ISSN 1211-8796

Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
CV (2020): 1, 73–96, 2020

CHEMICKÁ VARIABILITA VESUVIANU VE SKARNECH Z VÁPENNÉ (MORAVOSILEZIKUM)

VESUVIANITE CHEMICAL VARIABILITY IN SKARNS FROM VÁPENNÁ (MORAVOSILESIAN ZONE)

JAKUB MALÝ

Abstract

Malý, J., 2020: Chemická variabilita vesuvianu ve skarnech z Vápenné (Moravosilezikum). – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 105, 1, 73–96 (with English summary).

Vesuvianite chemical variability in skarns from Vápenná (Moravosilesian Zone)

Vesuvianite is a characteristic and widespread mineral of skarnized marbles, skarnoids and skarns in the area of the Vycpálek quarry near Vápenná, Czech Republic. Mineralogical research including study of its chemical composition demonstrated existence of eight paragenetic types of vesuvianite (VES 1A–4A and alterations VES 1b–3b, 3c with different chemical composition) at two occurrences (SKARN 1 and SKARN 2). The primary vesuvianite VES 1A and its alteration VES1b from SKARN 1 are found in the mineral assemblage (I) Cal + Ves + Grs + Di + Wo ± Ep, with accessory pyrite, titanite and zircon. In contrast, primary VES 2A and its VES 2b alterations appear in the mineral assemblage (II) Hd + Pl + Qtz + Ves + Grs ± Ep. Primary VES 3A, its alteration VES 3b and VES 3c belong to the assemblage (III) with Grs + Hd + Ves ± Ep and primary VES 4A belong to the assemblage (IV) Ves + Grs + Hd ± Ep. Detailed study of chemical composition of the vesuvianite showed considerable chemical variability between the various types of primary and altered vesuvianites; there is a strong predominance of Fe-rich types over Mg-rich vesuvianite. In addition to the main elements, locally elevated contents of Be, Bi, Th, Y, Zr and HREE were found, whereas the content of boron is low. Primary vesuvianite VES1A differs from VES 1b alteration by higher Ti content (2.49–3.81 wt. % vs 0.33–0.56 wt % TiO_2) and lower content of F (2.23–2.32 % in VES1b), La, Ce, U and Th; the VES1b is the only type that predominance of Mg (1.347–1.694 *apfu*) over Fe (1.074–1.159 *apfu)*. Vesuvianites VES 2A and VES2b show slight differences only. The alternation VES2B shows higher contents of Zn, Mn, and Sn, and lower F (1.29–1.98 wt. %), As, Sr and Sb. Compared to the primary vesuvianite VES3a, the VES 3b and VES 3c alterations are characterized by a significantly lower Ti contents (compared to a maximum of 1.46 wt. % in VES3A, the lowest content is 0.10 wt. % TiO_2), lower Li (decrease from a maximum of 198 to 4 ppm) and Be (from 1140 to 83 ppm), and increased Zr (from 2–5 to 39 ppm) and Sn (from 28 to 141 ppm). Uranium and thorium are elevated in primary vesuvianites, with Th (801–1904) > U (91–405 ppm), its alterations are depleted in both elements and show low Th/U. Similarly, variable Bi (59–548 ppm) and Zn (376–588 ppm) contents are higher in the primary vesuvianites. The chemical zonation in individual grains and crystals demonstrates changes in the composition of the fluid phase (activity and fugacity of individual components vs. influence of protolith chemistry) over a very short distance (tenths of mm); it is a characteristic feature of vesuvianites of calcareous contact skarns.

Key words: Vesuvianite, chemical composition, EMPA, LA-ICP-MS, REE, calcic skarn, calc-silicate rock, marble, Žulová Pluton, Bohemian Massif.

Jakub Malý, Department of Geological Sciences, Masaryk University, Brno, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic; e-mail: jakub.maly@mail.muni.cz

1. ÚVOD

Vesuvian představuje charakteristický minerál vápenatých paragenezí, zejména vápenatých i hořečnatých skarnů, mramorů, rodingitů a vzácně i alkalických hornin. Vzniká za značně variabilních PTX podmínek, převážně v podmínkách vysokého obsahu H_2O a F ve fluidní fázi (např. Šabynin 1968, Arem 1973, Hochella *et al.* 1982, Meinert 1992, Groat *et al.* 1992, Deer *et al.* 1997, Gnos a Armbruster 2006).

Skupina minerálů vesuvianu má velmi komplexní stavbu a ve struktuře kombinuje tetragonální neso-soro silikátové minerály. S rozvojem moderních analytických metod byly v poslední době zjištěny vedle vesuvianu s. s. nové detaily krystalochemie a v průběhu let 1998–2019 Mezinárodní mineralogické asociace (IMA) schválila celkem 9 samostatných minerálů: 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) a nejnověji železem bohatý milanriederit (Chukanov *et al.* 2019) a cerem bohatý manaevit (Moiseev *et al.* 2018).

Nejaktuálnější obecný strukturně-krystalochemický vzorec s koordinačními čísly pozic (ve vzorci vlevo nahoře) minerálů skupiny vesuvianu lze vyjádřit velmi detailně podle Groata *et al.* (1992, 1994); Armbrustera *et al.* (2002), Gnose a Armbrustera (2006), Panikoriovského *et al.* (2017 a, b, c) a Chukanova *et al.* (2019) jako:

$$\mathbf{(^{9}X3)_8(^{8}X1)(^{8}X4)_2(^{7}X2)_8(^{6}Y2)_4(^{6}Y3)_8(^{5}Y1)_1(^{4}T1)_{0-4}{}^{Z1}(SiO_4)_{10}{}^{Z2}(Si_2O_7)_4(^{3}T2)_{0-1}}$$
$$\mathbf{{}^{W}O_{0-2}{}^{W}(O10)_2{}^{W}(O11)_8},$$

v němž jsou **pozice X1-X4** obsazeny převažujícím $\mathbf{Ca^{2+}}$, minoritně pak Na, K, Fe^{2+} a **REE**, Bi^{3+}, Sb^{3+}, Th^{4+}, U^{4+}, H_2O. **Pozice Y1** má čtvercově – pyramidální koordinaci a vstupují sem $\mathbf{Fe^{3+}}$, $\mathbf{Fe^{2+}}$, $\mathbf{Mg^{2+}}$, $\mathbf{Al^{3+}}$, $\mathbf{Mn^{3+}}$, $\mathbf{Cu^{2+}}$, Mn^{2+}, Cr^{3+}, do **pozice Y2** s oktaedrickou koordinací $\mathbf{Al^{3+}}$, (podružně Mg^{2+}, Fe, Mn, Cr^{3+} a/nebo Ti^{4+}) a do **pozice Y3** s oktaedrickou koordinací $\mathbf{Al^{3+}}$, $\mathbf{Mg^{2+}}$, $\mathbf{Fe^{3+}}$, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+} a Ti^{4+}. **Pozice T** je planárně trigonální a tetragonální: T1 = vakance, **B**, Al; T2 = vakance, **B**, S; zatímco **pozice Z**, respektive $\mathbf{Z1}O_4$ ($SiO_4 \leftrightarrow H_4O_4$) a $\mathbf{Z2}O_7$, jsou orto a diorto-silikátové skupiny; pozice **W** se dělí na O_{0-2} dále O10 = **OH**, **O**, **F** Cl a O11 = **OH, O, F** (tučně jsou zvýrazněné prvky, které jsou v daných pozicích dominantní). Predominance Al v pozici Y1 je typická pro uspořádané minerály skupiny vesuvianu chudé železem (prostorová grupa *P4/n* a *P4nc*), zatímco predominance Mg v pozici Y1 je obvyklá u modifikací s prostorovou grupou P4/nnc.

Ke „klasickým výskytům“ vesuvianu ve střední Evropě náleží kontakty mramorů, uzavíraných v granitoidních horninách v plášti žulovského plutonu ve Slezsku (např. Rybák 1972, Kruťa 1973, Houzar 1996). Vesuvian je tam součástí vápenatosilikátových rohovců a skarnoidů, tak i bimetasomatických a infiltračních žilných skarnů včetně typických zonálních skarnů na přímém styku mramoru a granitu. Skarny jsou tvořeny převážně minerální asociací grossular + vesuvian + epidot + diopsid-hedenbergit, dále se vyskytuje kalcit, křemen, wollastonit, klinozoisit a akcesorický apatit, scheelit a titanit. Vesuvian převážně tmavohnědé až hnědozelené barvy náleží více generacím, tvoří zrnité či stébelnaté agregáty a často tvoří krystaly v dutinách (Kruťa 1973, Houzar *et al.* 1997, Losos a Brož 2002, Kraczka a Żabiński 2003, Večeřa a Skácelová 2006, Vylíčil 2013). Geneze zmíněných skarnů a skarnoidů zde nebyla dosud v detailu studována a nejsou známy bližší PTX podmínky jejich vzniku. Chemického složení vesuvianu v okolí Žulové a Vápenné se týkají práce Houzara *et al.* 1997, Kraczky a Żabińského 2003, Vylíčila 2013, Malého 2016 a Malého *et al.* 2019).

Detailní výzkum chemického složení vesuvianu několika parageneticky typů dvou odlišných skarnových výskytů v rámci lokality Vycpálkův lom u Vápenné (dříve Zighartice, Slezsko) přinesl nové výsledky, prezentované v této práci.

2. METODIKA

Chemické složení vesuvianu bylo studováno pomoci elektronového mikroanalyzátoru CAMECA SX 100 na společném pracovišti Ústavu geologických věd, PřF MU a ČGS v Brně za podmínek: (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), $ScVO_4$ (V), gahnit (Zn), topaz (F), $SrSO_4$ (S), lammerit (As). Z reprezentativních analýz byly vyřazeny prvky pod detekčními limity P, V, Sn, As, Cr, Sb a Bi. Přepočty chemických analýz vesuvianu byly normalizovány na 18 kationtů Si. Označení *apfu* označuje počet atomů v základní buňce (*atoms per formula unit*).

Stopové a lehké prvky (Li, Be a B) byly analyzovány metodou laserově ablační hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (LA-ICP-MS) na oddělení analytické chemie Ústavu chemie PřF MU (analytici Michaela Galiová Vašinová a Markéta Holá). Bodové měření vzorků vesuvianu proběhlo na přístroji Analyte G2 (Photon machines Inc., Redmond, WA, USA), vybaveným ArF* excimerovým laserem, který emituje záření o vlnové délce 193 nm s délkou pulzu ~4ns. 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 (5 J cm^{2-}) a průměru laserového paprsku 85 µm. Čas ablace a měření pozadí trvalo 90 s. Signál vybraných izotopů ($^{6}Li^{+}$, $^{7}Li^{+}$, $^{9}Be^{+}$, $^{10}B^{+}$, $^{11}B^{+}$, $^{24}Mg^{+}$, $^{25}Mg^{+}$, $^{26}Mg^{+}$, $^{27}Al^{+}$, $^{28}Si^{+}$, $^{29}Si^{+}$, $^{43}Ca^{+}$, $^{44}Ca^{+}$, $^{45}Sc^{+}$, $^{51}V^{+}$, $^{53}Cr^{+}$, $^{59}Co^{+}$, $^{60}Ni^{+}$, $^{61}Ni^{+}$, $^{63}Cu^{+}$, $^{65}Cu^{+}$, $^{66}Zn^{+}$, $^{68}Zn^{+}$, $^{75}As^{+}$, $^{89}Y^{+}$, $^{117}Sn^{+}$, $^{118}Sn^{+}$, $^{119}Sn^{+}$, $^{121}Sb^{+}$, $^{123}Sb^{+}$, $^{139}Ce^{+}$, $^{140}Ce^{+}$, $^{206}Pb^{+}$, $^{208}Pb^{+}$, $^{209}Bi^{+}$) byl zaznamenáván pomocí ICP-MS spektrometru s dvojí fokusací Element 2 (Thermo Scientific^{TM}) v nízkém rozlišení (m/m>300). Ke kalibraci byl použit NIST 614, NIST 612 a NIST 610. Analýzy byly překvantifikovány a normalizovány na ^{28}Si. Obsahy stopových prvků Sc, Nb, Ta, Cd, Tm, Yb, Lu, Ta a Ho se nachází pod detekčními limity. Zkratky minerálů jsou uváděny podle KRETZE (1983): Ves – vesuvian, Cal – kalcit, Di – diopsid, Grs – grosulár, Ap – apatit, Ep – epidot, Kfs – draselný živec, Pl – plagioklas, Ttn – titanit, Qtz – křemen.

