

SLOŽENÍ STÉBELNATÉHO VESUVIANU ZE SKARNOIDU OD MORAVSKÝCH BRÁNIC (MORAVOSILEZIKUM)

COMPOSITION OF VESUVIANITE FROM SKARNOID FROM MORAVSKÉ BRÁNICE
(MORAVOSILESIAN ZONE)

JAKUB MALÝ, JAN CEMPÍREK, MILAN NOVÁK

Abstract

Malý, J., Cempírek, J., Novák, M., 2019: Složení stébelnatého vesuvianu ze skarnoidu od Moravských Bránic (Moravosilezikum). - Acta Mus. Morav., Sci. Geol., 104, 1, 97-111 (with English summary).

Composition of vesuvianite from skarnoid from Moravské Bránice (Moravosilesian Zone)

Study of long-prismatic vesuvianite-group minerals from skarnoid at the locality Moravské Bránice using the electron microprobe and LA-ICP-MS (laser ablation mass spectrometry with inductively coupled plasma) provided new results on its chemical and trace-element composition. Four texturally-paragenetic types of vesuvianite were distinguished. Primary vesuvianite VES 1 occurs in the mineral assemblage Ves + Di + Ep whereas the primary vesuvianites VES 2 and VES 3 were found in the mineral assemblage Ves + Di + Grs; both assemblages contain accessory apatite, titanite, zircon and rare malayaite. Alteration of VES 2 results in Ca, Al, F-depleted hydrated mineral (VES 4) with composition that still resembles vesuvianite stoichiometry. The primary vesuvianite from Moravské Bránice is remarkable by its high Ti contents (up to 0.97 *apfu*; 2.62 wt.% TiO₂), and elevated Li (up to 157 ppm), Be (up to 90 ppm) and REE, Th, U amounts (up to 3100 ppm Ce, 1300 ppm Th, and 240 ppm U). Secondary alteration that removed part of Ca, Al, and F from VES 2 and increased B, Sr, REE, Th, and U contents in resulting VES 4 was most likely low-volume hydrothermal process. Vesuvianite stability during post-magmatic processes (recrystallization, alteration) makes it plausible tool for monitoring of post-magmatic processes.

Key words: Vesuvianite, skarnoid, EMPA, LA-ICP-MS, REE, calc-silicate rock, Brunovistulicum, Bohemian Massif

Jakub Malý, Department of Geological Sciences, Masaryk University, Brno, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic, e-mail: maly.brno@gmail.com

Jan Cempírek, Department of Geological Sciences, Masaryk University, Brno, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic

Milan Novák, Department of Geological Sciences, Masaryk University, Brno, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic

ÚVOD

Vesuvian donedávna patřil díky své složité struktuře a široké variabilitě substituujících prvků na několika pozicích k málo prostudovaným horninotvorným minerálům. S rozvojem moderních analytických metod jsou zjišťovány detaily o jeho struktuře i variabilitě chemického složení. V posledních 20 letech bylo s postupným výzkumem a novými poznatky krystalochemie vesuvianu schváleno komisí pro nové minerály, názvosloví a klasifikaci při Mezinárodní mineralogické asociaci (IMA Commission on New Minerals, Nomenclature

and Classification) celkem 8 nových samostatných minerálů ze skupiny vesuvianu: wiluit (GROAT *et al.* 1998), manganvesuvian (ARMBRUSTER *et al.* 2002), fluorvesuvian (BRITVIN *et al.* 2003), cyprin (PANIKOROVSKII *et al.* 2017a), alumovesuvian (PANIKOROVSKII *et al.* 2017b), magnesiovesuvian (PANIKOROVSKII *et al.* 2017c), hongheit (XU *et al.* 2017), milanriederit (CHUKANOV *et al.* 2018) a manaevit (MOISEV *et al.* 2018).

Nejaktuálnější strukturně–krystalochemický vzorec minerálů skupiny vesuvianu s ohledem na proměnlivé složení a nové studie lze vyjádřit velmi detailně (PANIKOROVSKII *et al.* 2017b) jako: $X_{16}X1_2X4^VY1^VIY2_4^VIY3_8T_{0-5}[(ZO_4)_{10-X}(H_4O_4)_X](Z_2O_7)_4(W)_{10-12}$ kde pozice X má 7–9 četnou koordinaci s hlavním prvkem Ca, minoritně zde vstupují Na, K, Fe²⁺ a REE. Pozice X1 a X4 mají čtvercově–antiprismatickou koordinaci a jsou obsazeny Ca a Na; dominantním kationtem pozic Y je Al, pozice Y1 má čtvercově–pyramidální koordinaci a může být obsazena maximálně do jedné poloviny; pozice Y2 a Y3 mají oktaedrickou koordinaci a jsou obvykle téměř kompletně obsazeny Al, který může být substituován (Mg²⁺, Mn^{2+,3+}, Fe²⁺, Fe³⁺, Ti⁴⁺). Většina kationtů (Mg²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Mn²⁺, Mn³⁺), stopově (Cr³⁺, Zn²⁺) nahrazuje Al v pozicích Y1 a Y3 (GROAT *et al.* 1992, 1994; ARMBRUSTER *et al.* 2002, GNOS a ARMBRUSTER 2006). Do pozice Y1 vstupuje stopově Cu²⁺ (PANIKOROVSKII *et al.* 2017a). Pozice T má planárně trigonální a tetraedrickou koordinaci, obvykle je vakantní, ale může být obsazena až 5 apfu B (Fe³⁺, Al). V pozici Z je x < 3; skupiny ZO₄ (obvykle SiO₄, popř. H₄O₄) jsou ortosilikátové (izolované tetraedry) a skupiny Z₂O₇ disilikátové (rohem spojené tetraedry). Pozice W obsahuje OH nebo O, F, Cl.

Studium minerálních asociací a chemického složení minerálů skupiny vesuvianu pomocí elektronové mikrosondy a LA-ICP-MS (laserově ablační hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem) na lokalitě Moravské Bránice přineslo nové výsledky prezentované v této práci.

METODIKA

Analýzy vesuvianu, epidotu, granátu a titanitu byly provedeny na elektronové mikrosondě (EMPA) Cameca SX100 na společném pracovišti elektronové mikroskopie a mikroanalýzy Ústavu geologických věd Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity a ČGS (analytici P. Gadas, J. Haifler). Měření probíhalo ve vlnově disperzním módu za podmínek: urychlovací napětí 15 keV, proud svazku 10 nA, načítací čas 20 s, průměr elektronového svazku 5 μm. Při analýze jednotlivých oxidů a silikátů bylo využito těchto standardů: albit (Na), sanidin (Si, Al, K), pyrop (Mg), titanit (Ti), fluorapatit (P), vanadinit (Cl), chromit (Cr), wollastonit (Ca), almandin (Fe), spessartin (Mn), ScVO₄ (V), gahnit (Zn), topaz (F), SrSO₄ (S), lammerit (As). Analýzy vesuvianu byly přepočteny na vzorce na základě 18 apfu Si.

