

Minerály a geochemia granitového pegmatitu Bratislava - Jezuitské lesy (Slovensko)

Minerals and geochemistry of the Bratislava - Jezuitské Lesy granitic pegmatite (Slovakia)

PAVEL UHER^{1)*} A PETER CHUDÍK²⁾

¹⁾Katedra mineralógie a petrológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava, Slovensko; *e-mail: puher@fns.uniba.sk

²⁾Hurbanova 13, 909 01 Skalica, Slovensko

UHER P., CHUDÍK P. (2014) Minerály a geochemia granitového pegmatitu Bratislava - Jezuitské lesy (Slovensko). *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha) 22, 2, 281-292. ISSN 1211-0329.*

Abstract

The Bratislava - Jezuitské Lesy granitic pegmatite forms a relatively narrow dike (up to 1 - 2 m thick) in parental Hercynian (~350 Ma) S-type granodiorite to granite. The pegmatite internal zoning consists of a coarse-grained quartz-feldspar-muscovite zone, locally with transition into a graphic pegmatite, blocky K-feldspar and massive quartz. An aplitic saccharoidal albite (albite >> quartz + muscovite + garnet) and cleavelandite extensively replace the older pegmatite zones. Beryl, garnet (almandine > spessartine), zircon (≤ 12 wt.% HfO₂), monazite to cheralite, Nb-Ta-(Sn) oxide minerals (all columbite-tantalite members, ferrotapiolite, ferrowodginite), and gahnite occur in coarse-grained zone as well as saccharoidal albite. The pegmatite is enriched in Rb, Cs, Be, Nb, Ta, Sn and W and depleted in Li, Sr, Ba, Zr and REE's. These geochemical features and mineral composition show a relatively highly fractionated pegmatite melt and beryl-columbite subtype of the rare-element class and LCT tendency of the pegmatite. Moreover, anomalously high Y/Ho value (60) and presence of the lanthanide tetrad effect ($T_{1,3} = 1.17$), together with presence of fluorapatite (≤ 10 wt.% MnO) and fluorcalciomicrolite, indicate an influence of fluorine-rich fluids during late magmatic to early hydrothermal (high-temperature) evolution stage of the pegmatite. On the contrary, phenakite, bertrandite, quartz II, and muscovite II originated during late hydrothermal (low-temperature) overprint of the pegmatite as a result of post-magmatic Hercynian uplift or Alpine tectono-thermal overprint of the Bratislava granitic massif.

Key words: granitic pegmatite, rock-forming minerals, accessory minerals, secondary minerals, Bratislava - Jezuitské Lesy, Slovakia

Obdrženo: 7. 10. 2014; přijato: 20. 11. 2014

Úvod

Granitové pegmatity patria medzi typické žilné horniny bratislavského masívu Malých Karpát. Väčšinou ide o relatívne jednoduché telesá s prevládajúcim kremeňom, živcami, muskovitom a almandínovým granátom ako najbežnejším akcesorickým minerálom (Dávidová 1968, 1970, 1978; Gbelský 1980), obyčajne tiež s akcesorickým zirkónom, apatitom, monazitom, lokálne xenotímom, pyritom, magnetitom, gahnitom a ďalšími minerálmi (Valach 1954; Veselský, Gbelský 1978; Gbelský 1979; Gbelský, Krištín 1985).

Až pomerne nedávno boli v pegmatitoch bratislavského masívu opísané aj minerály, charakteristické pre vzácno-prvkové granitové pegmatity berylovo-columbitového typu (v zmysle klasifikácie Černého a Ercita 2005), najmä beryl (Gargulák, Vanek 1989; Uher 1992), neskôr aj fenakit (Ozdín 2010) a Nb-Ta minerály (Uher et al. 1994; Uher, Broska 1995; Uher et al. 2007). Napokon v roku 2007 bolo na lokalite Bratislava - Jezuitské Lesy objavené pegmatitové teleso s charakteristickým cukrovitým albitom, berylom a Nb-Ta oxidickými minerálmi, ktoré má najvyšší stupeň frakcionácie a najpestrejšie minerá-

lne zloženie spomedzi pegmatitov Malých Karpát a spolu s pegmatitom Moravany nad Váhom v Považskom Inovci patrí k najvyvinutejším vzácno-prvkovým granitovým pegmatitom, zisteným na území Západných Karpát, respektíve Slovenska. Doteraz boli publikované články venované berylu (Uher et al. 2010) a minerálom Nb-Ta (Chudík, Uher 2011) z pegmatitu Jezuitské lesy. Náš príspevok prináša charakteristiku celej minerálnej asociácie ako aj chemické zloženie granitového pegmatitu Bratislava - Jezuitské lesy.

Metodika

Chemické zloženie vzorky granitového pegmatitu z albitizovanej kremeňovo-mikroklinovo-muskovitovej zóny bolo stanovené metódou röntgenovej fluorescencie - XRF po tavení s LiBO₂ (hlavné prvky) a hmotnostnej spektroskopie s indukčne viazanou plazmou - ICP MS (stopové prvky) v laboratóriach firmy ACME Labs, Vancouver (Kanada); analytické podmienky sú uvedené na stránke www.acmelab.com. Obsah Li v hornine bol stanovený pomocou plameňovej atómovej absorpčnej spektroskopie (FAAS) v laboratóriu Českej geologickej služby v Prahe.

Vnútná zonalita (BSE a CL kompozície) a chemické zloženie minerálov boli študované pomocou vlnovodisperznej elektrónovej mikroskopy CAMECA SX-100 (Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava). Pri analýzach bolo použité urýchľovacie napätie 15 kV, hodnota vzorkového prúdu sa pohybovala v hodnotách 20 nA (živce, sfudy, Be minerály, granát, gahnit), 30 nA (Nb-Ta minerály, zirkón) až 60 nA (monazit, cheralit), priemer elektrónového lúča sa pohyboval od 1 - 3 μm (monazit, cheralit, zirkón, Nb-Ta fázy, apatit, gahnit) po 5 - 10 μm (živce, sfudy, Be minerály, granát). Boli použité prírodné a syntetické štandardy (detailné analytické podmienky sú analogické ako v práci Uher et al. 2010; Chudík, Uher 2011; Ondrejka et al. 2012).

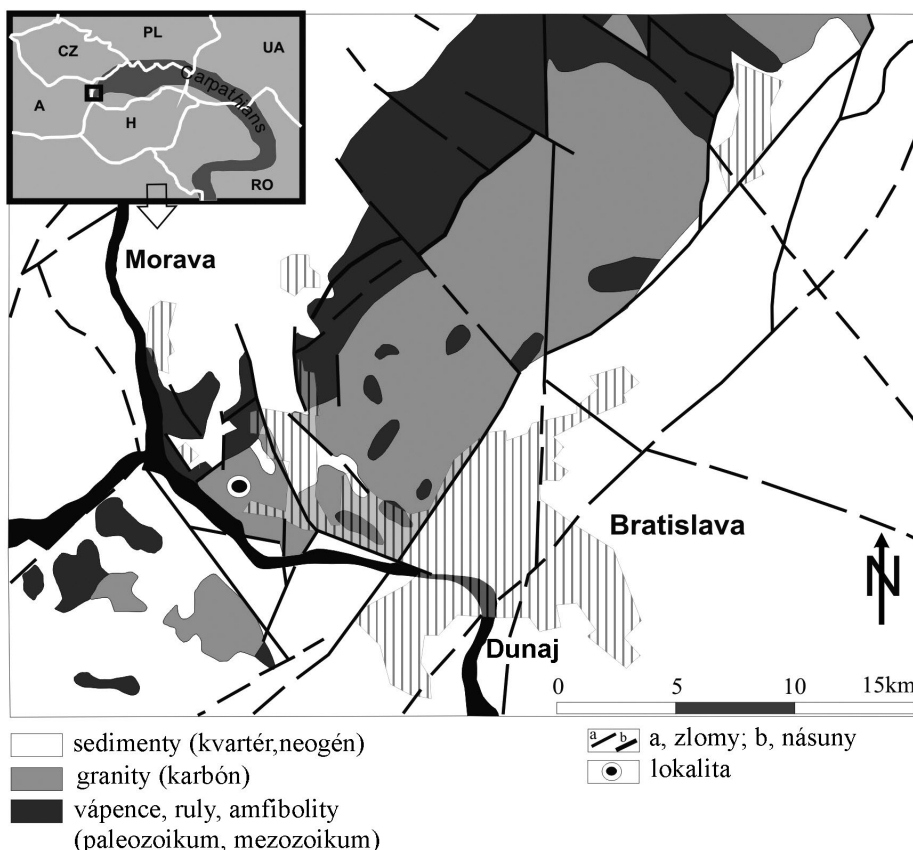
Na identifikáciu fenakitu a bertranditu bola použitá difrakcia spätné odrazených elektrónov (EBSD) pomocou systému HKL Technology Nordlys II na elektrónovom mikroskope CamScan 3200 (Česká geologická služba, Praha).

Lokalizácia, geologické prostredie a zonalita pegmatitu

Študovaný pegmatit vystupuje v zalesnenom teréne v záreze turistického modro značeného chodníka na lokalite Jezuitské lesy v katastri mestskej časti Bratislava - Devín, 2550 m sz. od kóty Kráľov vrch, 281.6 m n. m. (obr. 1). Lokalita je slabo odkrytá, jej geografická poloha stanovená pomocou GPS je $48^{\circ}10.14'$ severnej zemepisnej šírky a $17^{\circ}01.18'$ východnej zemepisnej dĺžky, nadmorská výška je 330 m nad morom. Geograficky patrí územie k Devínskym Karpatom, najjužnejšiemu podcelku pohoria Malé Karpaty. Po geologickej stránke patrí lokalita k predalpínskemu fundamentu (kryštaliniku) superjednotky tatrikum v rámci Centrálnych Západných Karpát.

Pegmatitová žila na lokalite Bratislava - Jezuitské lesy vystupuje v stredozmrných biotitických granodioritoch až monzogranitoch bratislavského masívu Malých Karpát (obr. 1). Granitické horniny bratislavského masívu Malých Karpát patria k orogénnym, peraluminiovým a vápenato-alkalickým suitám s afinitou k S-typu (Cambel, Viliňovič 1987; Broska, Uher 2001). Ich vek je mezohercýnsky; bol stanovený na 355 ± 4 Ma na základe SHRIMP U-Th-Pb datovania na zirkónoch (Kohút et al. 2009), respektíve 353 ± 2 Ma pomocou chemického U-Th-Pb datovania monazitu pomocou elektrónovej mikroanalýzy (Uher et al. in print).