3. GEOLOGICKÁ SITUACE

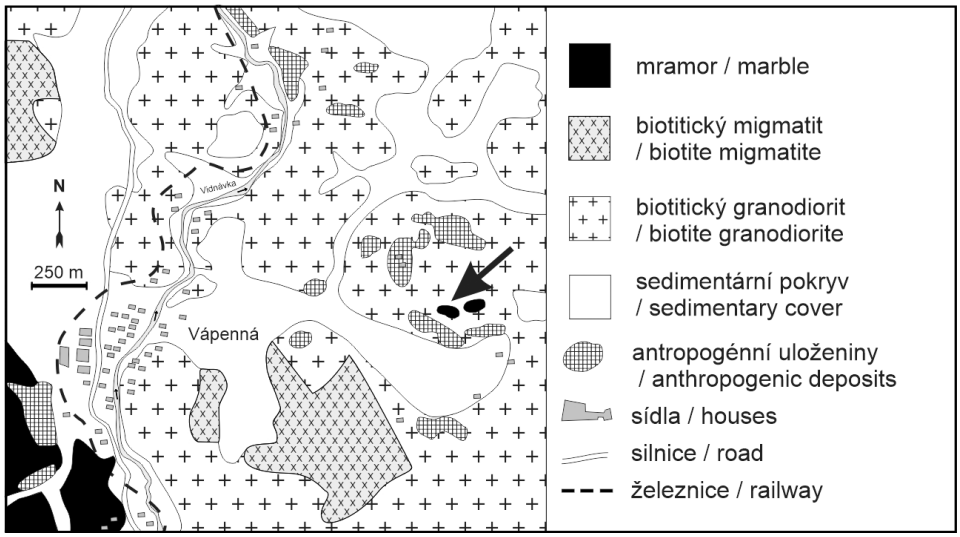
Studované horniny s vesuvianem jsou součástí silesika, resp. moravosilesika, které je v prostoru rozsáhlé intruze žulovského plutonu tvořeno keprnickou a desenskou jednotkou. **Keprnická** jednotka je reprezentována velkým tělesem biotitické ortoruly neoproterozoického stáří, které vystupuje v tektonických šupinách obalových sekvencí jednotky. Její vnitřní obal reprezentuje drobně zrnitá leukokratní rula, méně je zastoupena silimanit-biotitická pararula. Vnější obal je tvořen nejspíše paleozoickými biotitickými a biotit-kalcitickými fylity s mramory (**skupina Branné**), které byly v okolí Žulové a Vápenné pohlceny magmatem žulovského plutonu. Východní část pláště a řada velkých ker uzavřených přímo v plutonu je tvořena obalovou sekvencí **desenské jednotky** (CHLUPÁČ 1989, CHÁB a ŽÁČEK 1994, AICHLER *et al.* 2000, ŽÁČEK *et al.* 2005).

Silezikum bylo silně varisky deformováno a metamorfováno (SCHULMANN a GAYER 2000). Během posledních fází deformací v podmínkách ztluštění kůry a natavení její spodní částí, vznikly granitoidní hmoty **žulovského plutonu** a na jejich intruzi je vázán vznik kontaktních skarnů (ŽÁČEK *et al.* 2005, CHÁB *et al.* 2008). Hlavní horninou plutonu je biotitický granit až granodiorit šedomodré barvy, místy nevýrazně porfyrický, provázený enklávami křemenného amfibol-biotitického dioritu s titanitem. Granodiority, jsou geoche-

micky klasifikovány jako post-kolizní frakcionovaný I-typ granitu, ilmenit-allanitovou sérii (Jedlička 1997). V souhlasu s tímto názorem jsou i práce Zachovalové *et al.* (2002) nebo Žáček *et al.* (2005), Losos a Šimčíková (2016), které dokládají minimální míru usměrnění, dokonalou odlučnost granitoidů a absenci pásem mylonitizace. Největší enklávy (o rozloze i přes 1 km^2) migmatitů i **mramorů** jsou v 1–1,5 km širokém pásmu při okrajovém sudetském zlomu, dál v plutonu u Starého Podhradí, je rovněž několik velkých enkláv krystalického vápence (Žáček 2005, Vávra a Štelcl 2014).

4. POZICE STUDOVANÝCH SKARNŮ S VESUVIANEM

Vesuviany pochází z Vycpálkova lomu, který leží v jižním svahu kopce Haspelberg (kóta 500 m n. m.), asi 1600 m sv. od Vápenné u samoty Zelená hora, byl otevřen v granodioritech žulovského plutonu s uzavřeninami mramorů a vápenatosilikátových hornin (obr. 1). Vesuvian se vyskytuje ve dvou mineralogicky a texturně odlišných typech Ca-skarnů, které zároveň reprezentují v lomu dvě odlišná místa (v textu jsou označeny jako SKARN 1 a SKARN 2).



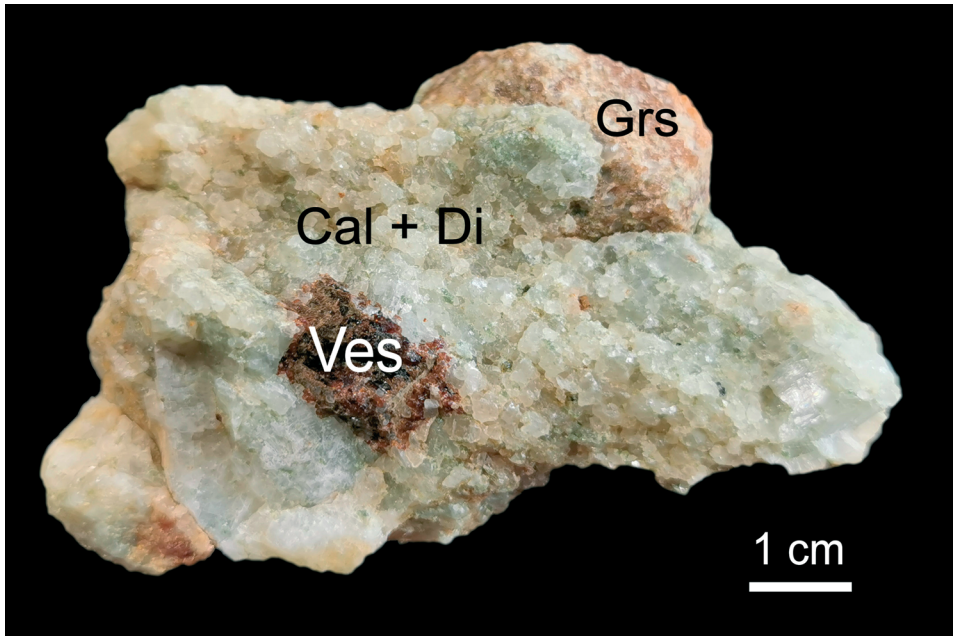
Obr. 1. Zjednodušená geologická mapa kontaktního Ca-skarnu z Vycpálkova lomu, Vápenná. Lokalita je označena černou šipkou. Překresleno podle mapy České geologické služby 1:25 000 (dostupné online: www.geology.cz/extranet/mapy).

Fig. 1. Simplified geological map of contact Ca-skarn from Vycpálek quarry, Vápenná. Locality is marked by black arrow. Redrawn after map of the Czech Geological Survey 1:25 000 (available on-line: www.geology.cz/extranet/mapy).

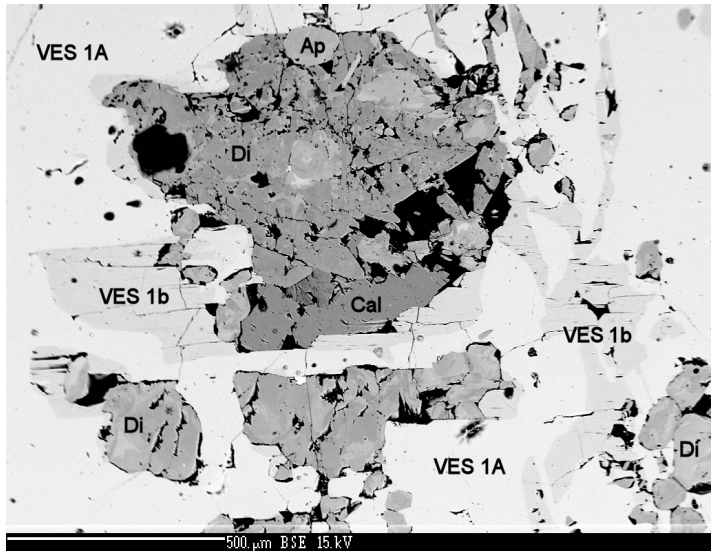
Výskyt **SKARN 1** se nachází na horní plošině v severní části lomu v místech známého výskytu tzv. „plovoucích granátů“. Dominuje zde skarnizovaný mramor tvořený převážně šedobílým středně až hrubě zrnitým kalcitem s velkými krystaly granátu – grossularu, se vzácnějším vesuvianem, akcesorický je pyrit, titanit a zirkon (obr. 2–4). Grossular (*hessonit*) se vyskytuje buď v hrubě zrnitých agregátech, nebo tvoří částečně či zcela omezené zonální krystaly s převládajícím tvarem rombického dodekaedru, někdy obrůstané až zatlačované wollastonitem. Jejich velikost se pohybuje v průměru cca 5 cm. Ojediněle byly nalezeny až 10 cm velké krystaly, které se často navzájem prorůstají. Mladší generace krystalovaného i žilného grossularu červeno-oranžové barvy vyplňuje pukliny orientované příčně k usměrnění mramoru. Wollastonit tvoří žíly o mocnosti až 5 cm, které jsou lemovány agregáty hypautomorfních zrn šedozeleného pyroxenu (diopsid-hedenbergit) velikosti zrn do 1 mm. Z této lokality pocházejí až 5 cm dlouhé sloupcovité krystaly epidotu jasně zelené barvy. V případě silikátů se jedná o distální projevy infiltračních metasomatických procesů, vzdálené až několik metrů od přímého kontaktu mramoru s granitem.

Obr. 2. Minerální asociace vesuvianu s „plovoucími“ grossularem ze SKARNU 1 na kontaktu granitu s čočkami mramorů v horní části Vycpálkova lomu, Vápenná (foto Jakub Malý, 10. 9. 2019).

Fig. 2. Mineral assemblages of vesuvianite with “flowing grossular” from SKARN 1 on the contact of granite with lens of marble above the Vycpálek quarry, Vápenná (photo Jakub Malý, 10. 9. 2019).



Obr. 3. Hnědý sloupcovitý primárního vesuvian (VES 1A) ve skarnizovaném mramoru (SKARN 1), Vycpálkův lom, Vápenná.
Fig. 3. Brown primary column vesuvianite (VES 1A) from skarnized marble (SKARN 1), Vycpálek quarry, Vápenná.