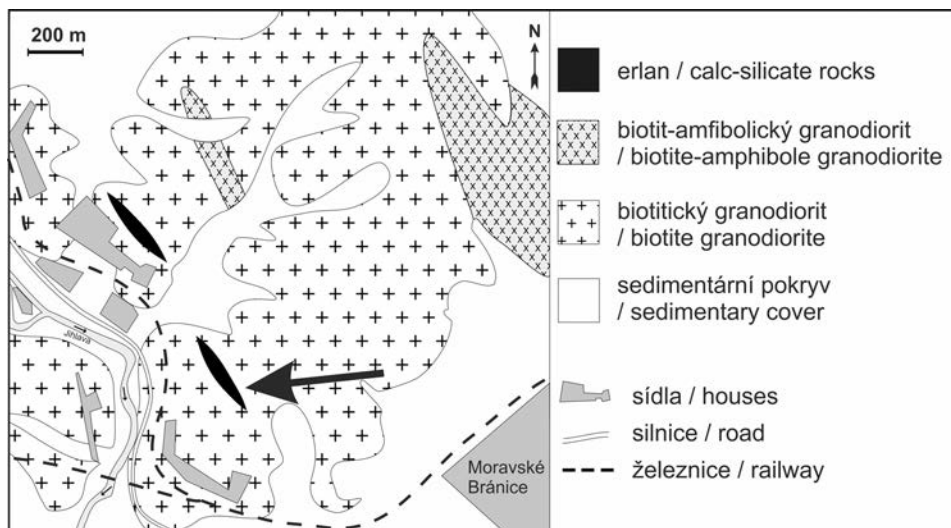
Stopové a lehké prvky (Li, Be a B) byly analyzovány pomocí metody LA-ICP-MS (laserově ablační hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem) na oddělení analytické chemie Ústavu chemie PřF MU pod vedením Michaely Galiové Vašinové a Markéty Holé. K ablační vzorku byl použitý komerčně dostupný ablační systém Analyte G2 (Photon Machines Inc., Redmond, WA, USA) vybavený ArF* excimerovým laserem, který emituje záření o vlnové délce 193 nm s délkou pulzu ~4ns. Ablační systém je vybaven dvouobjemovou ablační celou, umožňující rychlý transport částic do ionizačního zdroje. Výhodou použití 193 nm laserového svazku je zvýšení absorpce materiálu a ve spojení s ICP-MS snížení detekčních limitů prvků. Široká variabilita velikostí laserového svazku (3–160 μm) a tvarů ablačních stop umožňuje prvkovou analýzu i sledování distribuce prvků s vysokým prostorovým rozlišením. Při našem měření byla použita bodová analýza. Do indukčně vázaného plazmatu byl ablatovaný materiál transportován proudem nosného plynu (He s průtokem 0.65 l min⁻¹). Před vstupem do ICP byl nosný plyn smíchán s pomocným plynem – argonem mající průtok ~1 l/min. Vzorek byl ablatován za optimálních podmínek frekvence (10 Hz) a hustoty zářivé energie laserového pulzu (7 J cm⁻²) a průměru laserového paprsku 60 μm. Laserová ablace probíhala 60 s, takéž měření pozadí trvalo

60 s. Signál vybraných izotopů (${}^6\text{Li}^+$, ${}^7\text{Li}^+$, ${}^9\text{Be}^+$, ${}^{10}\text{B}^+$, ${}^{11}\text{B}^+$, ${}^{24}\text{Mg}^+$, ${}^{25}\text{Mg}^+$, ${}^{26}\text{Mg}^+$, ${}^{27}\text{Al}^+$, ${}^{28}\text{Si}^+$, ${}^{29}\text{Si}^+$, ${}^{43}\text{Ca}^+$, ${}^{44}\text{Ca}^+$, ${}^{45}\text{Sc}^+$, ${}^{47}\text{Ti}^+$, ${}^{49}\text{Ti}^+$, ${}^{51}\text{V}^+$, ${}^{53}\text{Cr}^+$, ${}^{59}\text{Co}^+$, ${}^{60}\text{Ni}^+$, ${}^{61}\text{Ni}^+$, ${}^{63}\text{Cu}^+$, ${}^{65}\text{Cu}^+$, ${}^{66}\text{Zn}^+$, ${}^{68}\text{Zn}^+$, ${}^{75}\text{As}^+$, ${}^{89}\text{Y}^+$, ${}^{95}\text{Mo}^+$, ${}^{96}\text{Mo}^+$, ${}^{97}\text{Mo}^+$, ${}^{98}\text{Mo}^+$, ${}^{117}\text{Sn}^+$, ${}^{118}\text{Sn}^+$, ${}^{119}\text{Sn}^+$, ${}^{121}\text{Sb}^+$, ${}^{123}\text{Sb}^+$, ${}^{139}\text{Ce}^+$, ${}^{140}\text{Ce}^+$, ${}^{182}\text{W}^+$, ${}^{184}\text{W}^+$, ${}^{186}\text{W}^+$, ${}^{206}\text{Pb}^+$, ${}^{208}\text{Pb}^+$, ${}^{209}\text{Bi}^+$) byl zaznamenáván pomocí ICP-MS spektrometru s dvojitou fokusací Element 2 (Thermo ScientificTM) v nízkém rozlišení ($m/m > 300$). Ke kalibraci byl použit NIST 614, NIST 612 a NIST 610. Standardy NIST byly použity před měřením, v průběhu i po měření, aby výsledky byly co nejpřesnější. Jako porovnávací prvky mezi metodou EMPA a LA-ICP-MS byly použity ${}^{28}\text{Si}$, ${}^{29}\text{Si}$, Al, a Ca. Analýzy jsou normalizovány na ${}^{28}\text{Si}$ a uvedené hodnoty jsou v ppm.

GEOLOGICKÁ SITUACE LOKALITY

Studovaná lokalita se nachází v Z části brněnského poloookna dyjsko-ivančického plutonu (CHÁB *et al.* 2008), který je v této části tradičně označován jako západní granitoidová zóna brněnského batolitu (LEICHMANN a HÖCK 2008; srov. MÍŠAŘ *et al.* 1981). Západní část dyjsko-ivančického kadomského plutonu je tvořena neoproterozoickými granity, granodiority a diority, které intrudovaly do silně metamorfovaných rul, amfibolitů a rohovců, ojediněle s polohami metakarbonátů; staří plutonu je uváděno v rozmezí 550–580 Ma (shrnutí v CHÁB *et al.* 2008, a v KALVODA *et al.* 2008) a jen o málo starší je vrchol metamorfických procesů v silně metamorfovaných horninách brunovistulika (HANŽL a MELICHAR 1997; SVOJTKA *et al.* 2017). Podle LEICHMANN *et al.* (1999) a LEICHMANN a HÖCKA (2008) reprezentují granitoidy vyvinutější horniny S-typového granitu.

Studovaný skarnoid z Moravských Bránic je součástí tělesa erlánu, které je situováno v údolí východního břehu řeky Jihlavy (STANĚK a NOVÁK 1978, BURIÁNEK 2010) v granodioritech typu Tetčice (LEICHMANN a HÖCK 2008), přibližně 1 km západně od Moravských Bránic (Obr. 1). Erlán se vyskytuje jako enkláva v granodioritech o směru SSZ–JJV; od kóty Trubač (318 m.n.m.) pokračuje cca. 200 m SSZ směrem.



Obr. 1. Zjednodušená geologická mapa výskytů erlánů SZ od Moravských Bránic. Šipka ukazuje polohu studovaného skarnoidu. Překresleno podle mapy České geologické služby 1:50 000 (dostupné online).

Fig. 1. Simplified geological map of calc-silicate rock occurrences in NW vicinity of Moravské Bránice. Arrow shows position of the studied locality. Redrawn after map of the Czech Geological Survey 1:50 000 (available on-line).

Erlán je silně postižen injekční migmatitizací okolními granodiority, které jím pronikají konkordantně jako velké množství žilek a žil mikroklinizovaného granodioritu (uváděný jako „metatekt“ v pracích STANĚK a NOVÁK 1978, NOVÁK 1979 a dalších; dále bude pro zachování konzistentnosti uváděn jako *metatekt*). Erlán je makroskopicky středně až jemně zrnitá hornina, světlezelené až šedozeleňé barvy. Má výrazně páskovanou texturu. Mikroskopicky se skládá hlavně z plagioklasu (oligoklas) a pyroxenu (salit) (NOVÁK 1979). Podružně jsou zastoupeny křemen a K-živce, akcesoricky grosulár, epidot, klinozoisit, prehnit, titanit a apatit. Žíly granodioritu v blízkosti erlánu podlely silně feldspatizaci a výsledný mikroklinizovaný granodiorit (*metatekt*) se skládá převážně z K-živce (mikroklin výrazně převládá nad ortoklasem) a vzácného albitu. Má světle šedou až narůžovělou barvu se zrny o velikosti od 1 do 10 mm. Akcesoricky je nejčastěji zastoupen plagioklas, křemen, klinopyroxen, amfibol, biotit, titanit, allanit (v automrfiních zonálních krystalech), apatit a zirkon (NOVÁK 1979). Kontakt *metatektu* a erlánu je ostrý (STANĚK a NOVÁK 1978).

Vesuvian se vyskytuje v několik cm až 1 dm mocných pyroxen-vesuvianových skarnoidech v erlánu (NOVÁK 1979). NOVÁK (1977) rozlišil v Moravských Bránicích dva typy vesuvianu. První typ, který je studován v této práci, je stébelnatý, má hnědou barvu, a je vždy zarostlý v erlánu a jeho prokřemenělých partiích; vznikl během přínosu tékavých složek v průběhu (kontaktně) metamorfních procesů (feldspatizace). Druhým typem je mladší vesuvian z dutin, jehož vznik je spojen s hydrotermálními pochody, které těsně navazují na předešlé procesy kontaktní metamorfózy. Důkazem by mohly být typické hydrotermální minerály křišťál a adulár, které spolu s vesuvianem vyplňují dutiny. Stébelnatý a dutinový vesuvian mají odlišné mikrochemické složení (STANĚK a NOVÁK 1978).