Pegmatitové teleso nie je na povrchu odkryté a bolo identifikované len na základe drobných úlomkov horniny v plytkom záreze turistického lesného chodníka a v príslušnom lesnom poraste. Pegmatit bol následne čiastočne odkrytý pri výkopových prácach do hĺbky cca 1.5 m, pričom bol zastihnutý aj jeho ostrý spodný kontakt s granitickými horninami. V dôsledku nedostatočnej odkrytosti možno maximálnu hrúbku pegmatitového telesa len zhruba odhadnúť na 1 až 2 m. Odkryté časti granitového pegmatitu sa vyznačujú pomerne nevýraznou zonalitou s prevahou hrubokryštalickej kremeňovo-mikroklínovo-muskovitovej zóny s lokálnymi prechodmi do zóny blokového mikroklínu (vzácnejšie s grafickým prerastaním mikroklínu a kremeňa) a blokového masívneho kremeňa v centrálnej časti žily. Pegmatitové teleso je intenzívne albitizované. Veľmi hojný je jemnokryštalický cukrovitý albit s kremeňom, muskovitom a granátom, lokálne je prítomný aj vejárovitý lištovitý albit (cleavelandit). V blízkom okolí študovaného pegmatitu sa nachádzajú početné ďalšie pegmatitové žily v granitických horninách, prípadne v paleozoických svoroch až pararulách. V niektorých z nich bol identifikovaný aj beryl (napr. lokality Líščia stráň, Švábsky vrch, Pasienok), avšak doteraz tam neboli zistené minerály Nb-Ta.



Obr. 1 Schématická geologická mapa južnej časti bratislavského masívu Malých Karpát (Mahel, Cambel 1972 - zjednodušené) s lokalizáciou pegmatitu Bratislava - Jezuitské lesy.

Minerály pegmatitu

Kremeň vystupuje v podobe xenomorfných až hypidiomorfných kryštálov a agregátov bielej až svetlosivej farby, mm až cm rozmerov, ktoré sa prerastajú s K-živcom (mikroklínom), albitom, muskovitom, berylom a ďalšími minerálmi. V pegmatite nebolo zistené súvislé monominerálne kremenné jadro, len jeho náznaky v podobe agregátov masívneho blokového kremeňa veľkosti do cca 5 cm. Menšie množstvo drobnokryštalického kremeňa (< 0.5 mm) vystupuje aj v cukrovitom albite.

Draselný živec (mikroklín) vytvára kryštálové jedince do 4 cm, alebo ich agregáty krémovej až svetlosivej farby. Je prítomný hlavne v hrubokryštalickej kremeňovo-živcovo-muskovitej zóne s lokálnymi prechodmi do grafického pegmatitu alebo blokového K-živca. Mikroklín je blízky koncovému členu, obsahuje 2 - 5 mol. % albitovej zložky, 0.6 - 1.0 mol. % rubiklínovej zložky - $\text{RbAlSi}_3\text{O}_8$ (0.2 - 0.4 hm. % Rb_2O), 0.1 - 0.2 hm. % Cs_2O a 0.2 - 0.6 hm. % P_2O_5 (tab. 1).

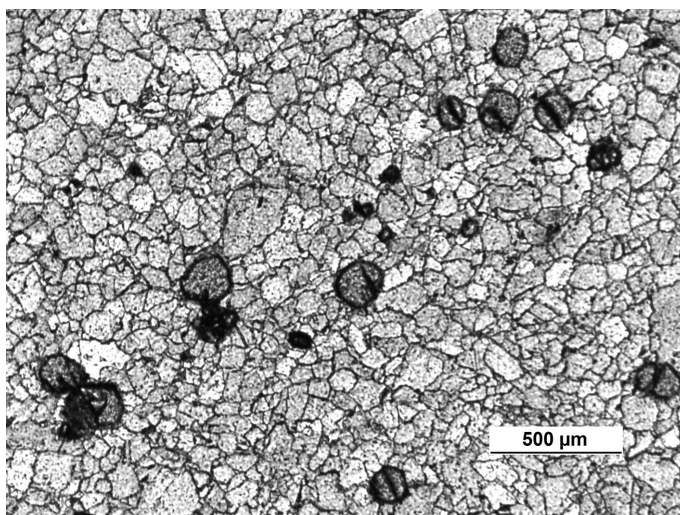
Albit sa vyskytuje najmä v podobe jemnokryštalického agregátu (aplitický, resp. cukrovitý albit), s veľkosťou jedincov obyčajne v intervale 0.1 - 0.5 mm, často v asociácii s granátom (obr. 2), vzácnejšie tvorí albit biele lištovité kryštály do 2 cm (cleavelandit). Obe formy albitu intenzívne zatláčajú starší hrubokryštalický K-živec, kremeň a muskovit. Albit je homogénny, ide takmer o koncový člen, pričom obsahuje len 0.2 - 0.4 mol. % rubiklínovej zložky (0.1 - 0.2 hm. % Rb_2O), 0.1 - 0.2 mol. % anortitovej zložky a stopové množstvá Cs. Albit podobne ako mikroklín obsahuje mierne zvýšené koncentrácie fosforu (0.1 - 0.4 hm. % P_2O_5) - tabuľka 1. Vstup fosforu do oboch alkalických živcov je kontrolovaný berilitovou substitúciou ($\text{Al}^{3+} + \text{P}^{5+} = 2\text{Si}^{4+}$).

Primárny **muskovit** vytvára typické tabuľkovité, do 5 cm veľké idiomorfne až hypidiomorfné kryštály striebornej farby v asociácii s kremeňom, K-živcom a berylom. Jeho chemické zloženie (tab. 2) sa vyznačuje mierne zvýšenými obsahmi trojmocného železa (1.6 - 3.3 hm. % Fe_2O_3 ; 0.08 - 0.17 *apfu* Fe^{3+}) a v menšej miere dvojmocného železa (0.0 - 1.2 hm. % FeO ; do 0.067 *apfu* Fe^{2+}), ako aj nižšími obsahmi Mg a Na: ≤ 0.3 hm. % MgO (0.03 *apfu* Mg) a ≤ 0.7 hm. % Na_2O (0.09 *apfu* Na). Muskovit má veľmi nízky obsah Ti (max. 0.07 hm. % TiO_2 ; 0.004 *apfu* Ti), koncentrácie Cr, Ca a F sú pod detekčným limitom elektrónovej mikrosondy. Okrem primárneho muskovitu bol identifikovaný aj sekundárny, postmagmatický (zrejme hydrotermálny) muskovit, ktorý tvorí drobné xenomorfné až hypidiomorfné agregáty (zväčša pod 1 mm), ktoré vznikli ako produkt čiastočného rozpadu berylu, almandínu alebo gahnitu.

Beryl vytvára svetlo žltozelené hexagonálne kryštály, obyčajne 1 - 2 cm dlhé v asociácii s hrubokryštalickým až blokovým kremeňom, K-živcom a muskovitom (beryl I), alebo drobnejšie (cca 0.5 cm dlhé) sýtejšie zelené kryštály v mladšom cukrovitom albite (beryl II). Beryl I lokálne obsahuje okrajové rastové zóny, obohatené Cs (max. 1.9 hm. % Cs_2O ; ~0.07 *apfu* Cs), obsahy Na_2O v oboch generáciách berylu dosahujú 0.4 - 1.5 hm. % (0.04 - 0.25 *apfu* Na), koncentrácie Fe a Mg sú nízke: ≤ 0.6 hm. % FeO a ≤ 0.1 hm. % MgO (tab. 3). Podrobnejšia che-

Tabuľka 1 Chemické zloženie K-živca (mikroklínu) a albitu (hm. %). Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Kryštalochemické vzorce normalizované na 8 atómov kyslíka.

| Anal. | K-živec / K-feldspar | | Albit / Albite | |
|--------------------------------------|----------------------|--------|----------------|--------|
| | 22 | 25 | 28 | 29 |
| P_2O_5 | 0.48 | 0.55 | 0.19 | 0.30 |
| SiO_2 | 64.34 | 64.24 | 68.44 | 68.82 |
| Al_2O_3 | 18.57 | 18.73 | 19.75 | 19.75 |
| Fe_2O_3 | 0.02 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |
| CaO | 0.00 | 0.02 | 0.03 | 0.00 |
| Na_2O | 0.49 | 0.54 | 11.58 | 11.64 |
| K_2O | 16.12 | 15.91 | 0.14 | 0.06 |
| Rb_2O | 0.31 | 0.35 | 0.06 | 0.15 |
| Cs_2O | 0.10 | 0.07 | 0.04 | 0.03 |
| Total | 100.43 | 100.45 | 100.23 | 100.75 |
| P | 0.019 | 0.021 | 0.007 | 0.011 |
| Si | 2.968 | 2.960 | 2.982 | 2.983 |
| Al T | 0.013 | 0.019 | 0.011 | 0.006 |
| ΣT | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 |
| Al O | 0.997 | 0.998 | 1.004 | 1.003 |
| Fe | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| ΣO | 0.998 | 0.999 | 1.004 | 1.003 |
| Ca | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 |
| Na | 0.044 | 0.048 | 0.979 | 0.978 |
| K | 0.949 | 0.935 | 0.008 | 0.003 |
| Rb | 0.009 | 0.010 | 0.002 | 0.004 |
| Cs | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| ΣA | 1.004 | 0.995 | 0.991 | 0.986 |
| O | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 |
| $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ | 4.38 | 4.82 | 98.79 | 99.19 |
| KAlSi_3O_8 | 94.52 | 93.97 | 0.81 | 0.30 |
| $\text{RbAlSi}_3\text{O}_8$ | 0.90 | 1.01 | 0.20 | 0.41 |
| $\text{CsAlSi}_3\text{O}_8$ | 0.20 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ | 0.00 | 0.10 | 0.10 | 0.00 |
| Ba pod detekčným limitom | | | | |



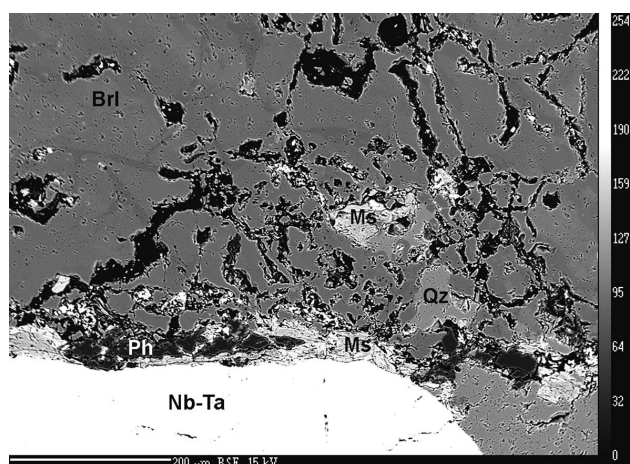
Obr. 2 Agregát cukrovitého albitu s granátmi (vysoký reliéf) v polarizačnom mikroskope, II polaroidy. Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Foto P. Uher.

Tabuľka 2 Chemické zloženie muskovitu (hm. %). Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Kryštálochemické vzorce normalizované na 10 atómov kyslíka, 2(OH) a valenciu Fe.