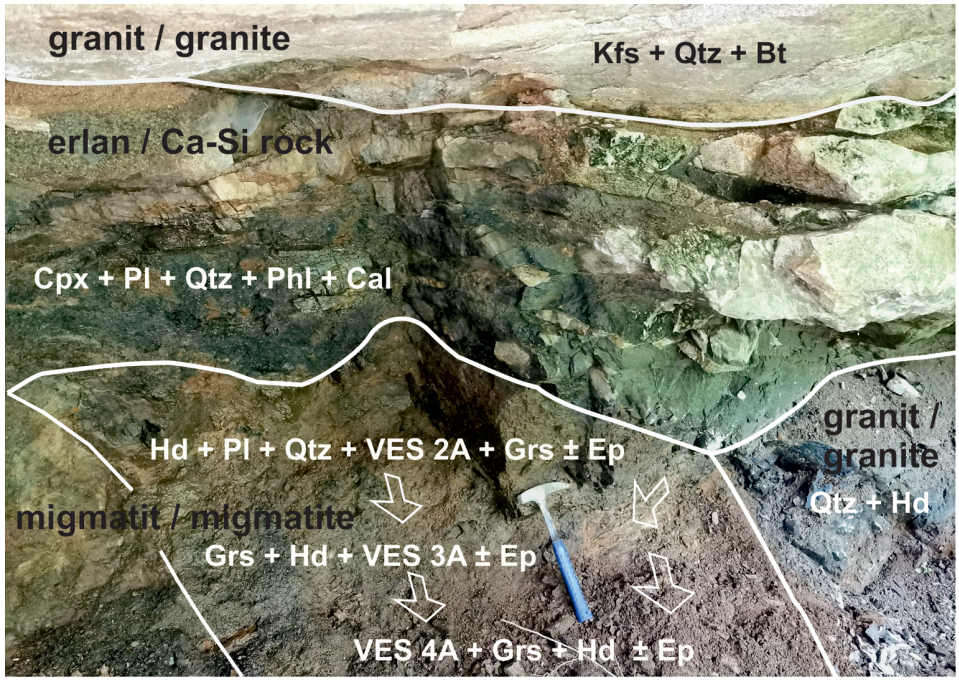


Obr. 4. BSE snímek minerální asociace VES 1A a VES 1b ze SKARNU 1 z Vycpálkova lomu.
Fig. 4. BSE images of VES 1A and VES 1b assemblages from SKARN 1 from Vycpálek quarry.

Výskyt **SKARN 2** se nachází nedaleko od prvního, v západní části lomu ve výšce asi tří metrů nad úrovní severnějšího jezírka pod 10 metrů širokým granitovým převisem na kontaktu biotitického granitu, biotit-granátického migmatitu a *erlanu* (obr. 5).

Vápenato-silikátová hornina (*erlan*) tvoří 0,5–1 m mocnou polohu v granitu. Je mineralogicky variabilní, šedé až šedozelené barvy, někdy páskovaná. Hlavními minerály jsou Ca-klinopyroxen, vápenatý plagioklas (andezín–labradorit) a křemen, v podružném množství se vyskytují klinozoisit, klinochlor, titanit, kalcit, řidčeji vesuvian, grafit, skapolit, pyrhotin, akcesoricky je zastoupen apatit a sillimanit. Podél litologických hranic *erlanu* pronikaly křemenné žíly o mocnosti do 20 cm. Biotit-granátický migmatit je středně zrnitá nevýrazně páskovaná hornina místy až granitoidního vzhledu s granátem, geneticky jde o pokročilý anatexit (Žáček *et al.* 2005).

Skarn je výrazně zonální a vytvořil se na kontaktu *erlanu* s granitem, kde vznikla 10 cm mocná zóna s živcem, křemenem, hedenbergitem, vesuvianem a grossularem. Na úkor *erlanu* se místy vytvořila cca 50 cm mocná a výrazně alterovaná zóna s flogopitem a Ca-klinopyroxenem, která pozvolna přechází v jemně až středně zrnitou grossular-pyroxenovou horninu (exoskarn) s drobnými stébly zelenohnědého vesuvianu. Skarnová hornina je převážně tvořena jemně až středně zrnitými tmavě zelenými až hnědými agregáty Ca-klinopyroxenů, kde převažuje hedenbergitová komponenta s jemně až hrubě zrnitými agregáty, hypautomorfního a automorfního grossularu, který v dutinách tvoří silně lesklé červené krystaly o velikosti do 2 cm. Jemnozrnný pyroxen – grossularový skarn s vesuvianem směrem od kontaktu s *erlanem* směrem do granitu a migmatitu hrubne a také krystaly kontaktních minerálů jsou v dutinách a podél puklin větší.



Obr. 5. Minerální asociace VES 2A-4A ze zonálního SKARNU 2 na kontaktu granitu, migmatitu a erlanu, lom Vycpálek. Šipky ukazují na zvyšující se podíl asociace Ves+Grs ve směru k centrální zóně skarnu.

Fig. 5. Mineral assemblages of VES 2A-4A from zonal SKARN 2 on the contact granite, migmatite and pyroxene-gneiss, quarry Vycpálek. Arrows show rising content of Ves+Grs assemblage toward to central zone of skarn.

5. MINERÁLNÍ ASOCIACE VESUVIANU

Detailní studium vesuvianu vedlo k vymezení 8 samostatných parageneticky typů, rozlišitelných zejména mikroskopicky (tab. 1). K primárním vesuvianům náleží typy VES 1A–VES 4A, které jsou v různé míře alterovány za vzniku vesuvianů VES 1b–3c, pouze VES 4 alteraci nevykazuje. (Pozn.: *termínem alterace je v tomto příspěvku označena přeměna primárního vesuvianu v rámci multifázového vývoje skarnu, nikoliv, jak je obvyklejší použití tohoto termínu, vysloveně mladší rozklad původní minerální asociace a vesuvianu na různé další minerály*).

Vesuvian (označen **VES 1A**) tvoří červeno-hnědé až tmavě hnědé, výrazně zonální a několik cm dlouhé tetragonální sloupce s podélným rýhováním v mramoru (obr. 3). Tento typ vesuvianu náleží minerální asociaci (I): Cal + Grs + Di + Ves + Wo ± Ep a předpokládá se jeho vznik v ranější etapě skarnizace (relativně málo Fe v pyroxenech a granátech). Je homogenní, jen v centrech krystalů je patrná alterace za vzniku vesuvianu **VES 1b**. V BSE snímku tvoří alterovaný VES 1b tmavší časti a vyplňuje žíly (obr. 4).

Další 3 typy primárních vesuvianů (VES 2A–VES 4A) a jejich alterací (VES 2b–3c) se vyskytují ve třech dalších asociacích (tab. 1):
(II) Hd + Pl + Qtz + Ves + Grs ± Ep;
(III) Grs + Hd + Ves ± Ep;
(IV) Ves + Grs + Hd ± Ep.

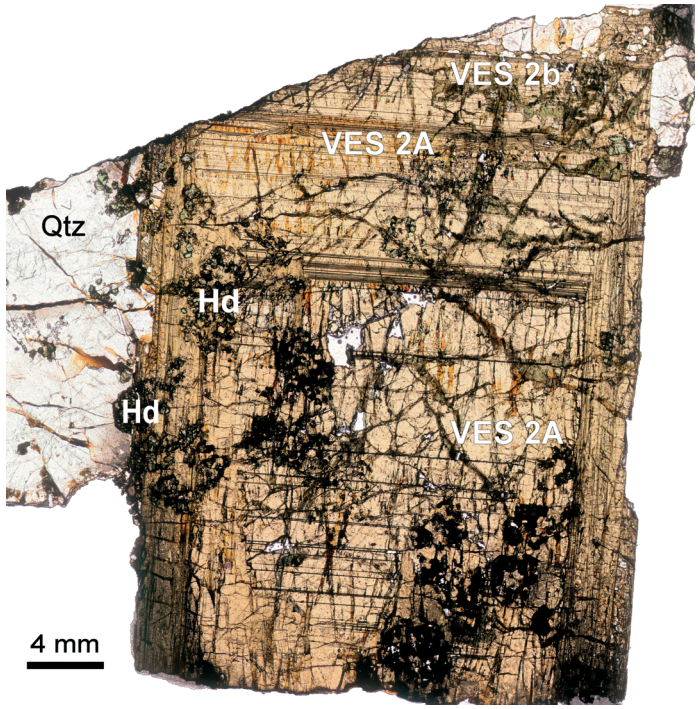
Vesuvian v dutinách tvoří zonální zelenohnědé sloupce o rozměrech až 3×3 cm zarostlé v křemeni. Dutiny s křemenem a vesuvianem jsou lemovány zrnitým grossularem, který v křemeni místy tvoří hypautomorfní až automorfní krystaly. Tento typ vesuvianu byl označen jako **VES 2A** (obr. 6 a 7). Vesuvian **VES 2b** vznikl alterací VES 2A v okrajové části zonálního krystalu a tvoří tmavé zóny (obr. 7). Akcesoricky je zastoupen apatit a k mladším minerálům náležející epidot. Stébelnaté krystaly zelenohnědého vesuvianu o velikosti 0,1–1 cm tvoří hypoparalelní srůsty a v dutinách jsou místy potažené slídnatým minerálem jasně bílé až zlatavé barvy (obr. 8–10). Tento typ vesuvianu byl definován jako primární vesuvian **VES 3A** a v BSE snímcích tvoří tmavší homogenní jádra zrn a samostatné zonální krystaly (obr. 9–10). Další vesuvian **VES 3b** vznikl rekrystalizací VES 3A, na obrázku 10 tvoří velmi světlé středy a okraje vedle a okolo VES 3A. Vesuvian označený jako **VES 3c** zatlačuje VES 3A a VES 3b, vyplňuje pukliny a tvoří tmavé okraje jader (obr. 10). Minerály z této zóny mohou být výrazně alterovány nízce temperovanými fluidy, dutiny v takových případech vyplňuje tmavě zelený epidot, který také obrůstá krystaly vesuvianu potažené zmíněnou slídou, místy

Tabulka 1. Minerální asociace vesuvianu z Vápenné.
Table 1. Vesuvianite-bearing mineral assemblages in Vápenná.

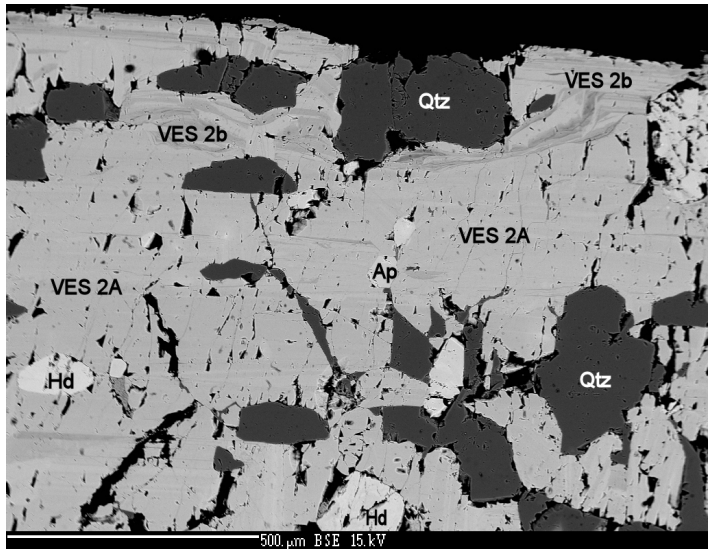
Primární vesuvian	Alterace	Minerální asociace	Typ skarnu	Horniny a pozice
VES 1A	VES 1b	**Typ I** Cal + Grs + Di + Ves + Wo ± Ep	**SKARN 1**	mramor + granit (horní část lomu)
VES 2A	VES 2b	**Typ II** Hd + Pl + Qtz + Ves + Grs ± Ep	**SKARN 2**	*erlan** + granit + migmatit (spodní část lomu)
VES 3A	VES 3b VES 3c	**Typ III** Grs + Hd + Ves ± Ep	**SKARN 2**	*erlan* + granit + migmatit (spodní část lomu)
VES 4A	–	**Typ IV** Ves + Grs + Hd ± Ep	**SKARN 2**	*erlan* + granit + migmatit (spodní část lomu)

* český termín *erlan* označuje převážně izochemicky metamorfovaný kontaktní Ca-Si rohovec.

* Czech name *erlan* represents dominantly isochemical metamorphosed contact Ca-Si hornfels.