Ve skarnoidu se spolu s vesuvianem vyskytují grosulár, diopsid, křemen, klinozoisit, epidot, albit, oligoklas, scheelit, kalcit, ortoklas-adulár, z akcesorií jsou uváděny prehnit, titanit a apatit; rudní minerály a zirkon jsou vzácné (NOVÁK 1977; STANĚK a NOVÁK 1978; NOVÁK 1979; HOUZAR *et al.* 1997).

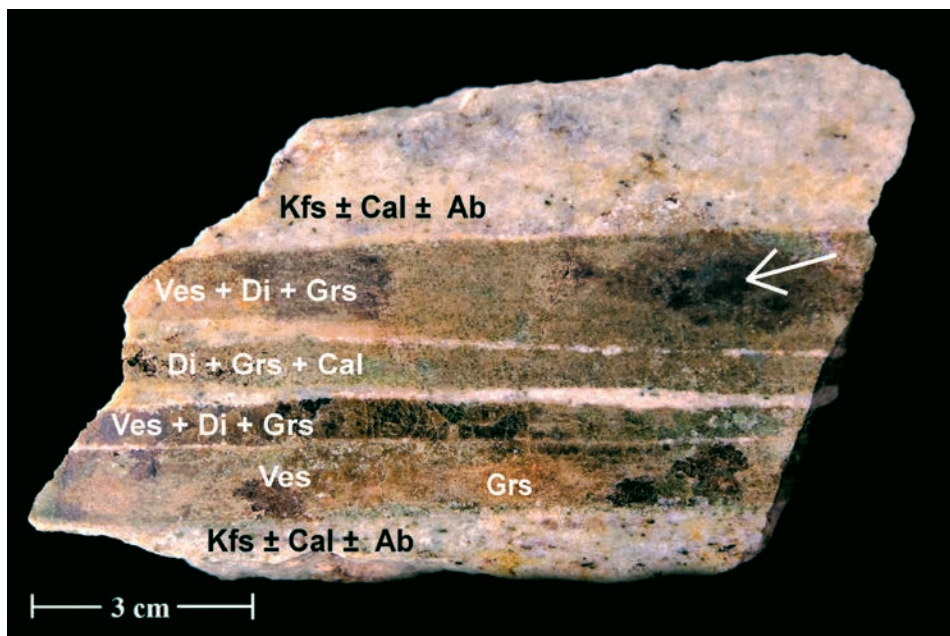
MINERALOGIE SKARNOIDU

Vesuvian pochází ze skarnoidu, který vznikl na kontaktu jemně až středně zrnitého, K-živcem bohatého *metatektu* světle modrošedé až narůžovělé barvy a jemnozrnitého erlánu šedivé až šedozeleňé barvy (Obr. 2). Na kontaktu hornin se vytvořila až několik cm mocná poloha skarnoidu s granátem, diopsidem a vesuvianem. Akcesoricky jsou zastoupeny apatit, titanit a zirkon.

Studovaný vzorek skarnoidu je tvořen převážně diopsidem a vesuvianem, místy plagioklasem (albitem) a granátem (grosulár-andradit), méně je zastoupen křemen, kalcit a v kontaktní zóně také mikroklin. Středně zrnitý K-živce je světlý a tvoří až 95 % objemu *metatektu*.

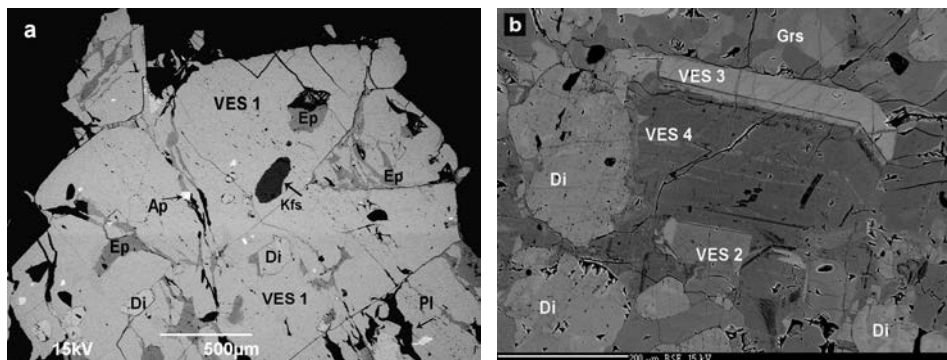
Vesuvian tvoří ploché, radiálně paprscité až hypoparalelně srostlé agregáty tmavohnědých krystalů, obvykle o tloušťce do 1 cm; agregáty jsou obvykle paralelní s hranicí *metatektu* nebo jeho prokřemenělých částí.

Vesuvian se objevuje ve dvou asociacích: vesuvian 1 (VES 1) je v asociaci Ves+Di+Ep (Obr. 3a), zatímco vesuvian 2 a 3 (VES 2, VES 3) v asociacích Ves+Grs a Ves+Di+Grs (Obr. 3b). V asociaci s granátem a diopsidem tvoří VES 2 a 3 zonální krystaly; VES 2 je částečně alterován a vzniklý minerál si stále částečně drží stechiometrii vesuvianu, a proto jej pracovní vyčleňujeme jako VES 4 (Obr. 3b). Akcesoricky jsou přítomny hypauto-morfně omezené krystaly titanitu (velmi vzácně malayaitu, který je samostatný a izolovaný od titanitu), apatitu a zirkonu.



Obr. 2. Minerální asociace skarnoidu s vesuvianem na lokalitě Moravské Bránice. Zkratky minerálů jsou podle KRETZE (1983). Bílá šipka v pravé části označuje pozici studovaného zrna vesuvianu z obr. 3.

Fig. 2. Mineral assemblages in vesuvianite skarnoid from the locality Moravské Bránice. Mineral abbreviations are after KRETZ (1983). White arrow on the right side shows position of the studied vesuvianite grain fig. 3.



Obr. 3. BSE snímky asociací vesuvianu ze skarnoidu z Moravských Bránic; **a)** minerální asociace VES 1; **b)** minerální asociace VES 2, VES 3 a VES 4. Zkratky minerálů: Ves - vesuvian, Di - diopsid, Grs - grosulár, Ap - apatit, Ep - epidot, Kfs - draselný živec, Pl - plagioklas.

Fig. 3. BSE images of vesuvianite associations; **a)** mineral association of the VES 1; **b)** mineral associations of VES 2, VES 3 and VES 4. Mineral abbreviations: Ves - vesuvianite, Di - diopside, Grs - grossular, Ap - apatite, Ep - epidote, Kfs - K-feldspar, Pl - plagioclase.

CHEMICKÉ SLOŽENÍ MINERÁLŮ

Ve skarnu z Moravských Bránic rozlišujeme 2 minerální asociace a vyčleňujeme celkem 4 texturně-chemické typy vesuvianu VES 1-4, které se od sebe liší obsahy majoritních a stopových prvků.

Vesuvian I (VES 1) vznikl primární krystalizací a tvoří tmavě hnědé hypoparalelně srostlé drobné sloupcovité hypautomorfní krystaly do tloušťky 3 mm narostlé na zřetelné hranici *metatektu*. Byl studován v práci MALÝ (2016). Koncentrace Na dosahuje 0,11–0,15 apfu. VES 1 obsahuje jako dominantní oktaedrický prvek Fe (1,58–1,74 apfu), má ale oproti pozdějším generacím výrazně vyšší obsahy Mg (0,89–0,93 apfu) a nižší množství Ti (0,77–0,83 apfu), (Obr. 8 a 9). Obsahy prvků reprezentativních analýz vesuvianu ukazují tabulky 1–3. Krystal VES 1 je zonální, kde analýzy vesuvianu 51–52 pochází z jádra krystalu a analýzy 53–54 z jeho okrajové části (Tab. 1). Okraje jsou mírně chudší Na (0,11–0,13 apfu), který narůstá směrem do jádra na 0,15 apfu. Okraj je také bohatší Ti, jehož koncentrace dosahuje 0,82–0,83 apfu, zatímco směrem do jádra obsah Ti mírně klesá na 0,77 apfu a zonalita se projevuje i koncentrací Mn, která je na okraji pod bodem detekce a roste směrem do jádra na 0,04 apfu (Tab. 1 a Obr. 9). VES 1 má mírný přebytek kationtů >13 v pozici Y, což pravděpodobně znamená, že malý obsah (Al, Fe) obsazuje tetraedrickou pozici T1 (GROAT *et al.* 1994). Obsah F se pohybuje v rozmezí 2,87–3,03 apfu.