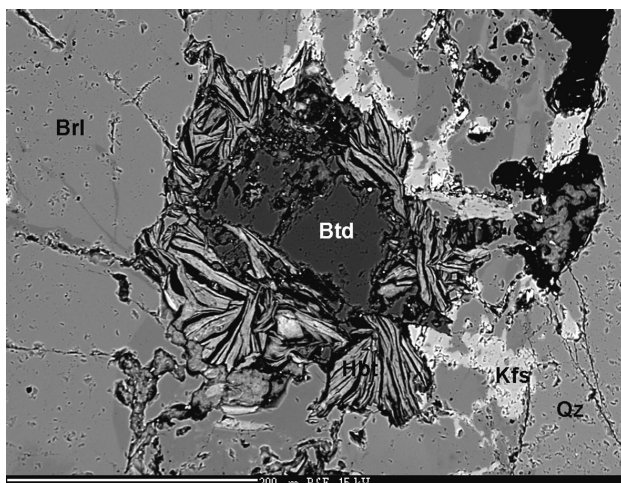
| Analýza | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 45.62 | 45.85 | 45.63 | 45.31 | 45.83 |
| TiO ₂ | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 |
| Al ₂ O ₃ | 33.93 | 34.33 | 33.88 | 34.17 | 34.61 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.61 | 2.52 | 2.13 | 3.33 | 2.20 |
| FeO | 1.17 | 0.58 | 0.96 | 0.00 | 0.63 |
| MnO | 0.07 | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.07 |
| MgO | 0.17 | 0.15 | 0.19 | 0.27 | 0.18 |
| Na ₂ O | 0.52 | 0.72 | 0.71 | 0.56 | 0.54 |
| K ₂ O | 10.50 | 10.10 | 10.21 | 10.24 | 10.49 |
| H ₂ O calc. | 4.41 | 4.45 | 4.42 | 4.43 | 4.46 |
| Total | 98.05 | 98.85 | 98.29 | 98.45 | 99.07 |
| Si | 3.105 | 3.090 | 3.098 | 3.069 | 3.084 |
| Al T | 0.895 | 0.910 | 0.902 | 0.931 | 0.916 |
| Σ T | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 |
| Ti | 0.003 | 0.002 | 0.004 | 0.003 | 0.003 |
| Al M | 1.827 | 1.816 | 1.809 | 1.796 | 1.828 |
| Fe ³⁺ | 0.082 | 0.128 | 0.109 | 0.170 | 0.111 |
| Fe ²⁺ | 0.067 | 0.033 | 0.055 | 0.000 | 0.035 |
| Mn | 0.004 | 0.006 | 0.005 | 0.005 | 0.004 |
| Mg | 0.017 | 0.015 | 0.019 | 0.027 | 0.018 |
| Σ M | 2.000 | 2.000 | 2.001 | 2.001 | 1.999 |
| Na | 0.069 | 0.094 | 0.093 | 0.074 | 0.070 |
| K | 0.912 | 0.868 | 0.884 | 0.885 | 0.900 |
| Σ I | 0.981 | 0.962 | 0.977 | 0.959 | 0.970 |
| O | 10.000 | 10.000 | 10.000 | 10.000 | 10.000 |
| OH | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| (Fe+Mn+Mg) ²⁺ | 0.088 | 0.054 | 0.079 | 0.032 | 0.057 |
| Na/(Na+K) | 0.070 | 0.098 | 0.095 | 0.077 | 0.072 |
| Cr, Ni, Ca, F, Cl pod detekčným limitom | | | | | |

Tabuľka 3 Chemické zloženie berylu (hm. %). Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Kryštálochemické vzorce normalizované na 18 atómov kyslíka a 3 atómy Be.

| Analýza | Beryl I | | Beryl I | | Beryl I | | Beryl II | | Beryl II | |
|----------------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | centr. | okraj | okraj | okraj | okraj | centr. | okraj | centr. | okraj | |
| SiO ₂ | 66.58 | 66.14 | 66.17 | 67.10 | 66.78 | 65.34 | 66.14 | 66.17 | 66.78 | 65.34 |
| Al ₂ O ₃ | 18.43 | 18.35 | 17.93 | 18.47 | 18.41 | 17.73 | 18.43 | 18.35 | 17.93 | 18.41 |
| FeO | 0.25 | 0.44 | 0.53 | 0.27 | 0.31 | 0.55 | 0.25 | 0.44 | 0.53 | 0.27 |
| ZnO | 0.05 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.07 | 0.05 | 0.09 | 0.10 | 0.10 |
| BeO calc. | 13.89 | 13.83 | 13.79 | 13.97 | 13.91 | 13.60 | 13.89 | 13.83 | 13.79 | 13.91 |
| MgO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 |
| Na ₂ O | 0.72 | 0.63 | 0.64 | 0.49 | 0.54 | 0.57 | 0.72 | 0.63 | 0.64 | 0.49 |
| K ₂ O | 0.00 | 0.03 | 0.03 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.03 | 0.00 |
| Rb ₂ O | 0.10 | 0.14 | 0.14 | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.10 | 0.14 | 0.14 | 0.10 |
| Cs ₂ O | 0.59 | 1.31 | 1.86 | 0.44 | 0.13 | 0.69 | 0.59 | 1.31 | 1.86 | 0.44 |
| Total | 100.61 | 100.96 | 101.19 | 100.94 | 100.28 | 98.70 | 100.61 | 100.96 | 101.19 | 100.28 |
| Si | 5.986 | 5.973 | 5.992 | 6.000 | 5.997 | 6.001 | 5.986 | 5.973 | 5.992 | 6.001 |
| Be | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 |
| Al | 1.953 | 1.953 | 1.914 | 1.946 | 1.948 | 1.919 | 1.953 | 1.953 | 1.914 | 1.946 |
| Fe | 0.019 | 0.033 | 0.040 | 0.020 | 0.023 | 0.042 | 0.019 | 0.033 | 0.040 | 0.020 |
| Zn | 0.003 | 0.006 | 0.007 | 0.007 | 0.003 | 0.005 | 0.003 | 0.006 | 0.007 | 0.007 |
| Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.003 |
| Σ O | 1.975 | 1.992 | 1.961 | 1.973 | 1.977 | 1.971 | 1.975 | 1.992 | 1.961 | 1.973 |
| Na | 0.126 | 0.110 | 0.112 | 0.085 | 0.094 | 0.101 | 0.126 | 0.110 | 0.112 | 0.085 |
| K | 0.000 | 0.003 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.003 | 0.000 |
| Rb | 0.006 | 0.008 | 0.008 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.008 | 0.008 | 0.006 |
| Cs | 0.023 | 0.050 | 0.072 | 0.017 | 0.005 | 0.027 | 0.023 | 0.050 | 0.072 | 0.017 |
| Σ C | 0.155 | 0.171 | 0.195 | 0.108 | 0.108 | 0.134 | 0.155 | 0.171 | 0.195 | 0.108 |
| Σ kationov | 11.116 | 11.136 | 11.148 | 11.081 | 11.082 | 11.106 | 11.116 | 11.136 | 11.148 | 11.081 |
| O | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 | 18.000 |
| Ti, Cr, Mn pod detekčným limitom | | | | | | | | | | |



Obr. 3 BSE mikrofotografia fenakitu (Ph) v asociácii so sekundárnym muskovitom (Ms) a kremeňom (Qz) na kontakte Nb-Ta minerálov (Nb-Ta) a primárneho berylu (Brl). Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Foto V. Kollárová.



Obr. 4 BSE mikrofotografia bertranditu (Btd) v asociácii s hydrobiotitom? (Hbt), sekundárnym K-živcom (Kfs) a kremeňom (Qz) v primárnom beryle (Brl). Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Foto V. Kollárová.

mická a štruktúrna charakteristika berylu z pegmatitu Bratislava - Jezuitské lesy je uvedená v práci Uher et al. (2010).

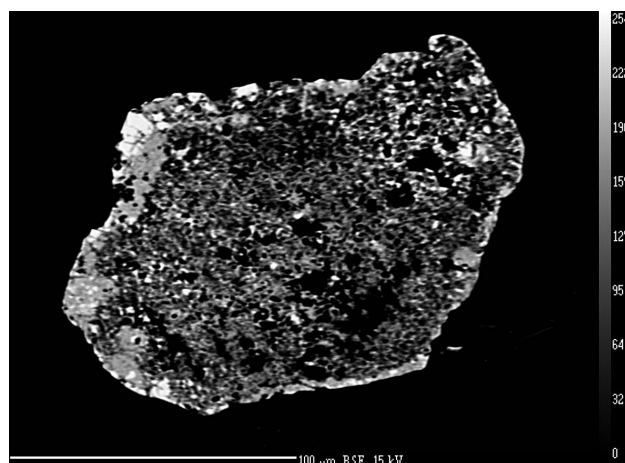
Vplyvom subsolidovej alterácie berylu dochádza k jeho čiastočnému rozpadu a vzniku sekundárnych silikátov berylia - **fenakitu** Be_2SiO_4 a **bertranditu** $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$, spolu so sekundárnym muskovitom, kremeňom, prípadne K-živcom a hydrobiotitom (?) po okrajoch a trhlínach v beryle (obr. 3 a 4). Oba sekundárne minerály Be sa vyznačujú veľmi slabým signálom BSE (tmavší ako kremeň a beryl) a mikrosondovými analýzami, ktoré detekovali len 50 - 57 hm. % SiO_2 . Fenakit sa však na rozdiel od bertranditu vyznačuje silnou katódovou luminescenciou. Prítomnosť oboch minerálov bola potvrdená aj pomocou EBSD.

Granát (almandín-spessartín) je najhojnejším akcesorickým minerálom pegmatitu. Vytvára tmavočervené idiomorfne kryštály veľkosti 1 - 4 mm v hrubozrnej kremenno-živcovomuskovitovej zóne, alebo drobné 0.1 - 0.5 mm kryštály v cukrovitom albite (obr. 2). Kryštály granátu sú chemicky takmer homogénne, prevláda v nich almandínová molekula (50 - 52 mol. %) nad spessartínovou (47 - 49 mol. %), obsahy pyropu, grossuláru a andraditu dosahujú menej ako 1 mol. % (tab. 4). Mierne zvýšené sú obsahy fosforu (0.2 - 0.4 hm. % P_2O_5). Lokálne je granát po okrajoch alterovaný sekundárnym muskovitom.