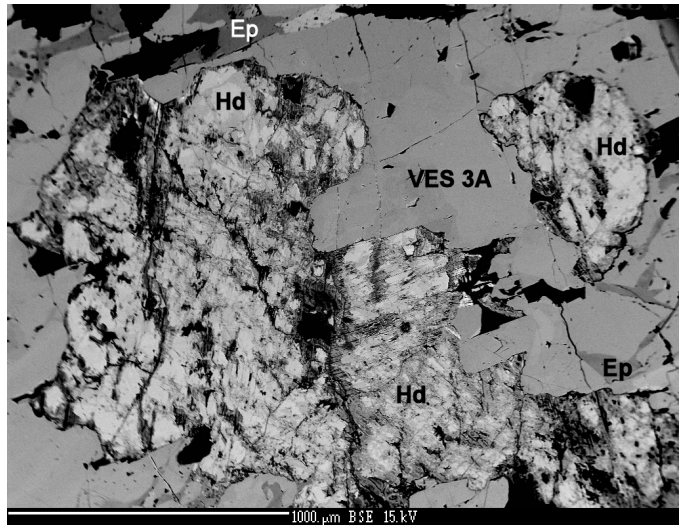
Obr. 6. Oscilačně zonální krystal vesuvianu (VES 2A) a alterace (VES 2b) s křemenem a hedenbergitem ze SKARNU 2.
Fig. 6. Oscillatory zonal crystal (VES 2A) and alteration (VES 2b) with quartz and hedenbergite from SKARN 2.



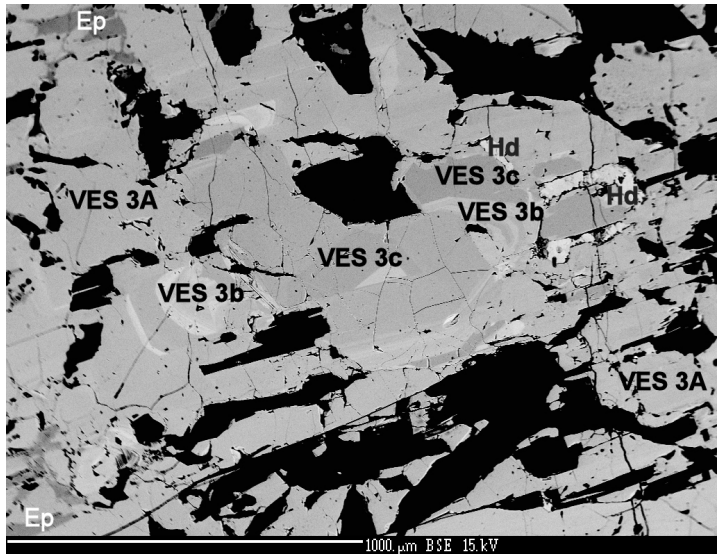
Obr. 7. BSE snímek minerální asociace zonálního krystalu vesuvianu (VES 2A) a alterace (VES 2b) v asociaci s hedenbergitem a křemenem ze SKARNU 2.
Fig. 7. BSE images of zonal vesuvianite (VES 2A) and alteration (VES 2b) hedenbergite-quartz assemblages from SKARN 2.

jej zatlačuje a pronikl do jádra zonálních krystalů a nahradil je až po okrajovou část s odlišným chemickým složením; došlo k vytvoření atolové struktury. Akcesoricky je zastoupen titanit. Do dutin narůstají zonální masivní sloupcovité krystaly zelenohnědého vesuvianu (**VES 4A**) o velikosti až 3×7 cm a velké hypautomorfně omezené krystaly grossularu do 5 cm (obr. 11). Vesuvian nesouvisle lemuje krystaly grossularu, méně často do nich zarůstá nebo naopak grossular narůstá na vesuvian. Vesuvian vznikl rekrystalizací jemnozrnné Ca-klinopyroxen-grossularové horniny, zatlačuje pyroxeny a tvoří automorfně a hypautomorfně omezené masivní sloupce. Později byl VES 4A zatlačován mladším epidotem, který na BSE snímcích tvoří tmavší místa a vyplňuje pukliny, akcesoricky je zastoupen titanit (obr. 12).

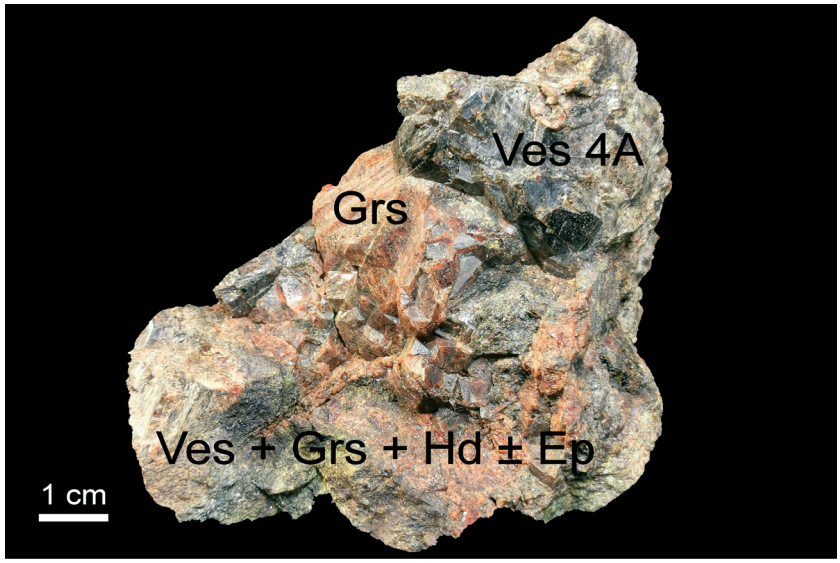
Obr. 8. Minerální asociace stébelnatého zelenohnědého vesuvianu (VES 3A) ze SKARNU 2.
Fig. 8. Mineral assemblages of green-brown prismatic vesuvianite (VES 3A) from SKARN 2.



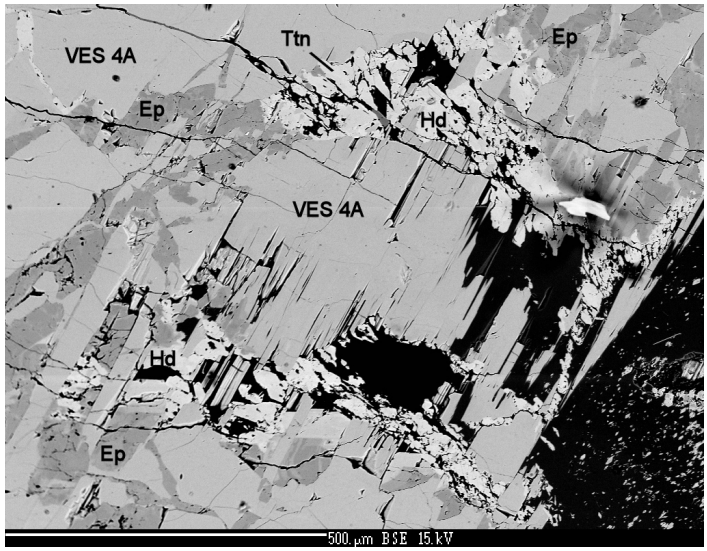
Obr. 9. BSE snímek minerální asociace VES 3A ze SKARNU 2.
Fig. 9. BSE images of zonal VES 3A associations from SKARN 2.



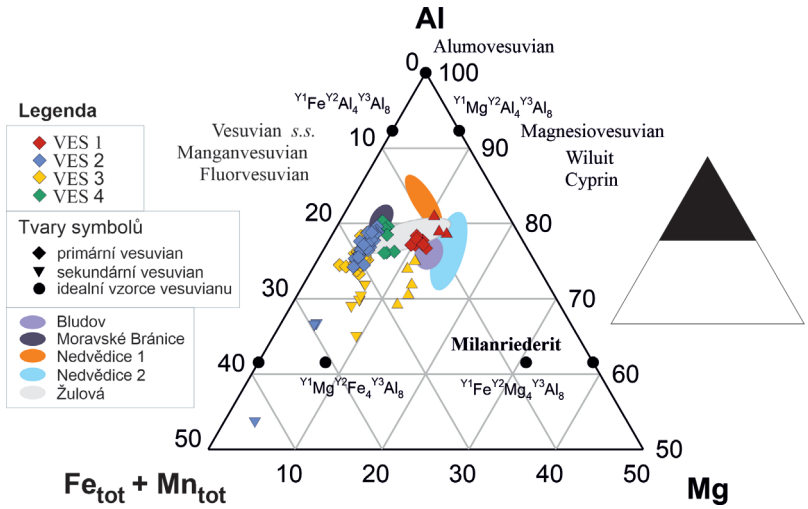
Obr. 10. BSE snímek minerální asociace primárního VES 3A a alterace VES 3b a VES 3c ze SKARNU 2.
Fig. 10. BSE images of primary VES 3A and alteration VES 3b and VES 3c associations from SKARN 2.



Obr. 11. Minerální asociace masivního sloupcovitého zeleno-hnědého vesuvianu (VES 4A) ze SKARNU 2.
Fig. 11. Mineral assemblages of massive columnar green-brown vesuvianite VES 4A from SKARN 2.

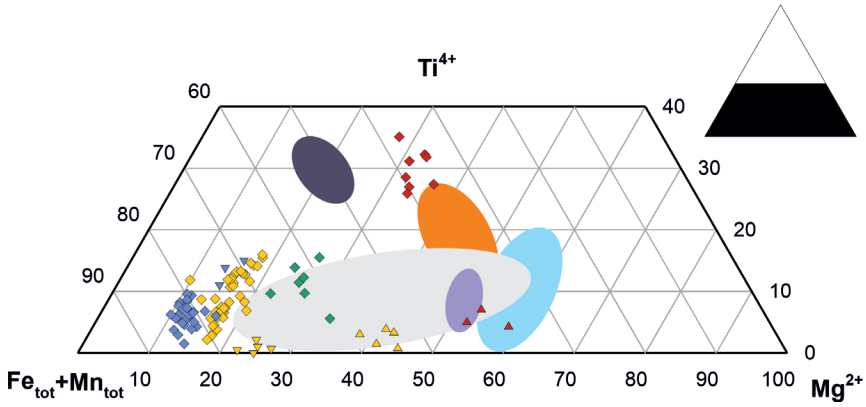


Obr. 12. BSE snímek minerální asociace primárního VES 4A ze SKARNU 2.
Fig. 12. BSE images of primary VES 4A associations from SKARN 2.



Obr. 13. Ternární diagram hlavních oktaedrických prvků Mg, Al a Fe_{tot}+Mn_{tot} pro studované vesuviany z Vycpálkova lomu, Vápenná ve srovnání a s publikovanými daty Malého (2016; 2019 v grafu barevná pole). Černé body reprezentují složení ideálních koncových členů minerálů sk. vesuvianu a popisky ukazují obsazení pozic Y v jeho struktuře.

Fig. 13. Ternary diagram for the main octahedral elements Mg, Al, Fe_{tot}+Mn_{tot} for the studied vesuvianite from Vycpálek quarry, Vápenná compared to the published data of Malý (2016; 2019 color fields in the diagram). Black 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. 14. Ternární diagram oktaedrických prvků Mg, Ti, Fe_{tot}+Mn_{tot} ve vesuvianu z Vycpálkova lomu, Vápenná. Legenda a vysvětlivky jsou stejné jako v obr. 14.

Fig. 14. Ternary diagram for octahedral elements Mg, Ti, and Fe_{tot}+Mn_{tot} in vesuvianite from Vycpálek quarry. The legend is the same as in fig. 14.