Reprezentativní analýzy lehkých a stopových prvků jsou uvedeny v tabulce 4. Z lehkých prvků je VES 1 obohacený Li (97–146 ppm); obsahy beryllia (16–24 ppm) a bóru (8–16 ppm) jsou velmi nízké. Ze stopových prvků jsou vedle REE podstatně zastoupeny především Zn se 108–150 ppm a Bi (186–231 ppm), méně pak V (≤ 72 ppm), Co (≤ 16 ppm), Ni (≤ 25 ppm), As (≤ 19 ppm), Sn (≤ 31 ppm) a Sb (≤ 56 ppm). Koncentrace Y dosahují až 119 ppm, vyšší jsou pak u LREE (La až 215 ppm, Ce 370–471 ppm). Je pravděpodobné, že vesuvian VES 1, který byl studován MALÝM (2016), je rovněž bohatý i na další prvky vzácných zemin a Th, ty ale nebyly měřeny (Obr. 4, Tab. 4).

Zrna **VES 2-4** tvoří součást několik cm mocné polohy s granátem, diopsidem a vesuvianem. Akcesorijy jsou zastoupeny apatit, titanit a zirkon (Obr. 2 a 3b).

Vesuvian II (VES 2) vznikl primární krystalizací na kontaktu jemně až středně zrnitého, K-živcem bohatého *metatektu* světle modrošedé až narůžovělé barvy a jemnozrného erlanu šedivé až šedozelené barvy. Primární VES 2 je v rovnováze s diopsidem, tvoří velmi drobná, hypautomorfně omezená tmavá jádra krystalů, zatímco **vesuvian III (VES 3)** tvoří jejich okraje světlé na BSE snímcích (obr. 3b). Koncentrace Na dosahuje 0,14 apfu. VES 2 má poměrně vyšší obsahy Fe (1,84 apfu) oproti 1,68–1,75 apfu Fe ve VES 1. Obsah Mg dosahuje 0,64 apfu, obsah Ti je oproti Fe poloviční (0,82 apfu Ti), (Obr. 8 a 9). Koncentrace Mn jsou velmi nízké (0,01 apfu). Obsah F je dosahuje (2,34 apfu). Svým složením a poměry hlavních prvků Al/Fe/Mg a taktéž relativně vysokým obsahem Ti je podobný VES 1 (Tab. 1 a Tab. 2).

VES 2 je oproti VES 1 chudší Li (57 ppm) a mírně bohatší Be (44 ppm) a B (148 ppm). Má zvýšené obsahy Co (81 ppm), Ni (66 ppm), Zn (246 ppm) a As (86 ppm), a Ga (48 ppm). VES 2 obsahuje velmi málo V (34 ppm), Sn (10 ppm) a Sb (31 ppm). Koncentrace Y (96 ppm) je podobná jako u VES 1. Velmi vysoké koncentrace se objevují u vzácných zemin. Obsah La dosahuje až 674 ppm a Ce dokonce 2310 ppm. Relativně vysoká je koncentrace Pr (304 ppm), Nd (1174 ppm), Sm (153 ppm) a Gd (268 ppm). Vzorek VES 2 je velmi zajímavý vstupem vyššího obsahu Pb do struktury s koncentrací 330 ppm a taktéž 1300 ppm Th a 242 ppm U (Obr. 5).

Tab. 1. Reprezentativní analýzy primárního VES 1.

Tab. 1. Representative analyses of primary VES 1.

Číslo an. / An. # (hm.% / wt.%)	51 VES1	52 VES1	53 VES1	54 VES1	(apfu)	51 VES1	52 VES1	53 VES1	54 VES1
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	P ⁵⁺	0,000	0,000	0,000	0,000
SiO ₂	36,31	36,05	35,89	36,62	Si ⁴⁺	18,000	18,000	18,000	18,000
TiO ₂	2,07	2,15	2,18	2,25	∑Z	18,000	18,000	18,000	18,000
Al ₂ O ₃	16,92	16,70	16,65	16,54	Ti ⁴⁺	0,770	0,807	0,821	0,832
FeO	4,05	4,13	4,16	3,84	Al ³⁺	9,888	9,827	9,840	9,583
MgO	1,19	1,25	1,22	1,25	Fe ²⁺	1,677	1,726	1,745	1,577
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	Mg ²⁺	0,881	0,930	0,908	0,915
MnO	0,09	0,10	0,00	0,00	Zn ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000
CaO	35,35	35,68	35,25	35,33	Mn ²⁺	0,036	0,044	0,000	0,000
Na ₂ O	0,16	0,15	0,12	0,14	∑Y	13,253	13,333	13,313	12,906
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	Ca ²⁺	18,779	19,087	18,941	18,609
F	1,93	1,88	1,86	1,85	Na ⁺	0,150	0,147	0,114	0,131
H ₂ O	2,11	2,11	2,11	2,17	K ⁺	0,000	0,000	0,000	0,000
-(O=F)	-0,81	-0,79	-0,78	-0,78	∑X	18,929	19,234	19,055	18,740
Total	98,21	98,23	97,55	98,02	F ⁻	3,026	2,961	2,949	2,875
					O ²⁻	72,309	72,735	72,577	71,767
					OH ⁻	6,974	7,039	7,051	7,125

Pozn: Obsahy Sn, V, Cr, As, Sb, a Bi jsou pod detekčními limity.

Note: Contents of Sn, V, Cr, As, Sb, and Bi were below their detection limits.

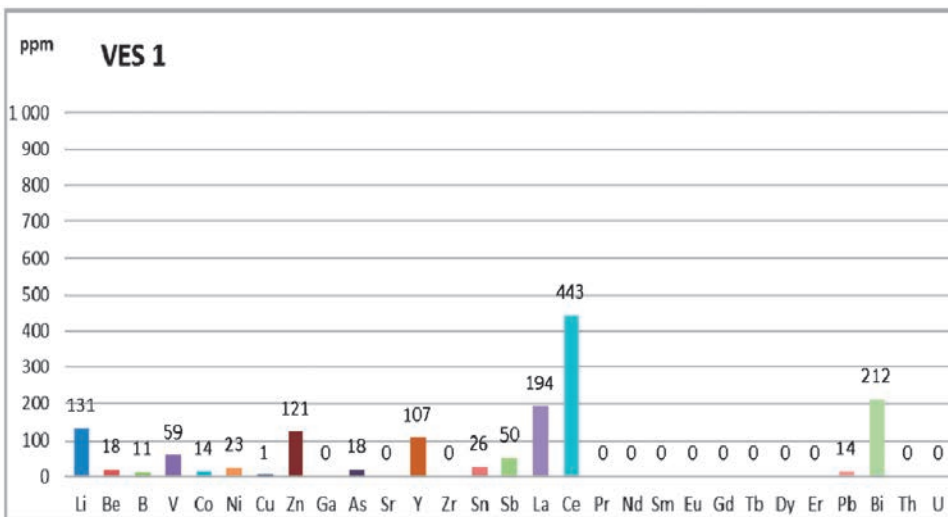
Tab. 2. Reprezentativní analýzy VES 2 a VES 3.

Tab. 2. Representative analyses of VES 2 and VES 3.

