality Lučany n. Nisou uzavřené v libereckém granitu, které se jeví být složením silikátových minerálů nejjednodušší a nejméně frakcionované, což je ale opět v soulase s geochemicky primitivnějším charakterem hostitelského granitu (Klomínský et al. 2007; Jarchovský et al. 2010). V případě turmalínu z pegmatitu z Jablonce nad Nisou (vzorek JA-4), v němž klesá poměr Fe/(Fe + Mg) směrem od centra k okraji krystalu, lze uvažovat o přínosu Mg z vnějšího zdroje.

Závěr

V této práci byly studovány minerály ze skupiny silikátů v pegmatitových hnízdech z tanvaldského granitu (čtyři lokality) a libereckého granitu (jedna lokalita) na Jablonceku, situovaných v krkonoško-jizerském plutonu. Převažujícími minerály v těchto hnízdech jsou křemen, K-živec a plagioklas (An_{0-11}), v podstatném množství je obsažen i biotit (annit), muskovit, chlority (chamosit - klinochlor), někdy i turmalín (skoryl). V akcesorickém množství se vyskytuje granát s převahou almandinové komponenty nad spessartinovou, andalusit, Hf-obohacený zirkon a thorit. Jde o miarolové pegmatity s jednoduchou texturní stavbou, v nichž byla identifikována aplitická, granitická a drobně blokovaná zóna; centrální dutina je buď prázdná, nebo vyplněná turmalínem. Minerální složení a stupeň frakcionace pegmatitových hnízd odráží charakteristiky hostitelského granitu; pegmatity v tanvaldském granitu jsou obecně frakcionovanější. Anomálním jevem je pegmatitové hnízdo z lokality Nová Ves n. Nisou II s zinnwalditem (siderofylit -polyolithionit), čistým albitem a absencí biotitu a granátů, které je oproti ostatním tělesům výrazně frakcionovanější. V jednom případě lze uvažovat o přínosu hořčíku z okolních hornin během krystalizace turmalínu.

Peraluminické minerály (granát, andalusit, muskovit a Al-bohatý turmalín) a S-typové mateřské granity ukazují, že studované pegmatity patří do LCT skupiny (Černý, Ercit 2005) ve srovnání s většinou pegmatitů krkonoško-jizerském plutonu, kde I-typové granity produkovaly NYF pegmatity (Kozłowski, Sachanbiński 2007; Kozłowski et al. 2016).

Poděkování

Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2019-2023/1.II.b, 00023272). Prof. M. Novákovi a prof. P. Uherovi děkuji za četné recenzní připomínky, které přispěly k vylepšení rukopisu.

Literatura

- ALLAN BD, CLARKE DB (1981) Occurrence and origin of garnets in the South Mountain Batholith, Nova Scotia. *Can Mineral* 19: 19-24
- BAYLISS P (1975) Nomenclature of the trioctahedral chlorites. *Can Mineral* 13:178-180
- BAU M (1996) Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: Evidence from Y/Ho, Zr/Hf and lanthanide tetrad effect. *Contrib Mineral Petrol* 123: 323-333
- BURIÁNEK D, DOLNÍČEK Z, NOVÁK M (2016) Textural and compositional evidence for a polyphase saturation of tourmaline in granitic rocks from the Třebíč Pluton (Bohemian Massif). *J Geosci* 61: 309-334
- ČECH F, STANĚK J, DÁVIDOVÁ Š (1981) Minerály pegmatitů. In: BERNARD JH, ČECH F, DÁVIDOVÁ Š, DUDEK A, FEDIUK F, HÖVORKA D, KETTNER R, KODĚRA M, KOPECKÝ L, NĚMEC D, PADĚRA K, PETRÁNEK J, SEKANINA J, STANĚK J, ŠIMOVA M (eds) *Mineralogie Československa*, 98-184. Academia Praha
- ČERNÝ P, MEINTZER RE, ANDERSON AJ (1985) Extreme fractionation in rare-element granitic pegmatites: selected examples of data and mechanism. *Can Mineral* 23: 381-421