6. CHEMICKÉ SLOŽENÍ VESUVIANU

6.1 SKARN 1

6.1.1

Vesuvian **VES 1A** je zonální, což se projevuje mírným kolísáním obsahů některých prvků směrem od okraje do jádra měřeného krystalu. Koncentrace Na se pohybuje v rozmezí 0,125–0,252 *apfu*. Analýzy 12–17 reprezentují složení okraje krystalu VES 1A a analýzy 17–26 reprezentují složení ve směru od okraje do středu (tab. 2). Okraje jsou výrazně bohatší obsahem Al (až 9,259 *apfu*), který klesá směrem do jádra na 8,811 *apfu*. Jako dominantní se uplatňuje Fe (1,358–1,506 *apfu*), jehož obsah narůstá směrem do jádra. Obsah Mg se pohybuje v rozmezí 1,115–1,395 *apfu* a jeho obsah klesá směrem k jádru. VES 1A má nejvyrovnanější poměr Fe/Mg. Vzorek je bohatý titanem (0,916–1,409 *apfu*) a jeho nejvyšší koncentrace se vyskytují v centrech krystalů. Obsah F na okraji dosahuje 2,128 *apfu* a směrem k jádru klesá na 1,643 *apfu*. Ze stopových prvků je **VES 1A** velmi chudý Li (13–35 ppm) a naopak je obohacen B (19–48 ppm) a Be (71–246 ppm). Za povšimnutí stojí vyšší obsahy Ni (30–122 ppm), Zn (111–236 ppm), Sr (91–153 ppm), Zr (21–38 ppm), Y (12–171 ppm). Obsahy Sn a Pb leží těsně nad detekčním limitem. VES 1A má středně vysoké obsahy prvků LREE, nejvíce Ce (85–1609 ppm). Koncentrace Bi dosahuje 33–101 ppm a patří k nejnižším zjištěným na studované lokalitě. Koncentrace thoria se pohybuje v širokém rozmezí 13–598 ppm, podobně je tomu u uranu (54–295 ppm).

6.1.2

Vesuvian **VES 1b** vznikl alterací primárního krystalu VES 1A, na BSE snímku je tmavší barvy a vyplňuje pukliny (obr. 4). Obsah Ca je vysoký a přesahuje 19 *apfu*. Koncentrace sodíku jsou velmi nízké ≤ 0,098 *apfu*. VES 1b má proti staršímu VES 1A mírně zvýšený obsah Al (10,155–10,397 *apfu*) a obsahuje jako dominantní oktaedrický prvek Mg (1,348–1,694 *apfu*). VES 1b má proti VES 1A výrazně nižší obsahy Fe (1,074–1,159 *apfu*) a téměř žádný titan (0,128–0,205 *apfu*), naopak obsahuje dvojnásobné množství F (3,428–3,568 *apfu*) (tab. 2). Koncentrace stopových prvků jsou téměř identické s primárním VES 1A (tab. 6). K nárůstu obsahů stopových prvků došlo jedině u Th (216–381 ppm) a U (293–322 ppm).

Tabulka 2. Reprezentativní analýzy primárního VES 1A a alterace VES 1b ze SKARNU 1.
Table 2. Representative analyses of primary VES 1A and alteration VES 1b from SKARN 1.

Číslo an. / An. #	13	14	16	17	24	25	26	15	18	19
(hm.% / wt.%)	VES 1A	VES 1A	VES 1A	VES 1A	VES 1A	VES 1A	VES 1A	VES 1b	VES 1b	VES 1b
SiO_2	36,36	36,70	36,54	36,56	36,69	36,53	36,47	37,00	36,90	36,78
TiO_2	3,37	2,95	2,64	3,81	2,49	3,21	3,39	0,35	0,33	0,56
Al_2O_3	15,83	15,94	16,19	15,19	16,54	16,00	15,72	18,13	17,70	17,77
FeO	3,29	3,67	3,51	3,62	3,52	3,50	3,35	2,70	2,64	2,85
MgO	1,73	1,67	1,64	1,52	1,63	1,62	1,79	1,86	2,34	2,15
ZnO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
MnO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
CaO	35,86	35,69	36,08	35,44	35,89	35,71	35,98	36,64	36,75	36,75
Na_2O	0,13	0,17	0,15	0,12	0,27	0,13	0,20	b.d.l.	0,10	b.d.l.
K_2O	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
F	1,20	1,10	1,14	1,06	1,13	1,14	1,22	2,27	2,32	2,23
H_2O	2,47	2,54	2,51	2,54	2,53	2,52	2,47	2,00	1,98	2,03
-(O=F)	-0,50	-0,46	-0,48	-0,44	-0,48	-0,48	-0,51	-0,96	-0,98	-0,94
Total	99,74	99,96	99,91	99,40	100,22	99,86	100,07	100,00	100,08	100,18
Si^{4+}	17,924	17,983	17,985	18,000	17,933	17,935	17,942	18,000	17,956	17,887
$\sum Z$	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
Ti^{4+}	1,251	1,086	0,977	1,409	0,916	1,185	1,253	0,128	0,122	0,205
Al^{3+}	9,195	9,207	9,389	8,811	9,525	9,259	9,116	10,397	10,155	10,188
Fe_{tot}^{2+}	1,358	1,506	1,445	1,492	1,439	1,435	1,379	1,099	1,074	1,159
Mg^{2+}	1,272	1,219	1,206	1,115	1,187	1,186	1,309	1,348	1,694	1,562
Zn^{2+}	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Mn^{2+}	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
$\sum Y$	13,000	13,000	13,000	12,828	13,000	13,000	13,000	12,972	13,000	13,000
Ca^{2+}	18,941	18,738	19,025	18,694	18,796	18,782	18,969	19,100	19,164	19,147
Na^{+}	0,125	0,161	0,146	0,114	0,252	0,119	0,190	0,000	0,098	0,000
K^{+}	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
$\sum X$	19,066	18,899	19,171	18,808	19,048	18,901	19,158	19,100	19,262	19,147
F^{-}	1,868	1,699	1,775	1,643	1,753	1,764	1,891	3,494	3,568	3,428
O^{2-}	72,842	72,641	72,867	72,572	72,657	72,709	72,872	71,650	71,584	71,618
OH^{-}	8,132	8,301	8,225	8,357	8,247	8,236	8,109	6,506	6,432	6,572

*pod mezí detekce; below detection limits.

6.2 SKARN 2

6.2.1

Koncentrace Na ve **VES 2A** dosahuje 0,201 *apfu*. Obsah Mg se pohybuje v rozsahu 0,466–0,672 *apfu*. Vesuvian VES 2A má velmi vysoký obsah Fe (2,064–2,534 *apfu*) a je naopak relativně chudý Ti (0,070–0,447 *apfu*). Koncentrace Mn jsou průměrné (0,085–0,188 *apfu*). Obsah F je velmi vysoký (3,698–3,980 *apfu*), což je vzhledem k obsahu Fe anomální (srov. Groat *et al.* 1992). Okraj krystalu, jež reprezentují analýzy č. 2 a 6 v tabulce 3, je bohatší Mg, téměř dvojnásobně chudší Ti (0,070–0,194 *apfu*) a Mn (0,085–0,091). Pro světlé a relativně homogenní zóny (analýzy 6, 11, 13, 17, 18) platí, že jsou přibližně dvojnásobně chudší Ti než zóny tmavší (tab. 3 a obr. 6). Směrem do jádra krystalu obsah Mg a Fe mírně klesá, obsahy Ti a Mn mírně narůstají. Ze stopových prvků byly naměřeny významné koncentrace Li (87–184 ppm); vesuvian je rovněž obohacen Be (123–750 ppm). Obsah B dosahuje 29 ppm (tab. 7).

Tabulka 3. Reprezentativní analýzy primárního VES 2A a sekundárního VES 2b ze SKARNU 2.
Table 3. Representative analyses of primary VES 2A and secondary VES 2b from SKARN 2.

Číslo an. / An. #	6	9	11	13	14	15	17	18	1	3	4	5
(hm.% / wt.%)	VES 2A	VES 2A	VES 2A	VES 2A	VES 2A	VES 2A	VES 2A	VES 2A	VES 2b	VES 2b	VES 2b	VES 2b
SiO_2	36,69	36,55	36,08	35,98	35,99	35,71	36,04	35,95	37,21	39,14	37,85	37,36
TiO_2	0,19	1,21	0,79	0,70	1,08	1,11	0,77	0,58	0,64	1,17	1,03	1,25
Al_2O_3	17,42	16,61	17,46	17,01	16,95	16,96	17,18	16,43	15,85	12,30	14,24	13,74
FeO	5,16	5,57	4,97	5,07	5,24	5,20	5,40	6,08	5,62	13,23	8,24	7,97
MgO	0,92	0,74	0,72	0,69	0,72	0,72	0,63	0,82	0,89	0,63	0,69	0,63
ZnO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,22	b.d.l.	b.d.l.	0,14	0,14	0,23	0,17	0,20
MnO	0,22	0,30	0,32	0,33	0,35	0,34	0,45	0,38	0,46	0,54	0,51	0,60
CaO	35,70	35,48	35,28	34,90	35,37	35,03	34,99	35,33	30,73	21,16	25,78	25,79
Na_2O	0,11	0,21	0,00	0,00	0,18	0,10	0,12	0,00	0,14	0,19	0,17	0,11
K_2O	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,04	0,06	b.d.l.	b.d.l.
F	2,57	2,44	2,52	2,47	2,45	2,46	2,49	2,51	1,98	1,29	1,66	1,55
H_2O	1,84	1,89	1,83	1,82	1,86	1,83	1,84	1,82	2,16	2,65	2,36	2,38
-(O=F)	-1,08	-1,03	-1,06	-1,04	-1,03	-1,04	-1,05	-1,06	-0,83	-0,54	-0,70	-0,65
Total	99,73	99,96	98,90	97,95	99,38	98,42	98,85	98,97	95,04	92,04	92,01	90,93
Si^{4+}	18,000	18,000	17,903	18,000	17,877	17,868	17,928	17,933	18,000	18,000	18,000	18,000
$\sum Z$	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
Ti^{4+}	0,070	0,447	0,294	0,264	0,405	0,419	0,290	0,218	0,233	0,406	0,369	0,451
Al^{3+}	10,070	9,639	10,209	10,030	9,924	10,001	10,070	9,656	9,034	6,664	7,984	7,803
Fe_{tot}^{2+}	2,118	2,296	2,064	2,122	2,179	2,175	2,245	2,534	2,274	5,089	3,277	3,210
Mg^{2+}	0,672	0,544	0,530	0,516	0,535	0,537	0,466	0,607	0,645	0,430	0,486	0,453
Zn^{2+}	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,080	b.d.l.	b.d.l.	0,052	0,051	0,077	0,061	0,072
Mn^{2+}	0,091	0,125	0,136	0,140	0,146	0,145	0,188	0,160	0,188	0,212	0,207	0,246
$\sum Y$	13,021	13,051	13,136	13,072	13,146	13,145	13,188	13,160	12,426	12,877	12,384	12,235
Ca^{2+}	18,763	18,725	18,759	18,706	18,826	18,782	18,653	18,881	15,929	10,424	13,134	13,315
Na^{+}	0,103	0,201	0,000	0,000	0,175	0,100	0,120	0,000	0,132	0,169	0,154	0,106
K^{+}	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,027	0,036	b.d.l.	b.d.l.
$\sum X$	18,865	18,926	18,759	18,706	19,002	18,882	18,772	18,881	16,087	10,628	13,288	13,421
F^{-}	3,980	3,802	3,955	3,914	3,846	3,900	3,910	3,955	3,034	1,869	2,503	2,366
O^{2-}	70,951	71,242	71,219	71,099	71,382	71,315	71,199	71,042	67,667	62,207	64,705	64,773
OH^{-}	6,020	6,198	6,045	6,086	6,154	6,100	6,090	6,045	6,966	8,131	7,497	7,634

6.2.2

Vesuvian **VES 2b** vznikl alterací VES 2A v okrajové části zonálního krystalu v tmavých deformovaných zónách na BSE snímku (obr. 6 a 7). Tento minerál má přes nízkou sumu oxidů (tj. vysokou hydrataci) a velmi rozdílné složení hlavních a stopových prvků oproti VES 2A avšak stechiometrii odpovídající stále vesuvianu. Další možné minerály s podobným složením, jako např. „hydrogranáty“ nebo epidot neodpovídají stechiometrií, ani zvýšeným obsahem vedlejších prvků, např. Na. Obsah Ca je významně nižší oproti průměrnému složení obecného vesuvianu (10,424–15,929 *apfu*). Koncentrace Na dosahuje 0,169 *apfu* a K 0,036 *apfu*. Obsah Mg se ve VES 2b pohybuje v rozsahu 0,430–0,645 *apfu* podobně jako u VES 2A. Alterovaný VES 2b má oproti VES 2A anomálně vysoký obsah Fe (2,274–5,089 *apfu*), který je nepochybně doposud nejvýše naměřený mezi vesuviany z Českého masivu. Vzorek je bohatší Ti (0,233–0,451 *apfu*). Koncentrace Mn jsou vysoké

(0,188–0,246 *apfu*), stejně jako Zn (0,051–0,077 *apfu*). Obsah F oproti VES 2A výrazně klesá na 1,869–3,034 *apfu*. VES 2b je výrazně hydratovaný (tab. 3) Složením stopových prvků se alterovaný VES 2b od mladšího VES 2A liší nižším obsahem Be, REE, Bi a Th (tab. 7).