Číslo an. / An. # (hm.% / wt.%)	48 VES 2	45 VES 3	50 VES 3	(apfu)	48 VES 2	45 VES 3	50 VES 3
P ₂ O ₅	0,01	0,07	0,02	P ⁵⁺	0,005	0,028	0,008
SiO ₂	36,50	35,94	36,49	Si ⁴⁺	17,995	17,972	17,992
TiO ₂	2,21	2,44	2,62	∑Z	18,000	18,000	18,000
Al ₂ O ₃	16,41	15,95	15,95	Ti ⁴⁺	0,821	0,917	0,973
FeO	4,46	4,35	4,62	Al ³⁺	9,536	9,400	9,271
MgO	0,87	1,03	1,07	Fe ²⁺	1,838	1,817	1,906
ZnO	0,00	0,14	0,02	Mg ²⁺	0,638	0,767	0,786
MnO	0,01	0,12	0,07	Zn ²⁺	0,000	0,050	0,006
CaO	35,35	34,58	35,27	Mn ²⁺	0,006	0,049	0,029
Na ₂ O	0,15	0,13	0,16	∑Y	12,838	13,039	12,993
K ₂ O	0,02	0,00	0,01	Ca ²⁺	18,673	18,523	18,634
F	1,51	1,44	1,84	Na ⁺	0,144	0,124	0,148
H ₂ O	2,32	2,31	2,17	K ⁺	0,009	0,002	0,007
-(O=F)	-0,64	-0,61	-0,78	∑X	18,827	18,649	18,789
Total	99,19	98,19	99,71	F ⁻	2,359	2,280	2,875
				O ²⁻	72,000	72,135	71,890
				OH ⁻	7,641	7,720	7,125

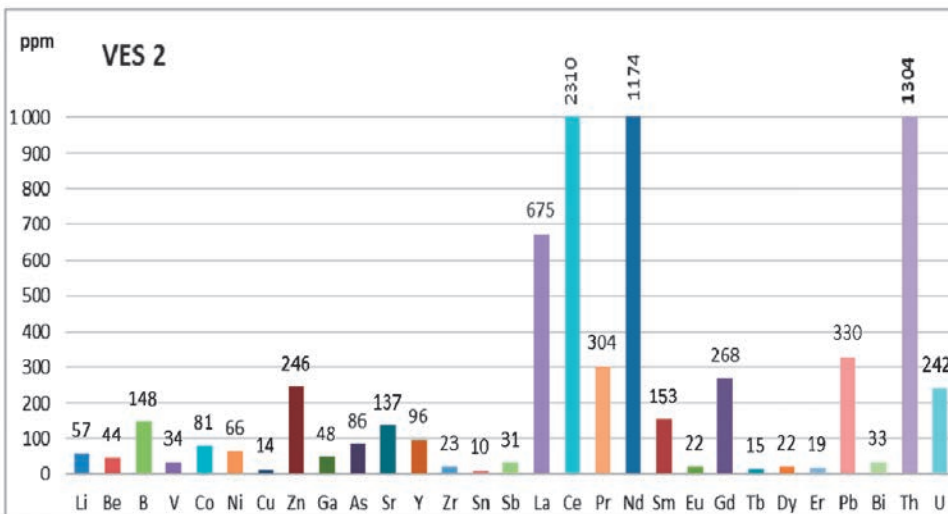
Pozn: Obsahy Sn, V, Cr, As, Sb, a Bi jsou pod detekčními limity.

Note: Contents of Sn, V, Cr, As, Sb, and Bi were below their detection limits.



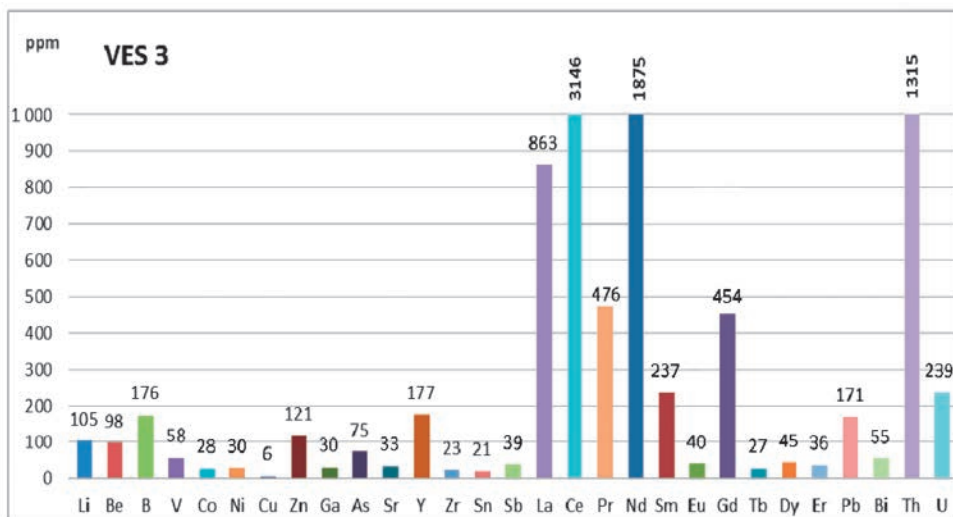
Obr. 4. Histogram s průměrnými koncentracemi stopových prvků VES 1. Další vzácné zeminy, Th a U nebyly měřeny. Průměr ze 4 analýz.

Fig. 4. Histogram with average concentrations of trace elements of VES 1. Other rare-earth elements, U and Th were not measured. Average from 4 analyses.



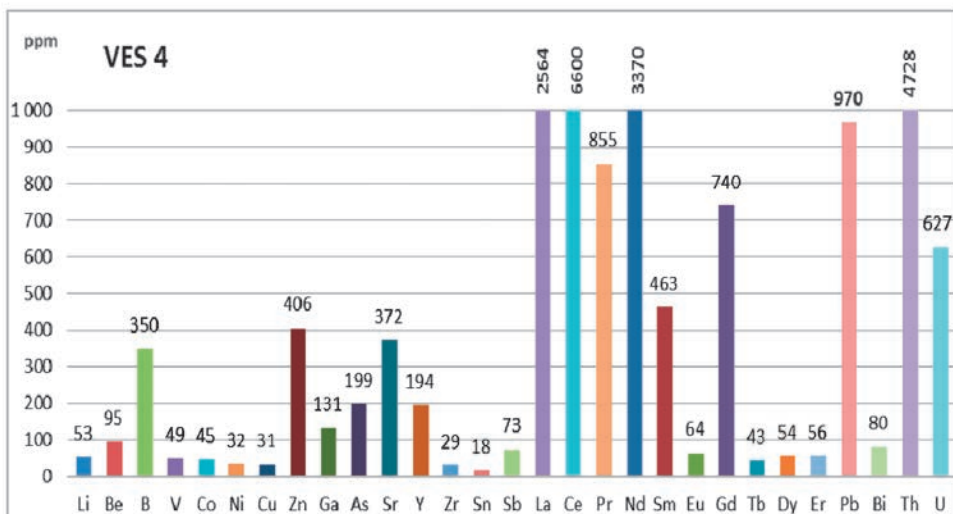
Obr. 5. Histogram s koncentracemi stopových prvků VES 2.

Fig. 5. Histogram with concentrations of trace elements in the VES 2.



Obr. 6. Histogram s koncentracemi stopových prvků VES 3.

Fig. 6. Histogram with concentrations of trace elements in the VES 3.



Obr. 7. Histogram s průměrnými koncentracemi stopových prvků VES 4.

Fig. 7. Histogram with average concentrations of trace elements in VES 4.

Vesuvian III (VES 3) narůstá na primárním VES 2 a na BSE snímcích tvoří jeho světlé okraje (obr. 3b). Koncentrace Na dosahuje 0,15 apfu. Složením hlavních prvků od VES 2 se příliš neliší. Obsah Fe je 1,82–1,91 apfu, Mg (0,79 apfu). Liší se snad jen mírným nárůstem Ti s obsahy 0,92–1,00 apfu (Obr 9). Koncentrace Mn je velmi nízká ($\leq 0,05$ apfu). Obsah fluoru se pohybuje v relativně širokém rozmezí 2,28–2,88 apfu (Tab. 2).

Výraznější rozdíly ve složení oproti VES 2 můžeme pozorovat spíše v koncentracích stopových prvků, kde je VES 3 dvakrát bohatší Li (≤ 111 ppm), Be (≤ 110 ppm) a taktéž mírně narůstá obsah B až na 192 ppm. Naopak násobně klesá Co (≤ 28 ppm), Ni (≤ 30 ppm), Zn (≤ 124 ppm) a Sr (≤ 39 ppm). Vanad dosahuje až 61 ppm a As až 80 ppm. VES 3 je chudý Sn (≤ 22 ppm), Sb (≤ 39 ppm) a Bi (≤ 56 ppm). Koncentrace Y narůstá na 113 ppm a La až na 878 ppm. Anomálně vysoká je zde koncentrace Ce (≤ 3153 ppm), Nd (≤ 1915) a Gd (≤ 466 ppm). Obsah Pb klesá téměř na polovinu (≤ 201 ppm). Vzorek je oproti VES 2 relativně chudý Bi (≤ 201 ppm), téměř stejné jsou koncentrace Th (≤ 1382 ppm) a U (≤ 242 ppm) (Obr. 6).