- ČERNÝ P (1993) Fractionation in granite + rare-element pegmatite systems: facts and fiction. In: Hach-Ali F et al. (eds) Current research in geology applied to ore deposits. Univ Granada, Granada, pp 23-26
- ČERNÝ P, ERCIT TS (2005) Classification of granitic pegmatites. *Can Mineral* 43: 2005-2026
- ČOPJAKOVÁ R, ŠKODA R, VAŠINOVÁ GALIOVÁ M (2012) „Oxy-dravit“ z turmalinitů krkonošsko-jizerského krystalinika. *Bull Mineral Petrolog Odd Nár Muz* 20(1): 37-46
- EVANS RJ, GOŁĘBIEWSKA B, GROAT LA, PIECZKA A (2018) Crystal structure of kristiansenite from Szklarska Poręba, southwestern Poland. *Minerals* 8: 584
- FEDIUKOVÁ E, KLOMÍNSKÝ J, SCHOVÁNEK P (2008) Spessartin-almandinové granáty z alkalicko-živcového tanvaldského granitu. *Zpr Geol Výzk v roce 2007*: 156-159
- FIŠERA V, RYCHLÝ R (1983) Nález topazu v pegmatitu u Jablonce nad Nisou. *Čas Mineral Geol* 28: 215
- HENRY DJ, DUTROW BL (2002) Metamorphic tourmaline and its petrologic applications. In: GREW ES, ANOVITZ LM (eds) Boron: mineralogy, petrology and geochemistry. *Rev Mineral Geochem* 33: 503-557
- CHALOUPSKÝ J, ČERVENKA J, JETEL J, KRÁLÍK F, LÍBALOVÁ J, PÍCHOVÁ E, POKORNÝ J, POŠMOURNÝ K, SEKÝRA J, SHRBEŇŮ O, ŠALANSKÝ K, ŠRÁMEK J, VÁCL J (1989) *Geologie Krkonoše a Jizerských hor*. ČGÚ Praha
- JARCHOVSKÝ T, FEDIUK F, KLOMÍNSKÝ J, SCHOVÁNEK P (2010) Geochemická diskriminace libereckého a jizerského granitu v západní části krkonošsko-jizerského kompozitního masivu. *Zpr geol Výzk v roce 2009*: 219-222
- JOLLIFF BD, PAPIKE JJ, SHEARER CK (1986) Tourmaline as a recorder of pegmatite evolution: Bob Ingersoll Pegmatite, Black Hills, South Dakota. *Am Mineral* 71: 472-500
- KLOMÍNSKÝ J, SCHOVÁNEK P, JARCHOVSKÝ T, SULOVSKÝ P, TOUŽIMSKÝ M (2007) Kontakt tanvaldského a libereckého granitu u Jablonce nad Nisou. *Zpr Geol Výzk v roce 2006*: 24-29
- KLOMÍNSKÝ J, FEDIUK F, SCHOVÁNEK P, JARCHOVSKÝ T (2009) Tanvaldský masív - reliktní magmatického tělesa v krkonošsko-jizerském kompozitním masivu. *Zpr Geol Výzk v roce 2009*: 158-161
- KOZŁOWSKI A, SACHANBIŃSKI M (2007) Karkonosze intragranitic pegmatites and their minerals. In: Kozłowski A, Wiszniewska J (eds.) *Granitoids in Poland*, AM Monograph No. 1: 147-170, KNM PAN-WG UW, Warszawa
- KOZŁOWSKI A, IŁNICKI S, MATYSZCZAK W, MARCINOWSKA A (2016) Magmatic and post-magmatic phenomena in the Karkonosze granite and its metamorphic envelope (West Sudetes, SW Poland). *Acta Geol Polon* 66 (3): 451-471
- KUSIAK MA, WILLIAMS IS, DUNKLEY DJ, KONEČNÝ P, SĚABY E, MARTIN H (2014) Monazite to the rescue: U-Th-Pb dating of the intrusive history of the composite Karkonosze Pluton, Bohemian Massif. *Chem Geol* 364: 76-92
- LÍBALOVÁ J (1964) Krkonošský žulový masív. *Opera Concert 1*: 25-33
- LINNEN RL, KEPPLER H (2002) Melt composition control of Zr/Hf fractionation in magmatic processes. *Geochim Cosmochim Acta* 66: 3293-3301