6.2.3

Vesuvian **VES 3A** vznikl primární krystalizací v jemnozrnné Ca-klinopyroxen grossularové hornině zelenočervené barvy přímo na kontaktu s *erlanem*. Tvoří automorfně a hypautomorfně omezená šedá a zonální jádra krystalů (obr. 8–10). Vesuvian **VES 3b** vznikl rekrystalizací primárního vesuvianu VES 3A v jeho jádrech a na okrajích, místy také vyplňuje pukliny a na BSE snímku tvoří nejsvětlejší části (obr. 9). Vesuvian **VES 3c** je nejmladší, zatlačuje VES 3A a VES 3b, vyplňuje pukliny a tvoří tmavé okraje jader na BSE snímcích (obr. 9). Koncentrace Na v primárním vesuvianu VES 3A dosahuje 0,098 *apfu*. Množství hliníku patří svým obsahem 9,137–9,870 *apfu* k nejnižším naměřeným ze studované lokality. Obsah Al ve VES 3A mírně klesá směrem od okraje do jádra krystalu. Obsah Mg dosahuje 0,509–0,706 *apfu* a klesá směrem od okraje do jádra krystalu. Obsah Fe (2,062–2,526 *apfu*) výrazně převyšuje obsah Mg a jeho obsah mírně narůstá směrem od okraje do jádra krystalu. Obsah Ti je středně vysoký (0,192–0,547 *apfu*), jeho vyšší obsahy se koncentrují na okrajích krystalů (analýzy č. 30–34 v tab. 4). VES 3A je obohacen o Mn (0,111–0,215 *apfu*) a Zn (až 0,064 *apfu*). VES 3A má vyšší obsah F (3,677–4,150 *apfu* F; tab. 4). Obsahy Fe a F ve VES 3A patří k obecně nejvýše naměřeným napříč studovanými lokalitami v Českém masívu. Ze stopových prvků byly naměřeny významnější koncentrace Li (99–198 ppm). VES 3A je nejbohatší Be (465–1140 ppm). Koncentrace B je naopak nejnižší (do 34 ppm). VES 3A je anomálně bohatý Zn (737–1236 ppm) a Y (445–1703 ppm). Obsah Sn je vyšší (28–88 ppm). Vzorek VES 3A je bohatý obsahy LREE a HREE, podobně obsahem Pb (36–64 ppm), Bi (169–262 ppm), Th (965–2010 ppm) a U (91–405 ppm).

6.2.4

Vesuvian **VES 3b** se liší od VES 3A především obsahem Na, který se nachází pod detekčními limity (tab. 4) Obsah Al se pohybuje v rozmezí 9,137–10,119 *apfu*. Hlavním oktaedrickým prvkem v pozici Y stále zůstává Fe s obsahem 1,977–2,367 *apfu*, dále pak Mg, jehož obsahy oproti VES 3A narostly trojnásobně až do 1,666 *apfu*. Obsah Ti oproti VES 3A výrazně poklesl na 0,122 *apfu*, až trojnásobně poklesl obsah Mn (~0,050 *apfu*). Obsah F klesl na 3,494–3,583 *apfu*. VES 3b je více hydratovaný než VES 3A. Ve stopových prvcích se VES 3b od VES 3A liší zásadně výrazným poklesem obsahů Li (4–20 ppm), Be (83–229 ppm), Zn (120–372 ppm), Y (310–343) dále poklesem koncentrace LREE a HREE, Bi (62–85 ppm), Th (2–3 ppm) a U (16–44 ppm) (tab. 8).

6.2.5

U vesuvianu **VES 3c** se obsah Na rovněž nachází pod detekčními limity (**tab. 4**). Obsah Al oproti primární generaci VES 3A a alteraci VES 3b mírně poklesl na 9,050–9,425 *apfu*. Koncentrace Fe se zvýšily na 2,669–3,058 *apfu*. Obsah Mg (0,906–0,959 *apfu*) ve VES 3c je vyšší než u VES 3A, ale je o polovinu nižší než u VES 3b. Obsah titanu ve VES 3c výrazně poklesl na nejnižší množství 0,019–0,085 *apfu* Ti. Mírně stoupl obsah Mn do 0,091 *apfu*. Obsah F je ve VES 3c nejvyšší a dosahuje až 4,010 *apfu*. Zrna VES 3c jsou méně hydratovaná než VES 1A. VES 3c se složením stopových prvků velmi podobá předešlému VES 3b (tab. 8). Rozdíly v obsazích stopových prvků ve VES 3c oproti VES 3b jsou téměř zanedbatelné, projevují se především u mírného nárůstu As (16–19 ppm), Y (629–1066 ppm), prvků LREE a HREE, Bi (56–155 ppm), Th (6–21 ppm) a hlavně U (92–100). Velmi mírně poklesla koncentrace Zr a Sn.

Tabulka 4. Reprezentativní analýzy primárního VES 3A a sekundárních VES 3b a VES 3c ze SKARNU 2.
Table 4. Representative analyses of primary VES 3A and secondary VES 3b a VES 3c from SKARN 2.

Číslo an. / An. #	30	31	32	34	18	19	20	51	53	56	57	58	60
(hm.% / wt.%)	VES 3A	VES 3A	VES 3A	VES 3A	VES 3A	VES 3A	VES 3A	VES 3b	VES 3b	VES 3b	VES 3c	VES 3c	VES 3c
SiO_2	36,14	36,20	36,01	36,17	36,17	36,26	36,66	35,88	36,40	36,18	35,75	36,13	36,33
TiO_2	0,63	1,03	1,46	1,12	0,62	0,52	0,53	0,42	0,33	0,33	0,23	0,10	0,05
Al_2O_3	16,65	16,47	15,51	16,90	16,92	16,96	17,20	15,81	15,39	15,91	15,25	16,10	15,55
FeO	5,78	6,01	5,95	4,96	5,92	6,13	5,98	5,15	5,74	4,77	6,80	6,43	7,40
MgO	0,95	0,79	0,95	0,69	0,78	0,74	0,82	2,26	2,13	2,18	1,28	1,25	1,23
ZnO	0,00	b.d.l.	0,13	0,18	0,15	b.d.l	0,15	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l
MnO	0,26	0,34	0,32	0,51	0,36	0,38	0,36	0,15	0,10	0,12	0,18	0,21	0,22
CaO	35,56	35,51	34,79	35,01	36,25	35,91	36,10	35,25	35,55	36,13	35,35	36,04	35,67
Na_2O	0,11	b.d.l	0,10	0,11	b.d.l	0,07	0,10	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l
K_2O	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l
F	2,41	2,42	2,33	2,44	2,66	2,53	2,69	2,21	2,24	2,28	2,49	2,55	2,54
H_2O	1,88	1,88	1,90	1,86	1,78	1,84	1,80	1,98	1,98	1,94	1,80	1,81	1,83
-(O=F)	-1,02	-1,02	-0,98	-1,03	-1,12	-1,06	-1,13	-0,93	-0,94	-0,96	-1,05	-1,07	-1,07
Total	99,36	99,64	97,67	98,13	99,92	99,66	100,68	98,22	99,02	98,96	98,07	99,55	99,75
Si^{4+}	17,933	17,931	18,000	18,000	17,855	17,880	17,854	17,785	17,952	17,947	18,000	17,944	17,958
$\sum Z$	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
Ti^{4+}	0,235	0,384	0,547	0,420	0,232	0,192	0,193	0,155	0,122	0,124	0,085	0,038	0,019
Al^{3+}	9,734	9,615	9,137	9,910	9,842	9,859	9,870	9,234	8,945	9,302	9,050	9,425	9,059
Fe_{tot}^{2+}	2,397	2,490	2,487	2,062	2,445	2,526	2,436	2,134	2,367	1,977	2,862	2,669	3,058
Mg^{2+}	0,700	0,580	0,706	0,509	0,570	0,543	0,594	1,666	1,568	1,614	0,959	0,923	0,906
Zn^{2+}	b.d.l.	b.d.l.	0,048	0,064	0,056	b.d.l	0,054	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Mn^{2+}	0,111	0,143	0,136	0,215	0,150	0,158	0,148	0,061	0,042	0,049	0,075	0,087	0,091
$\sum Y$	13,111	13,143	13,061	13,180	13,167	13,178	13,165	13,061	13,042	13,049	13,031	13,087	13,091
Ca^{2+}	18,906	18,844	18,629	18,663	19,175	18,973	18,838	18,723	18,785	19,200	19,067	19,176	18,892
Na^{+}	0,106	b.d.l.	0,101	0,110	b.d.l.	0,062	0,095	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
K^{+}	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
$\sum X$	19,012	18,844	18,730	18,773	19,175	19,035	18,933	18,723	18,785	19,200	19,067	19,176	18,892
F^{-}	3,788	3,784	3,677	3,841	4,150	3,938	4,138	3,457	3,494	3,583	3,960	4,010	3,972
O^{2-}	71,211	71,219	71,018	71,353	71,274	71,215	70,963	70,626	70,697	71,198	70,728	70,954	70,503
OH^{-}	6,212	6,216	6,323	6,159	5,850	6,062	5,862	6,543	6,506	6,417	6,040	5,990	6,028

6.2.6

U vesuvianu **4A (VES 4A)** koncentrace Na dosahuje 0,155 *apfu*. VES 4A má velmi vysoké obsahy Al (9,562–10,336 *apfu*). Koncentrace hlavního oktaedrického prvku Fe v pozici Y je druhá nejnižší po VES 1A a VES 1b ze SKARNU 1 a dosahuje (1,778–2,017 *apfu*). Obsah Mg dosahuje 0,626–0,933 *apfu*. Obsah Ti patří k vyšším (0,270–0,550 *apfu*). Množství Mn je průměrné do 0,115 *apfu*. Obsah F je 3,798–4,142 *apfu*. Ze stopových prvků je ve VES 4A významně zastoupena koncentrace Li (91–162 ppm) a mírně Be (22–125 ppm). Obsah B je velmi nízký těsně nad detekčním limitem (tab. 5). VES 4A je středně bohatý Zn (376–588 ppm). Obsah Sn dosahuje 35–88 ppm aSr 46–68 ppm. Obsah Y patří k nejnižším (14–44 ppm). Obsahy prvků LREE jsou velmi nízké, nejvíce zastoupen Ce (60–196 ppm), taktéž obsahy HREE jsou velmi nízké. Tento vesuvian je anomálně bohatý obsahem Bi (75–548 ppm). VES 4A je velmi zajímavý tím, že obsahuje pouze malou koncentraci Th (6–32 ppm) a U (4–13 ppm).

Tabulka 5. Reprezentativní analýzy složení majoritních i stopových prvků primárního VES 4A ze SKARNU 2.
Table 5. Representative analyses of major and trace elements of primary VES 4A from SKARN 2.