Zirkón vytvára prizmaticko-dipyramidálne kryštály, najmä v ich centrálnych častiach je silne metamiktný, pórovitý a bez zachovanej rastovej zonality (obr. 5). Chemické analýzy zirkónu (tab. 5) sa vyznačujú zvýšenými obsahmi P (max. 9.4 hm. % P_2O_5 , ≤ 0.27 apfu), Hf (6 - 12 hm. %, 0.06 - 0.11 apfu), Th (max. 0.9 hm. % ThO_2 , ≤ 0.007 apfu), U (max. 2.1 hm. % UO_2 , ≤ 0.016 apfu), Al (max. 4.7 hm. %, ≤ 0.17 apfu), Fe (max. 2.4 hm. % Fe_2O_3 , ≤ 0.06 apfu), Y (max. 3.2 hm. % Y_2O_3 , ≤ 0.06 apfu), REE (max. 2.6 hm. % REE_2O_3 , ≤ 0.3 apfu) a Ca (max. 1.4 hm. % CaO , ≤ 0.05 apfu) a často zníženými sumami oxidov (cca 95 - 97 hm. %), čo poukazuje na hydratáciu minerálu (prítomnosť OH, resp. H_2O). Vstup P, Al, Y, Fe, REE a Ca do štruktúry zirkónu možno vysvetliť komplexnou heterovalentnou substitúciou typu: $\text{Ca}(\text{Y},\text{REE})(\text{Al},\text{Fe}^{3+})\text{P}(\text{OH})\square(\text{Zr},\text{Hf})_2\text{Si}_2\text{O}_7$ (obr. 6), súčasne so vstupom Th a U za Zr a Hf.

Tabuľka 4 Chemické zloženie almandínu-spessartínu (hm. %). Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Kryštalochemické vzorce normalizované na 12 atómov kyslíka a valenciu Fe.

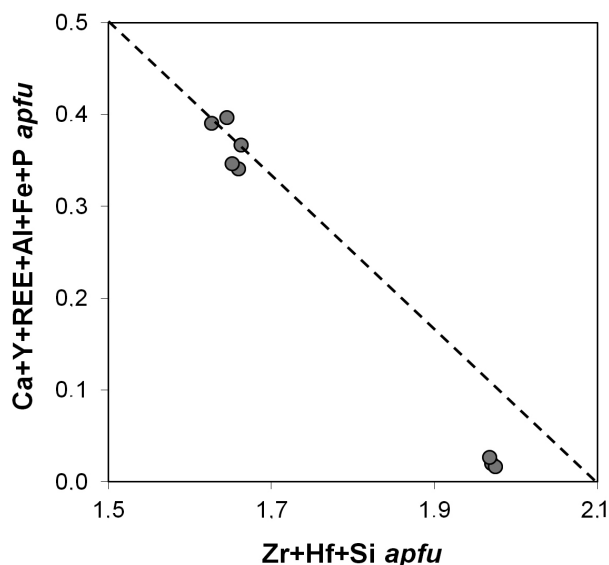
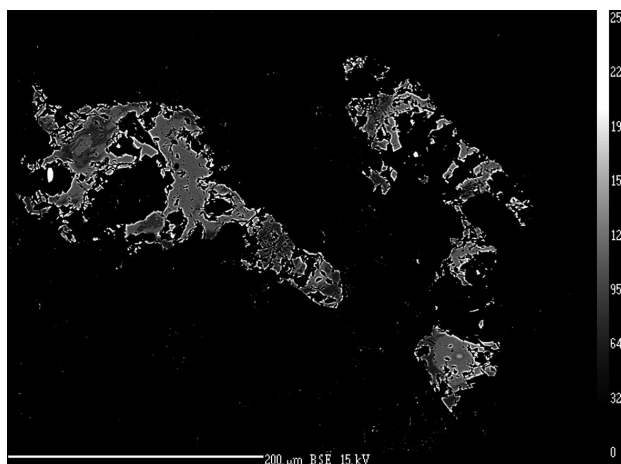
| Analýza | 96 | 97 | 104 |
|-------------------------|--------|--------|--------|
| P_2O_5 | 0.29 | 0.26 | 0.24 |
| SiO_2 | 35.74 | 36.14 | 35.97 |
| TiO_2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Al_2O_3 | 20.43 | 20.52 | 20.40 |
| Fe_2O_3 | 0.36 | 0.00 | 0.65 |
| FeO | 22.68 | 22.58 | 22.29 |
| MnO | 20.10 | 20.16 | 20.40 |
| MgO | 0.04 | 0.09 | 0.14 |
| CaO | 0.17 | 0.15 | 0.23 |
| Total | 99.81 | 99.90 | 100.32 |
| P | 0.020 | 0.018 | 0.017 |
| Si | 2.961 | 2.983 | 2.964 |
| Al Z | 0.019 | 0.000 | 0.019 |
| Σ Z | 3.000 | 3.001 | 3.000 |
| Ti | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Al Y | 1.976 | 1.996 | 1.962 |
| Fe^{3+} | 0.022 | 0.000 | 0.041 |
| Σ Y | 1.998 | 1.996 | 2.003 |
| Fe^{2+} | 1.571 | 1.559 | 1.536 |
| Mn | 1.410 | 1.410 | 1.424 |
| Mg | 0.005 | 0.011 | 0.017 |
| Ca | 0.015 | 0.013 | 0.020 |
| Σ X | 3.001 | 2.993 | 2.997 |
| Σ cat. | 8.000 | 7.991 | 8.000 |
| Σ | 12.000 | 12.000 | 12.000 |
| Alm | 52.35 | 52.09 | 51.25 |
| Sps | 46.98 | 47.11 | 47.51 |
| Prp | 0.17 | 0.37 | 0.57 |
| Grs+And | 0.50 | 0.43 | 0.67 |



Obr. 5 BSE mikrofotografia pórovitého metamiktného zirkónu v albite. Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Foto V. Kollárová.

Tabuľka 5 Chemické zloženie zirkónu (hm. %). Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Kryštalochemické vzorce normalizované na 4 atómy kyslíka.

| Analýza | 2 | 3 | 4 | 7 | 9 | Analýza | 2 | 3 | 4 | 7 | 9 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P ₂ O ₅ | 0.14 | 3.68 | 4.56 | 5.05 | 0.11 | P | 0.004 | 0.098 | 0.128 | 0.139 | 0.003 |
| As ₂ O ₅ | 0.36 | 0.37 | 0.34 | 0.42 | 0.43 | As | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.007 | 0.007 |
| SiO ₂ | 33.45 | 30.03 | 25.14 | 26.01 | 33.31 | Si | 1.050 | 0.945 | 0.835 | 0.845 | 1.051 |
| TiO ₂ | 0.06 | 0.13 | 0.21 | 0.16 | 0.08 | Σ | 1.060 | 1.049 | 0.969 | 0.991 | 1.061 |
| ZrO ₂ | 54.71 | 41.98 | 43.79 | 45.97 | 52.52 | Ti | 0.001 | 0.003 | 0.005 | 0.004 | 0.002 |
| HfO ₂ | 9.74 | 8.18 | 8.61 | 9.31 | 11.96 | Zr | 0.837 | 0.644 | 0.709 | 0.728 | 0.808 |
| ThO ₂ | 0.00 | 0.10 | 0.08 | 0.07 | 0.00 | Hf | 0.087 | 0.073 | 0.082 | 0.086 | 0.108 |
| UO ₂ | 0.13 | 1.26 | 1.15 | 1.20 | 0.19 | Th | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 |
| Al ₂ O ₃ | 0.00 | 4.25 | 3.20 | 2.02 | 0.10 | U | 0.001 | 0.009 | 0.008 | 0.009 | 0.001 |
| Sc ₂ O ₃ | 0.00 | 0.06 | 0.13 | 0.07 | 0.00 | Al | 0.000 | 0.158 | 0.125 | 0.077 | 0.004 |
| Y ₂ O ₃ | 0.00 | 1.35 | 1.80 | 1.96 | 0.00 | Sc | 0.000 | 0.002 | 0.004 | 0.002 | 0.000 |
| La ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | Y | 0.000 | 0.023 | 0.032 | 0.034 | 0.000 |
| Ce ₂ O ₃ | 0.03 | 0.31 | 0.20 | 0.23 | 0.05 | La | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| Pr ₂ O ₃ | 0.20 | 0.26 | 0.18 | 0.23 | 0.06 | Ce | 0.000 | 0.004 | 0.002 | 0.003 | 0.001 |
| Nd ₂ O ₃ | 0.00 | 0.15 | 0.15 | 0.17 | 0.05 | Pr | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | 0.001 |
| Sm ₂ O ₃ | 0.00 | 0.05 | 0.08 | 0.10 | 0.00 | Nd | 0.000 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |
| Eu ₂ O ₃ | 0.16 | 0.19 | 0.16 | 0.16 | 0.21 | Sm | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 |
| Gd ₂ O ₃ | 0.07 | 0.22 | 0.19 | 0.21 | 0.09 | Eu | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Tb ₂ O ₃ | 0.00 | 0.05 | 0.11 | 0.08 | 0.04 | Gd | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |
| Dy ₂ O ₃ | 0.00 | 0.18 | 0.13 | 0.28 | 0.00 | Tb | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 |
| Ho ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | Dy | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.003 | 0.000 |
| Er ₂ O ₃ | 0.42 | 0.41 | 0.58 | 0.64 | 0.26 | Ho | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| Tm ₂ O ₃ | 0.08 | 0.12 | 0.09 | 0.11 | 0.08 | Er | 0.004 | 0.004 | 0.006 | 0.007 | 0.003 |
| Yb ₂ O ₃ | 0.05 | 0.18 | 0.29 | 0.35 | 0.03 | Tm | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.10 | 1.47 | 1.84 | 1.24 | 0.32 | Yb | 0.000 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.000 |
| CaO | 0.02 | 0.86 | 1.01 | 0.92 | 0.05 | Fe | 0.002 | 0.035 | 0.046 | 0.030 | 0.008 |
| SrO | 0.09 | 0.09 | 0.06 | 0.07 | 0.06 | Ca | 0.001 | 0.029 | 0.036 | 0.032 | 0.002 |
| Total | 99.81 | 95.93 | 94.16 | 97.08 | 100.03 | Sr | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| | | | | | | Σ A | 0.941 | 1.003 | 1.073 | 1.033 | 0.944 |
| | | | | | | Σ katiónov | 2.002 | 2.049 | 2.043 | 2.023 | 2.004 |
| | | | | | | O | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 |
| | | | | | | Hf/(Hf+Zr) | 0.094 | 0.102 | 0.104 | 0.106 | 0.118 |

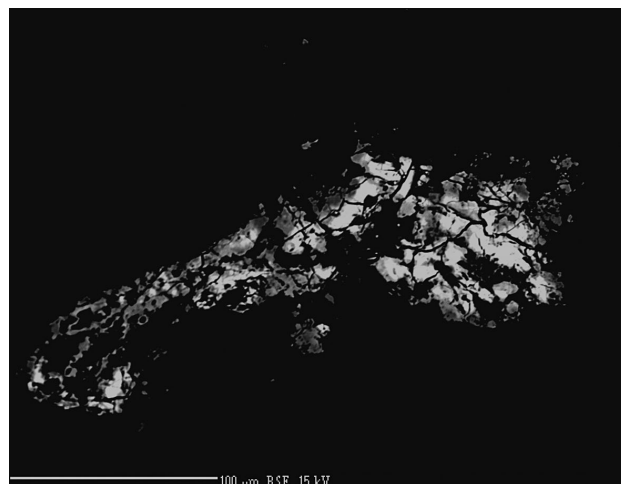
**Obr. 6** Substitučný diagram $\text{Ca}(\text{Y}, \text{REE})(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})\text{P}(\text{OH})\square$ (Zr, Hf)₂Si₂O₇ zirkónu. Čiarkovaná línia zobrazuje priebeh ideálnej substitúcie. Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy.**Obr. 7** BSE mikrofotografia xenomorfného fluóropatitu v albite a kremeni. Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Foto V. Kollárová.