- LONDON D, EVENSEN JM, FRITZ E, ICENHOWER JP, MORGAN GB, WOLF MB (2001) Enrichment and accommodation of manganese in granite-pegmatite systems. 11th Annual Goldschmidt Conference, Lunar Planet. Inst Contrib 1088, Abstr 3369
- MATYSZCZAK W (2018) Liandratite from Karkonosze pegmatites, Sudetes, Southwestern Poland. *Miner Petrol* 112: 357-370
- MAYDAGÁN L, FRANCHINI M, IMPICCINI A, LENTZ D (2016) Phyllosilicates geochemistry and distribution in the Altar porphyry Cu-(Au) deposit, Andes Cordillera of San Juan, Argentina: Applications in exploration, geothermometry, and geometallurgy. *J Geoch Explor* 167: 83-109
- NOVÁK M, POVONDRA P, SELWAY JB (2004) Schorl-oxy-schorl to dravite-oxy-dravite tourmaline from granitic pegmatites; examples from the Moldanubicum, Czech Republic. *Eur J Mineral* 16: 323-333
- NOVÁK M (2005) Granitické pegmatity Českého masivu (Česká republika); mineralogická, geochemická a regionální klasifikace a geologický význam. *Acta Mus Moraviae, Sci Geol* 90: 3-74
- PAN Y (1997) Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: Evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect - A discussion of the article by M. Bau (1996). *Contrib Mineral Petrol* 128: 405-408.
- POUCHOU J, PICOIR F (1985) "PAP" (ppz) procedure for improved quantitative microanalysis. In: ARMSTRONG JT (ed): *Microbeam Analysis*: 104-106. San Francisco Press. San Francisco
- RIEDER M, CAVAZZINI G, D'YAKONOV YS, KAMENETSKII VAF, GOTTARDI G, GUGGENHEIMS, KOVAL' PV, MUELLER G, NEIVA AMR, RADOSLOVICH EW, ROBERT JL, SASSI FP, TAKEDA H, WEISS Z, WONES DR (1998) Nomenclature of micas. *Can Mineral* 36: 905-912
- SĚABY E, KOZŁOWSKI A (2005) Composition of tourmalines from tin-tungsten-bearing country rock of the Variscan Karkonosze granitoid - a record of the wall rock and hydrothermal fluid interaction. *N Jb Miner Abh* 181(3): 245-283
- SĚABY E, MARTIN H (2008) Mafic and felsic magma interaction in granites: the Hercynian Karkonosze Pluton (Sudetes, Bohemian Massif). *J Petrol* 49(2): 353-391
- SOLOKOV YM, KHLESTOV VV (1990) Garnets as indicators of the physicochemical conditions of pegmatite formation. *Int Geol Rev* 32: 1095-1107
- TISCHENDORF G, GOTTESMANN B, FÖRSTER H-J, TRUMBULL R B (1997) On Li-bearing micas: estimating Li from electron microprobe analysis and an improved diagram for graphical representation. *Min Mag* 61: 809-834
- VAN HINSBERG VJ, HENRY DJ, MARSCHALL HR (2011) Tourmaline as an indicator mineral; an introduction *Can Mineral* 49: 1-16
- ŽÁK J, KLOMÍNSKÝ J (2007) Magmatic structures in the Krkonoše-Jizera Plutonic Complex: evidence for localized multiphase flow and small-scale thermal-mechanical instabilities in a granitic magma chamber. *J Volcanol Geotherm Res* 164: 254-267
- ŽÁK J, VERNER K, SLÁMA J, KACHLÍK V, CHLUPAČOVÁ M (2013) Multistage magma emplacement and progressive strain accumulation in the shallow-level Krkonoše-Jizera plutonic complex, Bohemian Massif. *Tectonics* 32: 1493-1512