Vesuvian IV (VES 4) vznikl alterací VES 2 ve středové části hypautomorfního zonálního zrna vesuvianu a v BSE snímku tvoří tmavé jádro (Obr. 3). Tento minerál má přes nízkou sumu oxidů (t.j. vysokou hydrataci) a velmi rozdílné složení hlavních i stopových prvků oproti VES 2 stále podobnou stechiometrii, kterou má vesuvian, a proto jej zde označujeme jako VES 4 (další možné minerály s podobným složením, např. hydrogranát nebo epidot, neodpovídají stechiometrii ani obsahem vedlejších prvků, např. Na). Koncentrace Na dosahuje 0,15–0,40 apfu, obsah Fe se pohybuje ve středním rozmezí 1,57–1,77 apfu (Obr. 8). Má výrazně nižší obsah Mg (0,51–0,64 apfu) a vyniká především velmi vysokým obsahem Ti až 0,92–1,10 apfu (Obr. 9). Koncentrace Mn je vyšší (0,07–0,10 apfu). Vesuvian je výrazně ochuzený fluorem, kdy jeho obsahy kolísají v rozmezí 1,44–1,80 apfu (Tab. 3).

Tab. 3. Reprezentativní analýzy VES 4.

Tab. 3. Representative analyses of VES 4.

Číslo an. / An. # (hm.% / wt.%)	46 VES 4	47 VES 4	49 VES 4		46 VES 4	47 VES 4	49 VES 4
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	P ⁵⁺	0,000	0,000	0,000
SiO ₂	39,89	37,48	37,85	Si ⁴⁺	18,000	18,000	18,000
TiO ₂	3,23	2,93	2,58	ΣZ apfu	18,000	18,000	18,000
Al ₂ O ₃	13,13	15,10	15,72	Ti ⁴⁺	1,096	1,060	0,922
FeO	4,16	4,41	4,25	Al ³⁺	6,981	8,546	8,810
MgO	0,81	0,89	0,72	Fe ²⁺	1,569	1,771	1,690
ZnO	0,00	0,00	0,00	Mg ²⁺	0,546	0,639	0,513
MnO	0,27	0,16	0,17	Zn ²⁺	0,000	0,000	0,000
CaO	22,38	26,36	26,27	Mn ²⁺	0,104	0,066	0,068
Na ₂ O	0,46	0,16	0,24	ΣY apfu	10,295	12,081	12,004
K ₂ O	0,00	0,07	0,04	Ca ²⁺	10,822	13,562	13,385
F	1,01	1,16	1,20	Na ⁺	0,401	0,148	0,219
H ₂ O	2,84	2,57	2,58	K ⁺	0,000	0,040	0,024
-(O=F)	-0,42	-0,49	-0,50	ΣX apfu	11,222	13,750	13,627
Total	85,68	88,90	89,22	F ⁻	1,437	1,760	1,802
				O ²⁻	61,185	66,190	65,936
				OH ⁻	8,563	8,240	8,198

Pozn: Obsahy Sn, V, Cr, As, Sb, a Bi jsou pod detekčními limity.

Note: Contents of Sn, V, Cr, As, Sb, and Bi were below their detection limits.

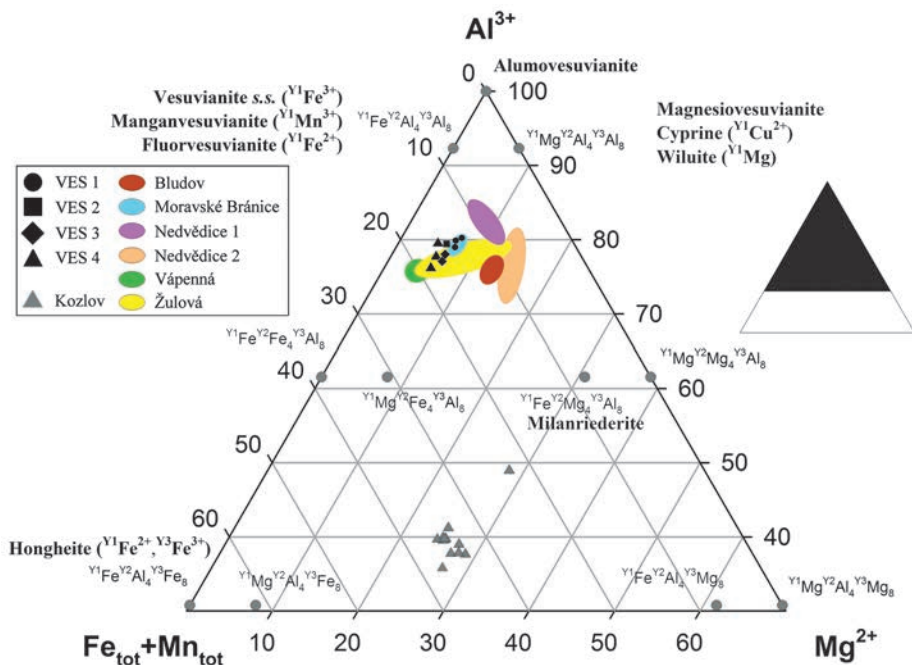
Tab. 4. Reprezentativní analýzy stopových prvků VES 1, VES 2, VES 3 a VES 4.

Tab. 4. Representative analyses of trace elements of VES 1, VES 2, VES 3 and VES 4.

ppm	51	52	53	54	48	45	50	46	47	49
	VES 1	VES 1	VES 1	VES 1	VES 2	VES 3	VES 3	VES 4	VES 4	VES 4
Li	157	97	139	143	57	98	111	50	57	53
Be	24	16	16	17	44	87	110	86	104	95
B	11	8	11	16	148	160	192	343	356	350
V	53	72	56	55	34	55	61	51	48	49
Co	16	13	15	13	81	28	27	45	45	45
Ni	24	20	25	21	66	30	29	31	32	32
Cu	2	1	2	1	14	7	6	26	37	31
Zn	124	108	150	123	246	124	117	372	440	406
Ga	-	-	-	-	48	32	29	135	127	131
As	18	15	19	19	86	80	70	185	212	199
Sr	-	-	-	-	137	39	27	381	363	372
Y	88	108	119	113	96	171	183	185	203	194
Zr	-	-	-	-	23	23	23	20	38	29
Sn	24	31	25	24	10	22	20	17	19	18
Sb	46	43	56	54	31	39	39	73	73	73
La	163	188	215	209	675	878	848	2630	2498	2564
Ce	370	464	468	471	2310	3153	3139	6507	6694	6600
Pr	-	-	-	-	304	480	471	826	884	855
Nd	-	-	-	-	1175	1836	1915	3371	3377	3374
Sm	-	-	-	-	153	236	238	481	445	463
Eu	-	-	-	-	22	38	42	64	63	64
Gd	-	-	-	-	268	466	442	744	737	740
Tb	-	-	-	-	15	29	26	45	40	43
Dy	-	-	-	-	22	46	44	55	54	54
Er	-	-	-	-	19	36	37	59	54	56
Pb	11	17	14	13	330	201	141	915	1024	970
Bi	208	186	231	221	33	55	56	76	84	80
Th	-	-	-	-	1304	1382	1248	4961	4495	4728
U	-	-	-	-	242	236	242	603	652	627

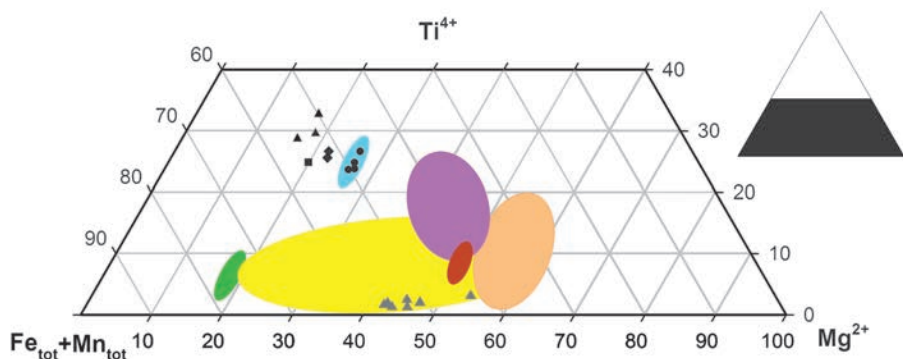
Pozn: Obsahy Sc, Nb, Ta, Cd, Tm, Yb, Lu, Ta a Ho byly pod detekčními limity.

Note: Contents of Sc, Nb, Ta, Cd, Tm, Yb, Lu, Ta and Ho were below their detection limits.