Tabuľka 6 Chemické zloženie fluórapatitu (hm. %). Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Kryštalochemické vzorce normalizované na 12 atómov kyslíka a 1(OH+F+Cl).

| Analýza | 5 | 6 | 9 | 10 | Analýza | 5 | 6 | 9 | 10 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| SO ₃ | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | S | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| P ₂ O ₅ | 41.91 | 42.24 | 41.43 | 41.71 | P | 2.979 | 3.011 | 2.992 | 2.998 |
| As ₂ O ₅ | 0.30 | 0.08 | 0.08 | 0.03 | As | 0.013 | 0.004 | 0.004 | 0.001 |
| SiO ₂ | 0.10 | 0.09 | 0.10 | 0.03 | Si | 0.008 | 0.008 | 0.009 | 0.003 |
| ThO ₂ | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | Σ T | 3.002 | 3.023 | 3.005 | 3.002 |
| UO ₂ | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | Th | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| La ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | U | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| Ce ₂ O ₃ | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | La | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| Pr ₂ O ₃ | 0.14 | 0.12 | 0.08 | 0.23 | Ce | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Nd ₂ O ₃ | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.00 | Pr | 0.004 | 0.004 | 0.002 | 0.007 |
| Eu ₂ O ₃ | 0.14 | 0.24 | 0.47 | 0.35 | Nd | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 |
| Gd ₂ O ₃ | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | Eu | 0.004 | 0.007 | 0.014 | 0.010 |
| Tb ₂ O ₃ | 0.06 | 0.00 | 0.04 | 0.03 | Gd | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.002 |
| Dy ₂ O ₃ | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | Tb | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.001 |
| Ho ₂ O ₃ | 0.05 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | Dy | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Er ₂ O ₃ | 0.18 | 0.13 | 0.14 | 0.33 | Ho | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| Tm ₂ O ₃ | 0.03 | 0.09 | 0.06 | 0.00 | Er | 0.005 | 0.003 | 0.004 | 0.009 |
| Yb ₂ O ₃ | 0.00 | 0.07 | 0.02 | 0.03 | Tm | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.000 |
| FeO | 0.04 | 0.10 | 1.09 | 1.35 | Yb | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.001 |
| MnO | 0.22 | 1.71 | 8.62 | 9.49 | Fe | 0.003 | 0.007 | 0.078 | 0.096 |
| CaO | 54.84 | 52.42 | 46.54 | 45.85 | Mn | 0.016 | 0.122 | 0.623 | 0.682 |
| SrO | 0.12 | 1.19 | 0.02 | 0.04 | Ca | 4.934 | 4.728 | 4.253 | 4.171 |
| PbO | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | Sr | 0.006 | 0.058 | 0.001 | 0.002 |
| Na ₂ O | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | Pb | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| H ₂ O calc. | 0.37 | 0.49 | 0.09 | 0.40 | Na | 0.003 | 0.005 | 0.003 | 0.000 |
| F | 2.99 | 2.73 | 3.50 | 2.88 | Σ M | 4.986 | 4.941 | 4.984 | 4.982 |
| Cl | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.02 | OH | 0.206 | 0.273 | 0.050 | 0.224 |
| O=F | -1.26 | -1.15 | -1.47 | -1.21 | F | 0.794 | 0.727 | 0.944 | 0.773 |
| O=Cl | 0.00 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | Cl | 0.000 | 0.000 | 0.006 | 0.003 |
| Total | 100.53 | 100.69 | 100.93 | 101.65 | Σ X | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | | | | | O | 12.000 | 12.000 | 12.000 | 12.000 |
| | | | | | Σ cat. | 7.988 | 7.963 | 7.987 | 7.983 |
| | | | | | Mn/(Mn+Ca) | 0.003 | 0.025 | 0.128 | 0.141 |
| | | | | | Y a Sm po detekčným limitom | | | | |

Fluórapatit vystupuje v asociáciách s cukrovitým albitom, kremeňom, muskovitom a granátom v podobe xenomorfných agregátov veľkosti do 0.3 mm (obr. 7). Fluórapatit je nepravidelne zonálny, striedajú sa zóny s nízkymi a vysokými koncentraciami Mn (do 9.5 hm. % MnO, $\leq 0,68$ apfu), lokálne aj zvýšenými obsahmi Fe (do 1.4 hm. % FeO) a Sr (do 1.2 hm. % SrO); pomer F/(F+OH) sa pohybuje v intervale 0.73 až 0.94 (tab. 6). Vzácné fluórapatit obsahuje 1 - 2 μ m veľké inklúzie **pyritu**.

Vzácné je prítomný **monazit-(Ce)** v asociáciách s fluórapatitom v albite. Lokálne sa vyskytli 100 - 250 μ m veľké xenomorfné až hypidiomorfné inklúzie **cheralitu** (Ca_{0.5}Th_{0.5}PO₄) až **Th-fosfátovej-(silikátovej) fázy** so zložením blížiacim sa (Th,U)₋₁(P,Si)₋₁O₄ v kremeni a K-živci (tab. 7, obr. 8). Ide zrejme o metamiktné fázy s neideálnou stechiometriou, produkty rozpadu a alterácie pôvodného monazitu s vysokým obsahom Th a U. Kým vstup Th do štruktúry monazitu a cheralitu je kontrolovaný cheralitovou substitúciou (CaThREE₂), zloženia s vysokým až dominantným zastúpením Th-fosfátovej-



Obr. 8 BSE mikrofotografia cheralitu až Th-fosfátovej-(silikátovej) fázy v kremeni a K-živci. Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Foto V. Kollárová.

Tabuľka 7 Chemické zloženie monazitú (Mnz), cheralitú (Chr) a Th-fosfátu-(silikátu) - ThP, ThPSi (hm. %). Pegmatit Bratislava - Jezuit-ské lesy. Kryštalochemické vzorce normalizované na 4 atómy kyselika.

| Analyza | Mnz | | | | | | | | | | Chr | | | | | | | | | | ThP | | | | | | | | | | ThPSi | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|---|---|----|----|----|----|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | 1 | 2 | 17 | 18 | 11 | 10 | 1 | 2 | 17 | 18 | 11 | 10 | 1 | 2 | 17 | 18 | 11 | 10 | 1 | 2 | 17 | 18 | 11 | 10 | 1 | 2 | 17 | 18 | 11 | 10 | | | | | | | | | | |
| SO ₃ | 0.00 | 0.05 | 0.47 | 0.35 | 0.34 | 0.17 | S | 0.000 | 0.001 | 0.014 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.007 | Zr | 0.002 | 0.003 | 0.007 | 0.009 | 0.009 | 0.020 | 0.028 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P ₂ O ₅ | 29.36 | 30.10 | 30.08 | 27.99 | 26.12 | 10.22 | P | 0.982 | 0.994 | 0.971 | 0.881 | 0.892 | 0.457 | Hf | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| As ₂ O ₅ | 0.30 | 0.23 | 0.09 | 0.09 | 0.12 | 0.19 | As | 0.006 | 0.005 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.005 | Th | 0.018 | 0.041 | 0.333 | 0.348 | 0.518 | 0.720 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SiO ₂ | 0.67 | 0.28 | 0.19 | 2.44 | 1.72 | 7.69 | Si | 0.026 | 0.011 | 0.007 | 0.091 | 0.070 | 0.407 | U | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.002 | 0.005 | 0.076 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ZrO ₂ | 0.09 | 0.16 | 0.39 | 0.49 | 1.03 | 1.08 | Al | | | 0.036 | 0.081 | 0.098 | 0.037 | ΣB | 1.014 | 1.011 | 1.029 | 1.065 | 1.073 | 0.913 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HfO ₂ | 0.00 | 0.00 | 0.18 | 0.04 | 0.16 | 0.07 | ΣB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ThO ₂ | 2.03 | 4.67 | 38.38 | 41.08 | 56.45 | 59.77 | Zr | 0.002 | 0.003 | 0.007 | 0.009 | 0.020 | 0.028 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| UO ₂ | 0.00 | 0.04 | 0.25 | 0.30 | 0.53 | 6.42 | Hf | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Al ₂ O ₃ | | | 0.80 | 1.85 | 2.06 | 0.60 | Th | 0.018 | 0.041 | 0.333 | 0.348 | 0.518 | 0.720 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Y ₂ O ₃ | 0.08 | 0.14 | 2.49 | 2.19 | 0.86 | 1.23 | U | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.002 | 0.005 | 0.076 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| La ₂ O ₃ | 9.31 | 8.27 | 1.51 | 1.36 | 0.48 | 0.00 | Y | 0.002 | 0.003 | 0.050 | 0.043 | 0.019 | 0.035 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ce ₂ O ₃ | 27.91 | 25.21 | 2.59 | 2.31 | 0.51 | 0.28 | La | 0.136 | 0.119 | 0.021 | 0.019 | 0.007 | 0.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pr ₂ O ₃ | 3.65 | 3.48 | 0.71 | 0.58 | 0.34 | 0.28 | Ce | 0.404 | 0.360 | 0.036 | 0.031 | 0.007 | 0.006 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nd ₂ O ₃ | 13.21 | 13.20 | 2.87 | 1.84 | 0.77 | 0.30 | Pr | 0.053 | 0.049 | 0.010 | 0.008 | 0.005 | 0.005 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sm ₂ O ₃ | 8.05 | 8.99 | 0.70 | 0.32 | 0.03 | 0.22 | Nd | 0.186 | 0.184 | 0.039 | 0.024 | 0.011 | 0.006 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eu ₂ O ₃ | 0.00 | 0.12 | 0.28 | 0.37 | 0.20 | 0.25 | Sm | 0.110 | 0.121 | 0.009 | 0.004 | 0.000 | 0.004 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gd ₂ O ₃ | 2.65 | 2.51 | 0.91 | 0.70 | 0.34 | 0.45 | Eu | 0.000 | 0.002 | 0.004 | 0.005 | 0.003 | 0.005 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tb ₂ O ₃ | 0.16 | 0.03 | 0.24 | 0.11 | 0.03 | 0.09 | Gd | 0.035 | 0.032 | 0.011 | 0.009 | 0.004 | 0.008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dy ₂ O ₃ | 0.17 | 0.29 | 0.52 | 0.31 | 0.16 | 0.20 | Tb | 0.002 | 0.000 | 0.003 | 0.001 | 0.000 | 0.002 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H ₂ O ₃ | 0.00 | 0.19 | 0.06 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | Dy | 0.002 | 0.004 | 0.006 | 0.004 | 0.002 | 0.003 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Er ₂ O ₃ | 0.34 | 0.29 | 0.62 | 0.45 | 0.47 | 0.42 | Ho | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tm ₂ O ₃ | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.14 | 0.12 | Er | 0.004 | 0.004 | 0.007 | 0.005 | 0.006 | 0.007 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Yb ₂ O ₃ | 0.10 | 0.12 | 0.28 | 0.24 | 0.12 | 0.20 | Tm | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lu ₂ O ₃ | 0.16 | 0.00 | 0.07 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | Yb | 0.001 | 0.001 | 0.003 | 0.003 | 0.001 | 0.003 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FeO | 0.00 | 0.00 | 0.37 | 0.60 | 0.17 | 0.51 | Lu | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MnO | 0.04 | 0.07 | | | | | Fe | 0.000 | 0.000 | 0.012 | 0.019 | 0.006 | 0.023 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CaO | 0.72 | 1.31 | 9.91 | 11.16 | 5.03 | 2.58 | Mn | 0.001 | 0.002 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SiO | 0.00 | 0.17 | 0.88 | 0.76 | 0.36 | 0.11 | Ca | 0.030 | 0.055 | 0.405 | 0.445 | 0.217 | 0.146 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BaO | 0.07 | 0.10 | | | | | Sr | 0.000 | 0.004 | 0.019 | 0.016 | 0.008 | 0.003 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PbO | 0.00 | 0.07 | 0.81 | 0.93 | 0.31 | 0.08 | Ba | 0.001 | 0.002 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | 99.16 | 100.18 | 96.74 | 99.03 | 98.85 | 93.49 | Pb | 0.000 | 0.001 | 0.009 | 0.010 | 0.004 | 0.001 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | ΣA | 0.990 | 0.990 | 0.993 | 1.007 | 0.849 | 1.082 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | Σ kationov | 2.004 | 2.001 | 2.022 | 2.072 | 1.921 | 1.996 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | O | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | Sc, F pod detekčným limitom | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