Číslo an. / An. #	3	4	5	7	10	11
f (hm.% / wt.%)	VES 4A	VES 4A	VES 4A	VES 4A	VES 4A	VES 4A
SiO_2	36,92	36,24	36,47	36,79	36,61	36,54
TiO_2	0,74	1,47	0,88	0,92	1,15	1,05
Al_2O_3	18,01	16,35	16,71	17,84	17,45	17,43
FeO	4,40	4,75	4,89	4,37	4,39	4,48
MgO	0,86	1,26	1,25	1,04	0,99	1,11
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,28	0,23	0,29	0,22	0,27	0,28
CaO	36,13	35,95	35,99	35,99	35,66	35,80
Na_2O	b.d.l	b.d.l	b.d.l	0,15	0,16	b.d.l
K_2O	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l
F	2,69	2,42	2,53	2,57	2,48	2,52
H_2O	1,80	1,87	1,84	1,86	1,88	1,87
-(O=F)	-1,13	-1,02	-1,06	-1,08	-1,04	-1,06
Total	100,70	99,51	99,78	100,67	99,98	99,99
Si^{4+}	17,977	17,986	18,000	17,899	17,962	17,907
$\sum Z$	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
Ti^{4+}	0,270	0,550	0,327	0,338	0,424	0,385
Al^{3+}	10,336	9,562	9,720	10,233	10,091	10,066
Fe_{tot}^{2+}	1,792	1,969	2,017	1,778	1,799	1,834
Mg^{2+}	0,626	0,933	0,917	0,753	0,723	0,807
Zn^{2+}	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l
Mn^{2+}	0,115	0,095	0,121	0,089	0,111	0,115
$\sum Y$	13,115	13,095	13,104	13,089	13,111	13,115
Ca^{2+}	18,847	19,115	19,034	18,763	18,746	18,799
Na^{+}	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l
K^{+}	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l
$\sum X$	18,847	19,115	19,034	18,906	18,901	18,799
F^{-}	4,142	3,797	3,941	3,949	3,848	3,898
O^{2-}	71,305	71,629	71,355	71,302	71,442	71,291
OH^{-}	5,858	6,203	6,059	6,051	6,152	6,102

ICP	3	4	5	7	10	11
ppm	VES 4A	VES 4A	VES 4A	VES 4A	VES 4A	VES 4A
Li	149	106	91	104	98	162
Be	34	112	125	22	35	37
B	b.d.l	12	14	b.d.l	8	b.d.l
V	39	25	15	23	38	30
Co	4	5	5	4	4	3
Ni	4	5	5	3	6	4
Cu	1	1	1	1	1	1
Zn	419	588	550	376	517	484
Ga	38	44	35	34	33	30
As	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l	b.d.l
Sr	68	61	46	47	58	52
Y	29	14	21	14	26	44
Zr	4	6	5	5	7	3
Sn	36	88	67	35	38	30
Sb	2	5	8	1	10	7
La	59	50	79	34	86	62
Ce	112	78	196	60	166	149
Pr	13	7	22	7	18	20
Nd	42	23	91	22	53	79
Sm	8	4	14	5	8	14
Eu	3	3	4	2	4	3
Gd	6	4	9	4	5	11
Tb	1	1	1	1	1	2
Dy	5	3	6	3	4	9
Er	3	1	1	1	2	4
Pb	2	2	2	2	2	3
Bi	75	328	548	59	232	212
Th	8	11	19	6	9	32
U	6	13	9	9	4	7

Tabulka 6. Reprezentativní analýzy stopových prvků VES 1A, VES 1b ze SKARNU 1.
Table 6. Representative analyses of trace elements of VES 1A, VES 1b from SKARN 1.

	12	13	14	16	17	24	25	26	15	18	19
ppm	VES 1A	VES 1A	VES 1A	VES 1A	VES 1A	VES 1A	VES 1A	VES 1A	VES 1b	VES 1b	VES 1b
Li	19	13	17	15	27	24	35	23	19	18	23
Be	89	72	71	98	146	119	206	246	144	171	197
B	21	21	19	29	41	36	48	38	43	47	49
V	89	20	33	15	23	33	18	13	20	23	25
Co	6	9	8	15	12	11	22	26	11	13	14
Ni	30	58	56	88	50	56	122	167	47	51	64
Cu	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
Zn	111	144	117	151	114	113	139	236	104	126	136
Ga	13	10	10	9	11	12	12	13	10	10	11
As	14	6	8	5	8	7	6	6	7	7	8
Sr	94	91	91	109	109	110	121	153	98	105	114
Y	171	52	89	33	99	54	25	12	84	85	63
Zr	22	23	21	25	36	30	37	38	31	34	33
Sn	14	8	8	9	14	13	12	17	11	13	15
Sb	5	3	3	4	4	4	4	5	4	4	4
La	630	215	351	89	266	147	76	51	249	283	251
Ce	1609	536	822	261	580	343	153	85	529	634	529
Pr	165	52	90	23	65	34	16	7	57	60	52
Nd	517	144	269	66	201	103	50	20	165	180	145
Sm	80	20	39	11	35	18	8	3	27	29	23
Eu	36	9	16	6	15	11	6	4	15	17	14
Gd	94	25	48	14	43	22	11	4	37	39	31
Tb	8	2	4	1	4	2	1		3	3	2
Dy	34	10	18	6	19	10	5	2	15	15	12
Er	16	5	9	3	10	5	2	1	8	8	6
Pb	11	8	11	8	25	9	9	9	18	14	16
Bi	43	45	33	55	41	42	55	101	37	41	44
Th	182	93	197	59	598	92	71	13	381	216	245
U	75	54	97	104	295	141	167	66	293	322	290

Tabulka 7. Reprezentativní analýzy stopových prvků VES 2A a alterace VES 2b ze SKARNU 2.
Table 7. Representative analyses of trace elements of VES 2A and alteration VES 2b from SKARN 2.

	6	9	11	13	14	15	17	18	1	3	4	5
ppm	VES 2A	VES 2A	VES 2A	VES 2A	VES 2A	VES 2A	VES 2A	VES 2A	VES 2b	VES 2b	VES 2b	VES 2b
Li	154	146	175	168	121	180	184	164	136	168	153	161
Be	134	123	162	312	750	202	313	229	292	94	89	91
B	26	29	28	27	25	27	27	25	31	29	27	27
V	7	8	11	17	12	13	8	9	10	13	13	8
Co	5	5	6	6	5	5	4	4	8	4	5	5
Ni	3	4	4	4	4	4	3	3	5	4	4	3
Cu	2	2	1	6	8	2	1	1	4	1	2	1
Zn	855	701	810	1027	776	666	768	689	954	687	711	877
Ga	24	26	25	29	35	25	31	27	28	26	26	23
As	29	21	42	37	26	18	21	18	19	23	22	22
Sr	40	34	55	54	39	61	65	60	44	33	34	41
Y	76	91	149	180	112	368	235	238	46	133	132	104
Zr	3	3	3	2	2	3	3	3	2	3	3	2
Sn	54	28	26	29	26	29	50	33	34	52	50	62
Sb	3	6	5	6	6	5	5	4	8	1	1	2
La	518	299	705	743	447	367	401	371	591	359	306	382
Ce	1880	1279	2936	3071	2044	1265	1460	1301	1870	1426	1368	1442
Pr	322	244	505	481	345	212	262	226	296	265	254	260
Nd	1681	1289	2403	2237	1552	1036	1196	1060	1035	1358	1253	1318
Sm	363	263	504	429	256	263	293	248	95	332	310	332
Eu	7	9	12	17	18	6	6	5	20	5	5	5
Gd	265	185	365	326	206	218	217	195	178	255	241	245
Tb	17	13	25	23	14	28	22	21	6	20	19	18
Dy	33	34	61	61	37	124	86	84	11	54	52	43
Er	10	12	19	20	14	39	25	25	9	15	14	11
Pb	113	91	106	90	66	51	58	48	15	52	46	114
Bi	181	246	221	267	284	134	157	93	152	75	74	125
Th	3364	2731	3225	2681	1890	1512	1727	1438	256	1495	1244	3438
U	247	216	228	470	657	96	95	86	568	243	217	189

Tabulka 8. Reprezentativní analýzy stopových prvků primárního VES 3A a jeho alterací VES 3b, VES 3c ze SKARNU 2.

Table 8. Representative analyses of trace elements of primary VES 3A and his alterations VES 3b, VES 3c from SKARN 2.

	30	31	32	34	35	38	39	51	53	56	57	58	60
ppm	VES 3A	VES 3A	VES 3A	VES 3A	VES 3A	VES 3A	VES 3A	VES 3b	VES 3b	VES 3b	VES 3c	VES 3c	VES 3c
Li	99	168	111	142	181	198	163	4	20	20	33	15	18
Be	820	465	888	701	484	774	1140	101	229	83	257	241	265
B	34	25	28	28	31	26	26	50	52	40	35	39	37
V	25	28	31	12	27	23	12	113	121	67	152	205	153
Co	6	6	6	5	5	5	5	5	6	7	7	5	6
Ni	7	5	6	5	6	5	5	11	19	8	7	13	10
Cu	5	5	6	5	6	7	5	6	9	9	7	6	7
Zn	876	737	861	905	1021	1094	1236	120	235	372	381	141	333
Ga	39	30	37	38	35	36	44	25	37	20	27	31	28
As	17	24	16	15	24	23	11	11	11	9	18	19	16
Sr	64	54	60	43	59	62	35	30	32	58	40	21	39
Y	445	1703	974	649	1267	1556	797	343	321	310	1066	629	940
Zr	5	3	3	5	3	3	2	38	39	7	10	19	12
Sn	88	28	62	47	28	35	52	96	112	141	83	96	90
Sb	7	5	6	5	5	5	5	3	4	6	6	2	5
La	830	599	434	372	832	512	204	613	579	207	753	785	780
Ce	2391	2449	1626	1425	2981	2106	907	1224	1186	561	2259	2136	2150
Pr	308	373	253	236	454	333	160	140	130	75	295	286	274
Nd	1152	1674	1093	1065	1878	1520	788	449	433	276	1058	1113	956
Sm	226	443	298	280	460	439	253	84	80	64	239	230	209
Eu	14	20	15	30	24	18	21	26	26	13	50	62	51
Gd	296	519	307	286	539	459	235	121	119	73	271	306	262
Tb	32	91	55	42	77	81	48	14	13	10	44	38	38
Dy	109	443	259	174	308	402	232	52	51	53	199	133	170
Er	60	219	115	77	148	191	90	30	29	31	106	64	99
Pb	36	62	49	28	64	59	28	1	2	1	3	1	1
Bi	262	169	249	238	184	214	226	62	85	82	155	56	117
Th	965	2010	1588	819	1904	1838	801	3	3	2	12	21	6
U	91	308	291	267	201	405	357	42	44	16	100	197	92

DISKUSE A ZÁVĚR

Vesuvian představuje charakteristický a rozšířený minerál skarnizovaných mramorů, skarnoidů a skarnů v prostoru opuštěného Vycpálkova lomu ve Vápenné. Podrobný mineralogický výzkum včetně studia jeho chemického složení prokázalo existenci osmi parageneticky typů vesuvianů (VES 1A-4A a VES 1b-3b,3c s odlišným chemickým složením na dvou lokalitách (SKARN 1 a SKARN 2)

Primární vesuvian VES 1A a jeho alterace VES 1b ze SKARNU 1 se nacházejí v minerální asociaci (I) Cal + Ves + Grs + Di + Wo ± Ep, akcesoricky je zastoupen pyrit, titanit a zirkon. Naproti tomu se primární VES 2A a jeho alterace VES 2b objevují v minerální asociaci (II) Hd + Pl + Qtz + Ves + Grs ± Ep. Vesuvian VES 3A, jeho alterace VES 3b a VES 3c náleží asociaci (III) s Grs + Hd + Ves ± Ep a primární VES 4A náleží asociaci (IV) Ves + Grs + Hd ± Ep (tab. 1), akcesoricky se vyskytuje apatit, titanit, mladší je aktinolitický amfibol, který zatlačuje pyroxeny. V rámci minerálních asociací II – IV jsou patrné 2 fáze vývoje horniny: 1 fázi představuje pyroxen – vesuvian – granátický skarn s křemenem, popř. apatitem a titanitem. Nejstarším minerálem je v něm grossular, v jehož dutinách je vykrystalizovaný vesuvian nebo epidot; krystaly vesuvianu do granátu místy zarůstají. Druhou fázi reprezentuje nížeteplotní prehnitizace, mladší klinozoisit a epidot, které pronikají granáty a vesuvian, a zatlačování Ca-klinopyroxenů aktinolitickým amfibolem (Malý 2016).