Obr. 8. Ternární diagram hlavních oktaedrických prvků Mg, Al a $Fe_{tot}+Mn_{tot}$ pro studované vesuviany ve srovnání a s publikovanými daty MALÉHO (2016; v grafu barevná pole) a vesuvianem z Kozlova (GROAT *et al.* 2013 a HRAZDIL *et al.* 2016; v grafu šedé trojúhelníky). Šedé body reprezentují složení ideálních koncových členů vesuvianu a popisky ukazují obsazení pozic Y v jeho struktuře.

Fig. 8. Ternary diagram for the main octahedral elements Mg, Al, $Fe_{tot}+Mn_{tot}$ for the studied vesuvianite, compared to the published data of MALÝ (2016; color fields in the diagram) and the vesuvianite from Kozlov (GROAT *et al.* 2013 and HRAZDIL *et al.* 2016; gray triangles in the diagram). Gray points represent the composition of the ideal end members of the minerals of vesuvianite group and labels show Y-site occupancy in their structures.



Obr. 9. Ternární diagram oktaedrických prvků Mg, Ti, $Fe_{tot}+Mn_{tot}$ ve vesuvianu z Moravských Bránic. Legenda a vysvětlivky jsou stejné jako v obr. 8.

Fig. 9. Ternary diagram for octahedral elements Mg, Ti, and $Fe_{tot}+Mn_{tot}$ in vesuvianite from Moravské Bránice. The legend is the same as in fig. 8.

Alteranční produkt (VES 4) se výrazně odlišuje v obsazích stopových prvků (Obr. 9). Koncentrace Li je nízká (≤ 57 ppm), taktéž Be (≤ 104 ppm). Pozoruhodný je vysoký obsah B (350 ppm). Vanad, kobalt, nikl a měď mají koncentrace pod 50 ppm. Zinek dosahuje až 440 ppm a Ga 135 ppm. Obsah As je relativně vysoký (≤ 212 ppm), podobně je tomu u Sr, které dosahuje až 381 ppm. Yttrium se pohybuje v rozmezí okolo 200 ppm. VES 4 je velmi chudý Zr a Sn, trochu vyšší koncentrace nalezneme u Sb (73 ppm) nebo Bi (≤ 84 ppm). Pozornost si zaslouží vysoké obsahy vzácných zemin. Lanthan obsahuje 2564 ppm a Ce téměř 7000 ppm. Velmi vysoké koncentrace jsou také u Pr (≤ 884 ppm), Nd (≤ 3377), Sm (≤ 481), Gd (≤ 744 ppm). Obsah Pb je zde velmi vysoký (≤ 1024 ppm). Za povšimnutí stojí vysoké koncentrace Th (≤ 4961 ppm) a U (≤ 652 ppm).

DISKUSE A ZÁVĚR

Mezi primárními vesuviany VES 1–3 byly zjištěny rozdíly v chemickém složení jak v hlavních, tak stopových prvcích. Primární vesuvian VES 1 se vyskytuje v minerální asociaci s diopsidem, apatitem, zatímco epidot a plagioklasy vyplňují pukliny. Naproti tomu VES 2 a 3 se objevují v asociaci s diopsidem, grosulárem, kalcitem a K-živcem.

Oba primární vesuviany mají podobně obsazené strukturní pozice X (Tab. 1–3), kam vstupují především Ca a Na. Srovnatelné obsahy Ca se pohybují v rozmezí 35,25–35,68 hm. % CaO (18,61–19,10 apfu Ca) a taktéž Na v rozmezí 0,11–0,15 apfu. U jedné analýzy VES 1 vychází suma mírně přes 19 kationtů, což bude pravděpodobně způsobeno mírným obsahem [4]Al. Oba primární VES 1 a 2 jsou si svým složením hlavních prvků velmi podobné a nikterak výjimečně se neodlišují ani ve srovnání s dalšími publikovanými daty (Obr. 9), oba můžeme řadit do skupiny s převahou Fe nad Mg (Obr. 8). Oba primární vesuviany jsou charakteristické relativně vysokými obsahy Ti (nejvyšší ve VES 3; 2,62 hm. % TiO₂; 0,97 apfu Ti). Vyšší obsahy Ti u VES 1 a VES 2 mohou být způsobeny nepřítomností granátu v rovnovážné asociaci (např. NOVÁK 1979); grosulár v asociaci s VES 2 je mladší než vesuvian. Vysoké obsahy Ti v raném stádiu systému dokazuje i výskyt automorfního titanitu. Primární VES 1 má vyšší obsah F (2,88–3,03 apfu) než VES 2 (2,36 apfu F).

Zásadní rozdíl mezi primárními VES 1 a VES 2 je hlavně v obsazích stopových prvků, kde VES 1 je 3 x bohatší Li a několikanásobně bohatší Bi, s obsahem až 231 ppm. VES 2 má naopak 2 x vyšší obsah Be a to až 44 ppm, je bohatší taktéž Co, Ni, Ga, As, Sr a REE. Rozdíly lze hledat v lokálních rozdílech složení fluidní fáze při primární krystalizaci systému. Nárůst lehkých prvků a REE z VES 2 do VES 3 patrně odráží frakcionaci fluidní fáze během krystalizace VES 2 a diopsidu. Při alteraci ve VES 4 došlo především ke snížení obsahu Ca (z cca. 35 hm. % na 22,38–26,36 hm. % CaO; 10,82–13,56 apfu Ca), Al (z cca. 9,5 apfu na 6,98–8,81 apfu Al), F (z cca. 2,34 apfu na 1,44–1,80 apfu) a Fe (z 1,84 apfu na 1,57–1,77 apfu Fe_{tot}). Vyšší je ve VES 4 naproti tomu obsah SiO₂ a B (Tab. 3 a 4), nižší součet sum oxidů (85,68–89,22) u VES 4 ukazuje na výraznou hydrataci. K alteraci, která je poměrně selektivní a prostorově omezená (Obr. 3b), došlo patrně při nízkých teplotách pronikem malého množství fluidu po intergranulárních. Relativní nárůst obsahů některých stopových prvků (např. Ga ze 48 na 135 ppm; As z 86 na 212 ppm; Sr z 137 na 381 ppm; Y 96 na 203; Sb 31 na 73 ppm; Bi 30 na 84 ppm, LREE cca. 2–5x) je dán především odnosem ostatních komponent.

Na vesuvianu z Moravských Bránic jsou zajímavé zvýšené obsahy REE, Th a U. Vysoké obsahy REE jsou známé z několika světových lokalit, např. v San Benito Country (Kalifornie, USA) byl popsán vesuvian výrazně bohatý Ce₂O₃ až s 8,69 hm. % (FITGERALD *et al.* 1987), vzorek ze Seward Mountains (Aljaška, USA) obsahuje až 1,5 hm. % ThO₂ (HIMMELBERG a MILLER 1980). Nejnověji byl popsán samostatný Ce-bohatý vesuvian manaevit (MOISEV *et al.* 2018).

Vzorky vesuvianu z Moravských Bránic jsou zajímavé obsahy hlavních i stopových prvků (především vysokými obsahy REE, Th a U). Vývoj a relativní stabilita vesuvianu

z Moravských Bránic ukazuje, podobně jako i na dalších lokalitách (MALÝ 2016), že vesuvian může být použitelným indikátorem vývoje magmaticko-hydrotermálních systémů, protože reaguje na post-magmatické procesy (rekrytalizace a alterace) změnou složení, a zároveň do struktury zabudovává velké spektrum prvků: lehké prvky (Li, Be, B), REE, kovy a polokovy (Zn, Bi, As, Sn, Sb).