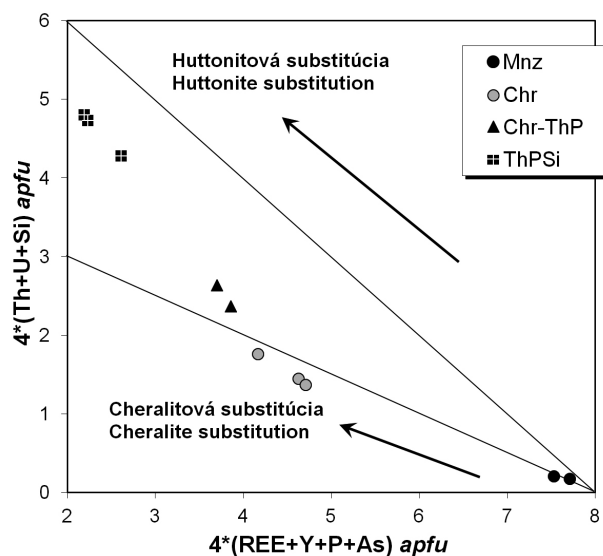
(silikátovej) fázy prejavujú trend postupného priblíženia sa k huttonitovej substitúcii (ThSiREE₁P₁) - obrázok 9.

Gahnit vytvára oktaedrické tmavozelené kryštály alebo izometrické jedince veľkosti do 1 mm, nachádza sa najmä v cukrovitom albite v asociácii s granátom. Často je zatláčaný sekundárnym muskovitom, takže lokálne tvorí len relikt v agregáte muskovitu (obr. 10). Gahnit je chemicky relatívne homogénny, so zvýšenými obsahmi Fe (3.7 - 5.2 hm. % FeO, 0.09 - 0.13 *apfu*, 9 - 14 mol. % hercynitu) a nízkymi obsahmi Mn a Mg (0.6 - 0.8 mol. % galaxitu a 0.1 - 0.2 mol. % spinelu) - tabuľka 8.

Primárne minerály **Nb-Ta** sú zastúpené členmi skupiny columbitu (**ferocolumbit**, **ferotantalit**, **manganocolumbit**, **manganotantalit**, **ferotapiolitom** a **ferowodginitom** (tab. 9). Nachádzajú sa v hrubokryšťa-

lickej kremeňovo-mikroklínovo-muskovitovej zóne, ako aj v asociácii s cukrovitým albitem a cleavelanditom. Najhojnejší je ferocolumbit až ferotantalit, vytvárajúci čierne tabuľkovité prizmatické kryštály so silným kovovým leskom s veľkosťou do 5 mm (obr. 11), ostatné Nb-Ta minerály vytvárajú inklúzie a nepravidelné zóny (max. 0.5 mm), ktoré sa vzájomne prerastajú s ferocolumbitom-ferotantalitom. Podrobné štúdium textúrnych vzťahov a variácií chemického zloženia (Chudík, Uher 2011) umožnilo rozlíšenie až troch generácií minerálov skupiny columbitu, tapiolitu a wodginitu (tab. 10).

Pôsobením neskorých magmaticko-hydrotermálnych fluíd na primárne Nb-Ta fázy (najmä columbit-tantalit a ferotapiolit) vzniká **fluórkalciummikrolit** v podobe nepravidelných, do 2 mm dlhých a 100 μm širokých lemov, žiliek



Obr. 9 Substitučný diagram monazitu (Mnz), cheralitu (Chr), prechodného cheralitu - Th-P fázy (Chr-ThP) a Th-P-(Si) fázy. Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy.

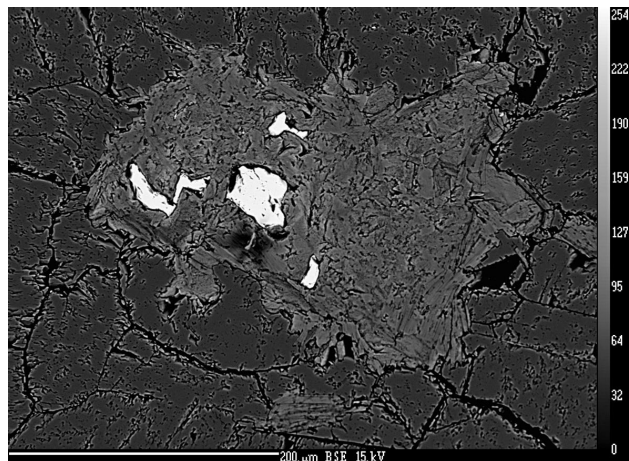
Tabuľka 8 Chemické zloženie gahnitu (hm. %). Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Kryštalochemické vzorce normalizované na 4 atómy kyslíka a valenciu Fe.

| Analýza | 12 | 13 | 88 | 89 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| SiO ₂ | 0.00 | 0.03 | 0.13 | 0.55 |
| Al ₂ O ₃ | 55.54 | 56.59 | 55.46 | 55.88 |
| V ₂ O ₃ | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 4.86 | 5.23 | 4.04 | 3.73 |
| MnO | 0.33 | 0.23 | 0.23 | 0.22 |
| ZnO | 38.62 | 37.51 | 39.04 | 40.39 |
| MgO | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.05 |
| Total | 99.79 | 99.63 | 98.94 | 100.82 |
| Si | 0.000 | 0.001 | 0.004 | 0.017 |
| Al | 1.990 | 2.014 | 1.999 | 1.979 |
| V | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe ³⁺ | 0.008 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Σ B | 2.000 | 2.015 | 2.003 | 1.996 |
| Fe ²⁺ | 0.124 | 0.132 | 0.103 | 0.094 |
| Mn | 0.008 | 0.006 | 0.006 | 0.006 |
| Zn | 0.867 | 0.836 | 0.882 | 0.896 |
| Mg | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Σ A | 1.000 | 0.976 | 0.993 | 0.998 |
| O | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 |
| Zn/(Zn+Fe) | 0.875 | 0.864 | 0.895 | 0.905 |
| Gahnit | 86.70 | 85.66 | 88.82 | 89.78 |
| Hercynit | 12.40 | 13.52 | 10.37 | 9.42 |
| Galaxit | 0.80 | 0.61 | 0.60 | 0.60 |
| Spinel | 0.10 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |

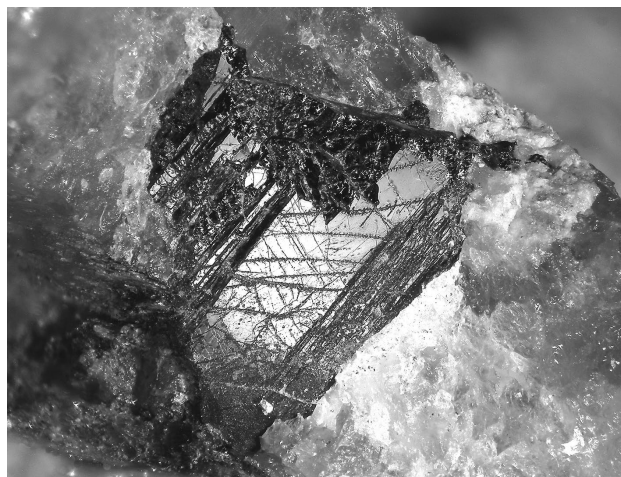
a zón. Pomer Ta/(Ta+Nb) v fluoralkaliomikrolite dosahuje 0.82 - 0.97, obsahy F kolíšu v intervale 2.4 - 3.8 hm. % (0.70 - 1.02 apfu) - tabuľka 11.

Tabuľka 9 Chemické zloženie ferocolumbitu (Col-Fe), manganocolumbitu (Col-Mn), ferotantalitu (Tan-Fe), manganotantalitu (Tan-Mn), ferotapilitu (Tap-Fe) a ferowodginitu (Wod-Fe) v hm. %. Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Kryštalochemické vzorce normalizované na 6 atómov kyslíka (columbit - tantalit a ferotapilit), respektíve na 8 atómov kyslíka (ferowodginit).

| Minerál | Col-Fe | Col-Mn | Tan-Fe | Tan-Mn | Tap-Fe | Wod-Fe |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analýza | 1 | 79 | 54 | 56 | 29 | 58 |
| WO ₃ | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Nb ₂ O ₅ | 47.96 | 55.36 | 18.32 | 15.32 | 5.10 | 8.66 |
| Ta ₂ O ₅ | 32.07 | 24.64 | 64.62 | 67.79 | 78.61 | 61.96 |
| TiO ₂ | 0.67 | 0.42 | 0.73 | 0.50 | 0.92 | 0.20 |
| ZrO ₂ | 0.38 | 0.07 | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.73 |
| SnO ₂ | 0.08 | 0.01 | 0.20 | 0.17 | 0.54 | 15.18 |
| ThO ₂ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| UO ₂ | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.00 |
| Sc ₂ O ₃ | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.03 | 0.02 |
| Y ₂ O ₃ | 0.00 | 0.07 | 0.02 | 0.00 | 0.03 | 0.00 |
| Sb ₂ O ₃ | 0.05 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.44 | 0.87 | 0.76 | 1.91 | 0.55 | 1.39 |
| FeO | 11.70 | 5.64 | 8.17 | 4.30 | 12.63 | 6.34 |
| MnO | 5.76 | 12.60 | 6.76 | 9.82 | 1.22 | 5.33 |
| MgO | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.02 |
| CaO | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ZnO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PbO | 0.00 | 0.18 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| Total | 100.18 | 99.89 | 99.78 | 99.99 | 99.80 | 99.86 |
| W | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Nb | 1.386 | 1.553 | 0.625 | 0.529 | 0.188 | 0.409 |
| Ta | 0.558 | 0.416 | 1.326 | 1.408 | 1.746 | 1.762 |
| Ti | 0.032 | 0.019 | 0.041 | 0.029 | 0.056 | 0.016 |
| Zr | 0.012 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.037 |
| Sn | 0.002 | 0.000 | 0.006 | 0.005 | 0.018 | 0.633 |
| Th | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| U | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| Sc | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Y | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| Sb | 0.001 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe ³⁺ | 0.069 | 0.041 | 0.043 | 0.110 | 0.034 | 0.110 |
| Fe ²⁺ | 0.626 | 0.293 | 0.516 | 0.275 | 0.863 | 0.555 |
| Mn | 0.312 | 0.663 | 0.432 | 0.635 | 0.084 | 0.472 |
| Mg | 0.000 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.001 | 0.003 |
| Ca | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Zn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Pb | 0.000 | 0.003 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Σ cat. | 3.000 | 2.999 | 2.999 | 2.999 | 2.999 | 3.999 |
| O | 6.000 | 6.000 | 6.000 | 6.000 | 6.000 | 8.000 |
| Mn/(Mn+Fe) | 0.31 | 0.67 | 0.44 | 0.62 | 0.09 | 0.42 |
| Ta/(Ta+Nb) | 0.29 | 0.21 | 0.68 | 0.73 | 0.90 | 0.81 |



Obr. 10 BSE mikrofotografia reliktovej gahnitu (biely), zatláčaného sekundárnym muskovitom (sivé agregáty). Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Foto V. Kollárová.



Obr. 11 Makrofotografia tabuľkovitého kryštálu ferocolumbitu-ferotantalitu v kremeň. Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Veľkosť kryštálu 4 mm. Foto M. Števko.

Tabuľka 10 Generácie a atómové pomery Mn/(Mn+Fe) a Ta/(Ta+Nb) minerálov skupiny columbitu, tapiolitu a wodginitu v pegmatite Bratislava - Jezuitské lesy (Chudík, Uher 2011).

| Minerál | Generácia | Mn/(Mn+Fe) | Ta/(Ta+Nb) |
|---------------------------------|-----------|------------|------------|
| Ferotantalit | I | 0.32-0.49 | 0.52-0.70 |
| Ferocolumbit-ferotantalit | II | 0.30-0.45 | 0.10-0.60 |
| Manganocolumbit-manganotantalit | III | 0.51-0.69 | 0.16-0.79 |
| Ferotapiolit | I | 0.06-0.10 | 0.88-0.90 |
| Ferotapiolit | II | 0.06-0.09 | 0.85-0.87 |
| Ferotapiolit | III | 0.11-0.24 | 0.88-0.92 |
| Ferowodginit | I | 0.33-0.41 | 0.73-0.86 |
| Ferowodginit | II | 0.26-0.37 | 0.73-0.77 |
| Ferowodginit | III | 0.40-0.41 | 0.80-0.81 |

Tabuľka 11 Chemické zloženie fluórkalciumkrolitu (hm. %). Pegmatit Bratislava - Jezuitské lesy. Kryštalochemické vzorce normalizované na 2 atómy (Nb+Ta+Ti).

| Anal. | 60 | 69 | 70 | Anal. | 60 | 69 | 70 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nb ₂ O ₅ | 4.58 | 2.63 | 4.40 | Nb | 0.185 | 0.111 | 0.179 |
| Ta ₂ O ₅ | 73.75 | 74.02 | 73.66 | Ta | 1.795 | 1.874 | 1.800 |
| TiO ₂ | 0.29 | 0.21 | 0.32 | Ti | 0.020 | 0.015 | 0.021 |
| Sc ₂ O ₃ | 0.02 | 0.01 | 0.03 | Σ B | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| Y ₂ O ₃ | 0.04 | 0.00 | 0.05 | Sc | 0.001 | 0.001 | 0.002 |
| As ₂ O ₃ | 0.04 | 0.16 | 0.03 | Y | 0.002 | 0.000 | 0.002 |
| Sb ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.21 | As | 0.002 | 0.009 | 0.001 |
| FeO | 0.09 | 1.25 | 0.20 | Sb | 0.000 | 0.000 | 0.008 |
| MnO | 0.19 | 0.55 | 0.15 | Fe | 0.006 | 0.097 | 0.015 |
| CaO | 13.32 | 14.90 | 12.86 | Mn | 0.015 | 0.043 | 0.012 |
| SnO | 0.69 | 0.72 | 0.27 | Ca | 1.278 | 1.487 | 1.238 |
| PbO | 0.05 | 0.07 | 0.00 | Sn | 0.031 | 0.033 | 0.012 |
| Na ₂ O | 2.97 | 1.55 | 3.35 | Pb | 0.001 | 0.002 | 0.000 |
| F | 3.00 | 2.37 | 3.20 | Na | 0.516 | 0.279 | 0.583 |
| O=F | -0.16 | -0.12 | -0.17 | Σ A | 1.852 | 1.951 | 1.873 |
| Total | 98.87 | 98.31 | 98.53 | F | 0.850 | 0.698 | 0.908 |
| | | | | O | 6.000 | 6.000 | 6.000 |

W, Zr, Th, U, La-Lu, Bi, Zn, Mg, Sr, Ba, K, Cs, Cl pod detekčným limitom

Geochemická charakteristika pegmatitu

Geochemicky ide o relatívne silne frakcionovanú horninu; chemická analýza albitizovaného kremeňovo-živcovo-muskovitového pegmatitu (tab. 12) vykazuje zvýšené obsahy SiO_2 (73 hm. %), Al_2O_3 (15.6 hm. %), Na_2O (5.1 hm. %) a P_2O_5 (0.3 hm. %), ako aj vzácných litofilných prvkov: približne 600 ppm Rb, 120 ppm Cs, 230 ppm Be, 32 ppm Ga, 49 ppm Nb, 13 ppm Ta, 60 ppm Sn a 11 ppm W. Na druhej strane je pegmatit chudobný na Li (23 ppm), Sr (23 ppm), Ba (76 ppm), Zr (59 ppm) a najmä prvky vzácných zemín (suma REE = 7.7 ppm), Th (1 ppm) a U (1.5 ppm). Podobne aj neprítomnosť minerálov bóru (najmä minerálov skupiny turmalínu) na pegmatite Jezuitské lesy indikuje nízke koncentrácie tohto ľahkého litofilného prvku, typického pre niektoré typy granitových pegmatitov, vrátane vzácno-prvkových. Chondritom normalizovaná krivka REE poukazuje na dominanciu ľahkých REE (najmä La až Sm) a výrazným poklesom ťažkých REE (najmä Dy až Lu), pričom koncentrácie Ho až Lu sú nižšie ako chondritový štandard (obr. 12).

Diskusia a záver

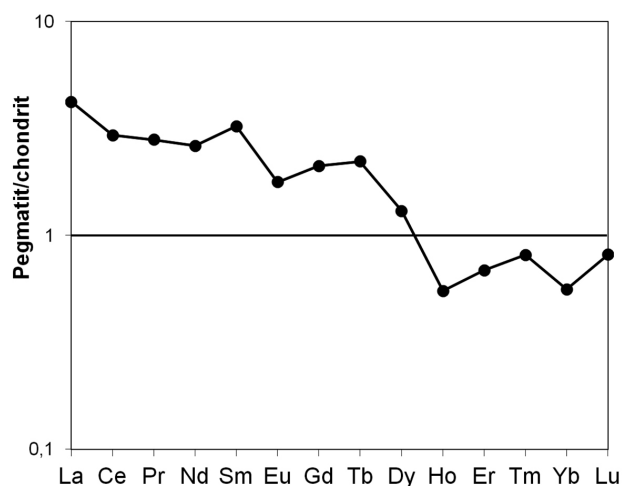
Na základe zistených mineralogických a geochemických údajov možno granitový pegmatit na lokalite Bratislava - Jezuitské lesy zaradiť medzi vzácno-prvkové pegmatity berylového typu, berylovo-columbitového subtypu a LCT suity (sensu Černý, Ercit 2005). Spolu s pegmatitom Moravany nad Váhom - Striebornica pri Piešťanoch v Považskom Inovci patrí k najfrakcionovanejším telesám granitových pegmatitov zisteným v Západných Karpatoch. Vnútorňa zonalita a trendy chemického zloženia Be a Nb-Ta minerálov (Uher et al. 2010; Chudík, Uher 2011), ako aj ďalších minerálov indikujú jeho zložitú evolúciu s uplatnením procesov primárnej magmatickej frakcionácie, neskoromagmatickej až subsolidovej albitizácie a hydrotermálnej alterácie.

Chemické zloženie pegmatitu Jezuitské lesy poukazuje na relatívne vysoký stupeň jeho primárnej magmatickej frakcionácie, v dôsledku čoho došlo ku koncentráciám vzácných litofilných prvkov, najmä Rb, Cs, Be, Nb, Ta a Sn, čo je jav typický pre evolúciu granitových, najmä vzácno-prvkových pegmatitov (napr. Černý et al. 1985; London 2008). Takisto nízke obsahy Sr, Ba, Zr a najmä REE (suma REE = 7.7 ppm), negatívna Eu anomália ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.66$), ako aj nízke hodnoty pomeru Rb/Cs (4.8), Zr/Hf (7.2) a Nb/Ta (3.8), a naopak relatívne zvýšené hodnoty pomeru 10000Ga/Al (3.8) a Rb/Sr (26.4) poukazujú na značný stupeň frakcionácie taveniny, z ktorej vznikal pegmatit.