LITERATURA

- ARMBRUSTER, T., GNOS, E., DIXON, R., GUTZMER, J., HEJNY, C., DÖBELIN, N., MEDENBACH, O., 2002: Mangan-vesuvianite and tweddillite, two new Mn^{3+} -silicate minerals from the Kalahari manganese fields, South Africa. - *Mineral. Mag.*, 66, 137-150.
- BRITVIN, S. N., ANTONOV, A. A., KRIVOVICHEV, S. V., ARMBRUSTER, T., BURNS, P. C., CHUKANOV, N. V., 2003: Fluorovesuvianite, $Ca_{19}(Al, Mg, Fe^{2+})_{13}[SiO_4]_{10}[Si_2O_7]_4O(F,OH)_9$, a new mineral species from Pitkäranta, Karelia, Russia: Description and crystal structure. - *Can. Mineral.* 41, 1371-1380.
- BURIÁNEK, D., 2010: Metamorfované horniny západní části brněnského batolitu. - *Acta Mus. Morav., Sci. Geol.*, 95, 151-170.
- FITGERALD, S., LEAVENS, P. B., RHEINGOLD, A. L., NELEN, J. A., 1987: Crystal structure of REE-bearing vesuvianite from San Benito Country, California. - *Am. Mineral.*, 72, 625-628.
- GNOS E., ARMBRUSTER T., 2006: Relationship among metamorphic grade, vesuvianite "rod polytypism" and vesuvianite composition. - *Am. Mineral.*, 91, 862-870.
- GROAT, L. A., HAWTHORNE, F. C., ERCIT, T. S., 1992: The chemistry of vesuvianite. - *Can. Mineral.*, 30, 19-48.
- GROAT, L. A., HAWTHORNE, F. C., ERCIT, T. S., 1994: Excess Y-group cations in the crystal structure of vesuvianite. - *Can. Mineral.*, 32, 497-504.
- GROAT, L. A., HAWTHORNE, F. C., ERCIT T. S., GRICE, J. D., 1998: Wiluite, $Ca_{19}(Al,Mg,Fe,Ti)_{13}(B,Al,M)_{5}Si_{18}O_{68}(O,OH)_{10}$, a new mineral species isostructural with vesuvianite, from the Sakha Republic, Russian Federation. - *Can. Mineral.*, 36, 1301-1304.
- GROAT, L. A., EVANS, R. J., CEMPÍREK, J., MCCAMMON, C., HOUZAR, S., 2013: Fe-rich and As-bearing vesuvianite and wiluite from Kozlov, Czech Republic. - *Am. Mineral.*, 98, 1330-1337.
- HANŽL, P., MELICHAR, R., 1997: The Brno Massif: A section through the active continental margin or a composed terrane. - *Krystalinikum*, 23, 33-58.
- HIMMELBERG, G. R., MILLER, T. P., 1980: Uranium- and thorium- rich vesuvianite from the Seward Peninsula, Alaska. - *Am. Mineral.* 65, 1020-1025.
- HOUZAR, S., NOVÁK, M., ŠREIN, V., 1997: Minerální asociace vesuvianu z karbonátových a vápenato-silikátových hornin na Moravě a ve Slezsku. - *Čas. Morav. Muz, Vědy geol.*, 87, 21-32.
- HRAZDIL, V., HOUZAR, S., ŠKODA, R., 2009: Zpráva o výzkumu Sn-bohaté minerální asociace s As-vesuvianem v nedvědicím mramoru u Kozlova na západní Moravě, svratecké krystalinikum. - *Geol. výzk. Mor. Slez.*, 16, 109-113.
- CHÁB, J., BREITER, K., FATKA, O., HLADIL, J., 2008: Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. - Vydavatelství České geologické služby, 284 s.
- CHUKANOV, N.V., PANIKOROVSKII, T. L., GONCHAROV, A. G., PEKOV, I. V., BELAKOVSKIY, D. I., BRITVIN, S. N., MÖCKEL, S., VOZCHIKOVA, S. A., 2018: Milanriederite, IMA 2018-041. CNMNC Newsletter No. 45, October 2018. - *Mineral. Mag.*, 82, 1225-1232.
- KALVODA, J., BÁBEK, O., FATKA, O., LEICHMANN, J., MELICHAR, R., NEHYBA, S., ŠPAČEK, P., 2008: Brunovistulian terrane (Bohemian Massif, Central Europe) from late Proterozoic to late Paleozoic: a review. - *Inter. J. Earth Sci.*, 97(3), 497-518.
- KRETZ, R., 1983: Symbols for rock-forming minerals. - *Am. Mineral.*, 68, 277-279.
- LEICHMANN, J., HÖCK, V., 2008: The Brno Batholith: an insight into the magmatic and metamorphic evolution of the Cadomian Brunovistulian Unit, eastern margin of the Bohemian Massif. - *J. Geosci.*, 53, 281-305.
- LEICHMANN, J., NOVÁK, M., SULOVSKÝ, P., 1999: Peraluminous whole-rock chemistry versus peralkaline mineralogy of highly fractionated, garnet-bearing granites from the Brno Batholith. - *Berichte der Deutschen Min. Ges.*, 1, 144.
- MALÝ, J., 2016: Složení minerálů ze skupiny vesuvianu z vybraných lokalit kontaktních skarnů Českého masivu. - MS Diplomová práce, 103 pp. MU Brno.
- MÍŠAŘ, Z., DUDEK, A., HAVLENA, V., WEISS, J., 1983: Geologie ČSSR I. Český masív. SPN. Praha.
- MOISEEV, M. M., PANIKOROVSKII, T. L., AKSENOV, S. M., MAZUR, A. S., MIKHAILOVA, J. A., YAKOVENCHUK, V. N., BAZAI, A. V., IVANYUK, G. Y., AGAKHANOV, A. A., SHILOVSKIKH, V. V., PEKOV, I. V., KASATKIN, A. V., RUSAKOV,

- V. S., YAPASKURT, V. O., KARPENKO, V. Y., KRIVOVICHEV, S. V., 2018: Manaevite-(Ce), IMA 2018-046. CNMNC Newsletter No. 45, October 2018. - *Mineral. Mag.*, 82(5), 1225-1232.
- NOVÁK, M., 1977: Studium kontaktních minerálů z Popůvek a Moravských Bránic v brněnském masívu. - *MS Diplomová práce*, UJEP Brno, katedra mineralogie a petrografie, 1-64.
- NOVÁK, M., 1979: Studium vápenatých skarnů v erlánových tělesech od Moravských Bránic. - *MS Rigorózní práce*, UJEP Brno, katedra mineralogie a petrografie, 1-45.
- PANIKOROVSKII, T. L., SHILOVSKIKH, V. V., AVDONTSEVA, E. Y., ZOLOTAREV, A. A., PEKOV, I. V., BRITVIN, S. N., HÁLENIUS, U. KRIVOVICHEV, S. V., 2017a: Cyprine, $\text{Ca}_{19}\text{Cu}^{2+}(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Mn})_{12}\text{Si}_{18}\text{O}_{69}(\text{OH})_9$, a new vesuvianite-group mineral from the Wessels mine, South Africa. - *Eur. J. Mineral.*, 29, 295-306.
- PANIKOROVSKII, T. L., CHUKANOV, N. V., AKSENOV, S. M., MAZUR, A. S., AVDONTSEVA, E. Y., SHILOVSKIKH, V. V., KRIVOVICHEV, S. V., 2017b: Alumovesuvianite, $\text{Ca}_{19}\text{Al}(\text{Al}, \text{Mg})_{12}\text{Si}_{18}\text{O}_{69}(\text{OH})_9$, a new vesuvianite-group member from the Jeffrey mine, asbestos, Estrie region, Québec, Canada. - *Mineral. Petrol.*, 111, 833-842.
- PANIKOROVSKII, T. L., SHILOVSKIKH, V. V., AVDONTSEVA, E. Y., ZOLOTAREV, A. A., KARPENKO, V. Y., MAZUR, A. S., YAKOVENCHUK, V. N., BAZAI, A. V., KRIVOVICHEV, S. V., PEKOV, I. V., 2017c: Magnesiovesuvianite, $\text{Ca}_{19}\text{Mg}(\text{Al}, \text{Mg})_{12}\text{Si}_{18}\text{O}_{69}(\text{OH})_9$, a new vesuvianite-group mineral. - *J. Geosci.*, 62, 25-36.
- STANĚK J., NOVÁK M., 1978: Vesuvian z erlánu od Moravských Bránic. - *Scripta Fac. Sci. Natur. UJEP Brunensis*, Geol., 8, 19-26.
- SVOJTKA, M., BREITER, K., ĪURI, J., ACKERMAN, L., VESELOVSKÝ, F. E., ŠMERDA, J., 2017: Geochemie a zirkonové U-Pb stáří derflického granodioritu z dyjského masívu. - *Zpr. geol. výzk.*, 50, 17-24.
- XU, J., LI, G., FAN, G., GE, X., ZHU, X., SHEN, G. H., 2017: Hongheite, IMA 2017-027. CNMNC Newsletter No. 39, October 2017. - *Mineral. Mag.*, 81, 1279-1286.

INTERNETOVÉ ZDROJE

Česká geologická služba. Geologické a geovědní mapy 1:50 000, (dostupné online). Praha. Česká geologická služba: © 2014. Poslední změna 2.4.2019. Dostupné z: (http://mapy.geology.cz/geocr_50/)