Na druhej strane je zaujímavý veľmi nízky obsah Li v pegmatite Jezuitské Lesy, ktorý dosahuje len 23 ppm, čo je netypické pre vzácno-prvkové granitové pegmatity s LCT afinitou, kde charakteristicky zvýšené koncentrácie Li môžu dosahovať až úroveň ich saturácie a kryštalizáciu samostatných minerálov lítia (Černý et al. 1985; London 2008 atď.). Naopak v okolitých granitoch až granodioritoch bratislavského masívu v oblasti Devína dosahujú koncentrácie Li podstatne vyššie hodnoty (67 - 100 ppm; Cambel, Viliňovič 1987), pričom najvyššie obsahy Li sú v biotitických granodioritoch až (leuko)tonalitoch. Lítium sa teda v rámci bratislavského masívu správa ako geochemicky kompatibilný prvok (jeho obsah klesá s frakcionáciou magmy), ktorý sa prednostne viazal zrejme na primárne magmatický biotit okolitých granitických hornín, čo spôsobilo jeho čiastočné spotrebovanie a pokles v zvyškovej pegmatitovej tavenine. Nízka koncentrácia Li v pegmatite navyše indikuje, že nebol derivovaný priamo z

Tabuľka 12 Chemické zloženie albitizovaného kremeňovo-živcovo-muskovitového pegmatitu Bratislava - Jezuitské lesy (hm. %, ppm).

| | hm. % | ppm | | ppm | |
|-------------------------|-------|-----|------|-----|-------|
| SiO_2 | 73.18 | Li | 23 | Th | 1.1 |
| TiO_2 | 0.01 | Rb | 603 | U | 1.5 |
| Al_2O_3 | 15.64 | Cs | 124 | Be | 231 |
| Fe_2O_3 | 1.20 | Sr | 22.8 | Nb | 49.1 |
| MnO | 0.16 | Ba | 76.0 | Ta | 12.8 |
| MgO | 0.09 | Ga | 31.7 | Sn | 60.0 |
| CaO | 0.31 | Sc | <1.0 | W | 11.4 |
| Na_2O | 5.13 | Y | 1.80 | V | <8 |
| K_2O | 2.88 | La | 1.00 | Cr | <15 |
| P_2O_5 | 0.28 | Ce | 1.80 | Ni | <20 |
| LOI | 1.02 | Pr | 0.26 | Co | 1.1 |
| Total | 99.90 | Nd | 1.20 | Mo | <0.1 |
| C | <0.02 | Sm | 0.48 | Cu | 0.3 |
| S | <0.02 | Eu | 0.10 | Ag | <0.1 |
| | | Gd | 0.42 | Au | <0.5 |
| Rb/Cs | 4.8 | Tb | 0.08 | Hg | <0.01 |
| Rb/Sr | 26.4 | Dy | 0.32 | Pb | 1.0 |
| 10000Ga/Al | 3.8 | Ho | 0.03 | Zn | 9.0 |
| Zr/Hf | 7.2 | Er | 0.11 | Cd | <0.1 |
| Nb/Ta | 3.8 | Tm | 0.02 | As | 0.6 |
| Y/Ho | 60.0 | Yb | 0.09 | Sb | <0.1 |
| ΣREE | 7.73 | Lu | 0.02 | Bi | 0.1 |
| Eu/Eu^* | 0.66 | Zr | 59.1 | Tl | 0.4 |
| $\text{TE}_{1,3}$ | 1.17 | Hf | 8.2 | Se | <0.5 |



Obr. 12 Chondritom normalizovaný diagram REE v priemernej vzorke pegmatitu Bratislava - Jezuitské lesy. Hodnoty chondritu podľa McDonough, Sun (1995).

okolitých granitov, ale tieto len preniká.

Anomálne vysoký pomer Y/Ho (60.0) spolu s nepravdivým priebehom normalizovanej krivky REE spôsobeným lantanidovým tetradovým efektom ($\text{TE}_{1,3} = 1.17$) možno interpretovať ako dôsledok zvýšenej aktivity fluóru v zvyškových magmaticko-hydrotermálnych fluidách (Bau 1996; Irber 1999). Uvedenú zvýšenú aktivitu F v závere magmatického štádia evolúcie, respektíve už začiatku

hydrotermálnej alterácie pegmatitu, pri stále relatívne vysokej teplote, dokumentuje aj prítomnosť fluóropatitu a fluórkalciumikrolitu, naopak starší primárne magmatický muskovit prakticky neobsahuje F.

Najmladšie štádium nízkoteplotnej hydrotermálnej alterácie pegmatitu dokumentuje čiastočný rozpad berylu za vzniku asociácie fenakit + muskovit II + kremeň II, resp. bertrandit + K-živec II + muskovit II + hydrobiotit (?). Podobne vzniká sekundárny muskovit II aj na úkor granátu a gahnitu.

Kým proces magmatickej frakcionácie a kryštalizácie, ako aj neskoromagmatickej až subsolidovej albitizácie spojenej s pôsobením fluórom obohatených fluíd možno pravdepodobne spojiť s hercýnskou solidifikáciou pegmatitu, mladšia hydrotermálna nízkoteplotná alterácia môže súvisieť s cirkuláciou vodou obohatených fluíd, respektíve roztokov buď počas následného posthercýnskeho výzdvihu granitového masívu spolu s pegmatitmi alebo až s tektono-termálnymi udalosťami a presunom bratislavského granitového prikrývku počas alpínskej (vrchnokriedovej) orogenézy.

Podakovanie

Predložená práca bola podporená vedeckými grantovými agentúrami na základe projektov VEGA 1/0257/13 a APVV-0081-10. Autor ďakuje D. Ozdínovi a V. Kollárovej za asistenciu pri analýze minerálov na elektrónovom mikroanalýzátore, J. Halodovi za určenie fenakit a bertranditu pomocou EBSD, K. Breiterovi za sprostredkovanie stanovenia Li v pegmatite, ako aj recenzentom I. Broskovi a P. Gadasovi za konštruktívne pripomienky.

Literatúra

- 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.
- Broska I., Uher P. (2001) Whole-rock chemistry and genetic typology of the West-Carpathian Variscan granites. *Geol. Carpath.* 52, 79-90.
- Cambel B., Vilinovič V. (1987) Geochémia a petrológia granitoidných hornín Malých Karpát. 1-248, *Veda, Bratislava*.
- Černý P., Ercit T. S. (2005) The classification of granitic pegmatites revisited. *Can. Mineral.* 43, 2005-2026.
- Černý P., Meintzer R. E., Anderson A. J. (1985) Extreme fractionation in rare-element granitic pegmatites: selected examples of data and mechanisms. *Can. Mineral.* 23, 381-421.
- Dávidová Š. (1968) Granáty z pegmatitov Malých Karpát. *Acta Geol. Geogr. Univ. Comen. Geol.* 13, 117-128.
- Dávidová Š. (1970) Charakteristik der Pegmatite der Kleinen Karpaten. *Geol. Zbor. Geol. Carpath.* 21, 115-137.
- Dávidová Š. (1978) Mineralógia a petrografia pegmatitov kryštalínika tatrid. *Mineralia Slov.* 10, 127-146.
- Gargulák M., Vanek J. (1989) Beryl - prvý nález z pegmatitov Malých Karpát. *Mineralia Slov.* 21, 426.
- Gbelský J. (1979) Electron microprobe determination of Zr/Hf ratios in zircons from pegmatites of the Malé Karpaty Mts. (West Carpathians). *Geol. Zbor. Geol. Carpath.* 30, 463-474.
- Gbelský J. (1980) Composition of the main morphological types of garnets from pegmatites of the Malé Karpaty Mts. (West Carpathians). *Geol. Zbor. Geol. Carpath.* 31, 185-199.
- Gbelský J., Krištín J. (1985) Gahnit v pegmatitoch Malých Karpát - príspevok k topografickej mineralógii Slovenska. In: Veselský J., Beňka J., Gbelský J. (eds.): *Akcesorické minerály - ich petrogenetický a metalogenetický význam*, 65-70. *Geologický ústav D. Štúra, Bratislava*.
- Chudík P., Uher P. (2011) Niobium-tantalum oxide minerals in the Jezuitské Lesy granitic pegmatite, Bratislava massif, Slovakia: Ta to Nb and Fe to Mn evolutionary trends on a narrow Be,Cs-rich and Li,B-poor dike. *Mineral. Petrol.* 102, 15-27.
- Irber W. (1999) The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 63, 489-508.
- Kohút M., Uher P., Putiš M., Ondrejka M., Sergeev S., Lariónov A., Paderin A. (2009) SHRIMP U-Th-Pb zircon dating of the granitoid massifs in the Malé Karpaty Mountains (Western Carpathians): evidence of Meso-Hercynian successive S- to I-type granitic magmatism. *Geol. Carpath.* 60, 345-350.
- London D. (2008) Pegmatites. 1-348, *The Canadian Mineralogist, Special Publication 10, Mineralogical Association of Canada, Québec*.
- Maheľ M., Cambel B. (1972) Geologická mapa Malých Karpát. *Geologický ústav D. Štúra, Bratislava*.
- McDonough W. F., Sun S.-s. (1995) The composition of the Earth. *Chem. Geol.* 120, 223-253.
- Ondrejka M., Uher P., Putiš M., Broska I., Bačík P., Konečný P., Schmiedt I. (2012) Two-stage breakdown of monazite by post-magmatic and metamorphic fluids: An example from the Veporic orthogneiss, Western Carpathians, Slovakia. *Lithos* 142-143, 245-255.
- Ozdín D. (2010) Beryl a fenakit z granitových pegmatitov tunela Sítina v Bratislave. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)*, 18, 78-84.
- Uher P. (1992) Vzácno-prvková Be-Nb-Ta mineralizácia v granitových pegmatitoch Západných Karpát. *MS, kandidátska dizertačná práca, Geologický ústav SAV, Bratislava*.
- Uher P., Broska I. (1995) Pegmatites in two suites of Variscan orogenic rocks (Western Carpathians, Slovakia). *Mineral. Petrol.* 55, 27-36.
- Uher P., Černý P., Novák M., Siman P. (1994) Niobium-tantalum minerals from granitic pegmatites in the Malé Karpaty, Považský Inovec and Žiar Mountains, Western Carpathians, Slovakia. *Mineralia Slov.* 26, 157-164.
- Uher P., Chudík P., Bačík P., Vaculovič T., Galiová M. (2010) Beryl composition and evolution trends: an example from granitic pegmatites of the beryl-columbite subtype, Western Carpathians, Slovakia. *J. Geosci.* 55, 69-80.
- Uher P., Kohút M., Ondrejka M., Konečný P., Siman P. (in print) Monazite-(Ce) in Hercynian granites and pegmatites of the Bratislava Massif, Western Carpathians: compositional variations and Th-U-Pb electron-microprobe dating. *Acta Geol. Slov.*
- Uher P., Žitňan P., Ozdín D. (2007) Pegmatitic Nb-Ta oxide minerals in alluvial placers from Limbach, Bratislava Massif, Western Carpathians, Slovakia: compositional variations and evolutionary trend. *J. Geosci.* 52, 133-141.
- Valach J. (1954) Žulové pegmatity Malých Karpát. *Geol. Sbor. Slov. Akad. Vied* 5, 26-58.
- Veselský J., Gbelský J. (1978) Výsledky štúdia akcesorických minerálov granitoidov a pegmatitov Malých Karpát. *Acta Geol. Geogr. Univ. Comen. Geol.* 33, 91-111.