Studium chemického složení vesuvianů prokázalo silnou převahu Fe typů nad Mg-vesuviany; valence Fe však nebyla zjišťována. Kromě hlavních prvků stojí za zmínku lokálně zvýšené obsahy Be, Bi, Th, Y, Zr a HREE, podíl B je nízký a P pod mezí detekce.

Primární vesuvian **VES 1A** se od alterace VES 1b odlišuje vyšším obsahem Ti_2O 2,49–3,81 hm. % vs 0,33–0,56 hm. % a hlavně pravidelným obsahem Na_2O (0,12–0,27 hm. %), který v alteraci chybí. Ta má naopak vyšší obsah F (2,23–2,32 hm. %), La a Ce a často vyšší obsah uranu a thoria. Zásadním rozdílem a jedinou výjimkou v rámci studovaných vesuvianů z Vápenné je převaha hořčíku (1,347–1,694 *apfu*) nad železem (1.074–1,159 *apfu*) v alteraci VES 1b.

Vesuviany **VES 2A** a VES2b jeví navzájem mírné rozdíly. U alterace je patrný vyšší obsah Zn (0,14–0,23 ppm), který je u primárního typu VES 2A většinou nulový, mírně zvýšený je i obsah manganu a ojediněle K. Značně vysoký je v alteraci VES 2b obsah železa (5,62–13,23 hm. %) nejvyšší u studovaných vesuvianů, naopak nižší je F (1,29–1,98 hm. %), což je u železnatých vesuvianů obvyklé. Alterace znamená rovněž mírně zvýšený obsah Sn (34–62 ppm) naopak snížení obsahu As, Sr a Sb. Vysoký je obsah Th (1512–3364 ppm), které převládá nad U, rovněž zvýšeným (189–568 ppm).

V rámci vesuvianů jednotlivých typů **VES 3** existují u některých prvků rovněž významné rozdíly (tab. 4 a 8). Oproti primárnímu vesuvianu se alterace VES 3b a VES 3c vyznačují zřetelně nižším obsahem Ti (oproti maximu 1,46 hm. % je nejnižší obsah 0,10 hm. % TiO_2), dále Zn a Na. Alterace tu vedla taky ke zvýšení Fe a zejména Mg, obsah Mn a F kolísá nepravidelně. Ze stopových prvků znamenají alterované vesuviany pokles Li (z maximálně 198 ppm až na 4 ppm) a Be (od 1140 po 83 ppm), nejnižší u VES 3b. Podobné snížení je patrné u Zn, Pb a Bi. Naopak zřetelný je nárůst Zr (od 2–5 až po 39 ppm) a Sn (od 28 do 141 ppm) nejvíce u VES 3b. Za zmínku stojí rozdílné chování uranu a thoria. Zatímco v primárním vesuvianu převládá Th (801–1904 ppm) > U (91–405 ppm), u alterací je tomu opačně, zejména ve VES 3c, kde je poměr Th/U 0,07–0,12 při obsahu U až 197 ppm.

Primární **VES 4** má kolísavý obsah U a Th, přičemž se mění i vzájemný poměr Th/U od 0,67–7,57. Podobně silně kolísá i Bi (59–548 ppm) a Zn (376–588 ppm), v průměru relativně vysoký.

Detailní studium chemického složení vesuvianu z Vápenné prokázalo značnou chemickou variabilitu mezi jednotlivými parageneticky typy primárních a alterovaných vesuvianů. Kolísání většiny prvků včetně REE je spíše nepravidelné, někdy jsou však patrné

zřetelné rozdíly mezi těmito typy. Chemické složení vesuvianu, v porovnání s komplikovanou zonálností jednotlivých zrna a krystalů, dokládá změny ve složení fluidní fáze (aktivita a fugacita jednotlivých komponent, vliv protolitu, apod.) na velmi krátkou vzdálenost (řádově desetiny mm) a to i v rámci růstu jednotlivých zrn. Jde o charakteristický znak vesuvianů, pocházejících z kontaktních vápenatých skarnů (EINAUDI *et al.* 1981, MEINERT 1992, MEINERT *et al.* 2005).

Jako zásadní se do budoucna jeví detailní mikroskopické studium minerální asociace jednotlivých typů zdejších vesuvianů z pohledu možné (re)distribuce prvků mezi jednotlivé minerály při skarnizaci (např. pokles titanu, ale i Al a F ve vesuvianu může být vykompenzován současným růstem titanitu; podobně pokles železa může vést ke zvýšení podílu hedenbergitové složky v klinopyroxenu apod.).

LITERATURA

AICHLER, J., BURIANKOVÁ, K., HANŽL, P., OPLETAL, M., PECINA, V., VEČEŘA, J., ŽÁČEK, V., 2000: Geological mapping of the crystalline complex in the SW part of the Jeseníky Mts., Czech Republic. In Svojtka M: Geolines, 10, 5. – Institute of Geology, Academy of Sciences of the Czech Republic. Praha.

AREM, J. E., 1973: Idocrase (vesuvianite) – A 250-year puzzle. – Mineralogical Record, 4, 164–174.

ARMBRUSTER, T., GNOS, E., DIXON, R., GUTZMER, J., HEJNY, C., DÖBELIN, N., MEDENBACH, O., 2002: manganvesuvianite and tweddillite, two new Mn^{3+}-silicate minerals from the Kalahari manganese fields, South Africa. – Mineralogical Magazine, 66, 137–150.

BRITVIN, S. N., ANTONOV, A. A., KRIVOVICHEV, S. V., ARMBRUSTER, T., BURNS, P. C., CHUKANOV, N. V., 2003: Fluorvesuvianite, $Ca_{19}(Al, Mg, Fe^{2+})_{13}[SiO4]_{10}[Si_2O_7]_4O(F, OH)_9$, a new mineral species from Pitkäranta, Karelia, Russia: Description and crystal structure. – Canadian Mineralogist, 41, 1371–1380.

DEER, W. A., HOWIE, R. A., ZUSSMAN, J., 1997: Rock-forming Minerals. Volume 1A, Orthosilicates. – Geological Society London, 919 p.

EINAUDI, M. T., MEINERT, L. D., NEWBERRY, R. J., 1981: Skarn deposits. – Economic Geology, 75th Anniversary Vol., 317–391.

GNOS E., ARMBRUSTER T., 2006: Relationship among metamorphic grade, vesuvianite "rod polytypism" and vesuvianite composition. – American Mineralogist, 91, 862–870.

GROAT, L. A., HAWTHORNE, F. C., ERCIT, T. S., 1992: The chemistry of vesuvianite. – Canadian Mineralogist, 30, 19–48.

GROAT, L. A., HAWTHORNE, F. C., ERCIT, T. S., 1994: Excess Y-group cations in the crystal structure of vesuvianite. – Canadian Mineralogist, 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. – Canadian Mineralogist, 36, 1301–1304.

HOCHELLA, M. F. jr., LIOU, J. G., KESKINEN, M. J., KIM, H. S., 1982: Synthesis and Stability Relations of Magnesium Idocrase. – Economic Geology, 77, 798–808.

HOUZAR, S., 1996: 200 let vesuvianu a jeho výskyty na Moravě a ve Slezsku. – Minerál 4, 3, 163–164.

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.

CHÁB J., ŽÁČEK V. 1994: Geology of Žulová pluton mantle (Bohemian Massif, Central Europe). – Věstník Českého geologického ústavu, 69, 1–12.

CHÁB, J., BREITER, K., FATKA, O., HLADIL, J., KALVODA, J., ŠIMŮNEK, Z., ŠTORCH, P., VAŠÍČEK, Z., ZAJÍC, J., ZAPLETAL, J., 2008: Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. – Vydavatelství ČGS. Praha, 283 p.

CHLUPÁČ, I., 1989: Fossil communities in the metamorphic Lower Devonian of the Hrubý Jeseník Mts., Czechoslovakia. – N. Jb. Geol. Palaont., Abh., 177, 3, 367–392.

CHUKANOV, N. V., PANIKOROVSKII, T. L., GONCHAROV, A. G., PEKOV, I. V., BELAKOVSKIY, D. I., BRITVIN, S. N., MÖCKEL, S., VOZCHIKOVA, S. A., 2019: Milanriederite,$(Ca, REE)_{19}Fe^{3+}Al_4(Mg, Al, Fe^{3+})_8$ $Si_{18}O_{68}(OH, O)_{10}$, a new vesuvianite-group mineral from the Kombat Mine, Namibia. – European Journal of Mineralogy, 31, 3, 637–646.

JEDLIČKA, J., 1997: Žulovský masiv ve Slezsku – přehled dosavadních znalostí. – Zprávy o geologických výzkumech v roce 1996, 121–123.

Kraczka, J., Żabiński, W., 2003: Mössbauer study of iron in some vesuvianites. – Mineralogia Polonica, 34, 37–44.

Kretz, R., 1983: Symbols for rock-forming minerals. – American Mineralogist, 68, 277–279.

Kruťa, T., 1973: Slezské nerosty a jejich literatura. – Moravské museum, Brno, 415 p.

Losos, Z., Brož, M., 2002: Parageneze a chemismus bimetasomatických kontaktních zón žulovského masivu. – Sborník Mineralogie Českého masivu a Západních Karpat 2002, Univerzita Palackého Olomouc, 59–62.

Losos, Z., Šimčíková, M., 2016: Mineralogická charakteristika a distribuce ilmenitu v titanitu v žulovském masivu. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 10 s.

Malý, J., 2016: Složení minerálů ze skupiny vesuvianu z vybraných lokalit kontaktních skarnů Českého masivu. – MS Diplomová práce, Ústav geologických věd, PřF Masarykova univerzita Brno, 103.

Malý, J., Cempírek, J., Novák, M., 2019: Složení stébelnatého vesuvianu ze skarnoidu od Moravských Bránic (Moravosilezikum). – Acta Musei Moraviae, Scientiae Geologicae, 104, 1, 97–111.

Meinert, L. D., 1992: Skarns and Skarn Deposits. – Geoscience Canada, 19, 4, 145–162.

Meinert, L. D., Dipple, G. M., and Nicolescu, S., 2005: World Skarn Deposits: in Hedenquist, J. W., Thompson, J. F. H., Goldfarb, R. J., and Richards, J. P., eds., – Econ. Geol. 100th Anniversary Volume, Society of Economic Geologists, Littleton, Colorado, USA, Includes supplementary appendices on CD-ROM (filename: Meinert), p. 299–336.

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, page 1037, Eur. J. Mineral. 30 1037–1043. Panikorovskii, T. L., Shilovskikh, V. V., Avdontseva, E. Y., Zolotarev, A. A., Pekov, I. V., Britvin, S. N., Hålenius, U. Krivovichev, S. V., 2017a: Cyprine, $Ca_{19}Cu^{2+}(Al, Mg, Mn)_{12}\ Si_{18}O_{69}(OH)_9$, a new vesuvianite-group mineral from the Wessels mine, South Africa. – European Journal of Mineralogy, 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, $Ca_{19}Al(Al, Mg)_{12}\ Si_{18}O_{69}(OH)_9$, a new vesuvianite-group member from the Jeffrey mine, asbestos, Estrie region, Québec, Canada. – Mineralogy and Petrology, 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, $Ca_{19}Mg\ (Al, Mg)_{12}Si_{18}O_{69}(OH)_9$, a new vesuvianite-group mineral. – Journal of Geosciences, 62, 25–36.

Rybák, J., 1972: Asociace minerálů z kontaktních výskytů v okolí Žulové. – MS, Diplomová práce, Katedra mineralogie a petrografie, Univerzita J. E. Purkyně, Brno.

Schulmann K, Gayer R., 2000: A model for a continental accretionary wedge developed by oblique collision: the NE Bohemian Massif. – Journal Geological Society, London, 157, 401–416.

Šabynin, L. I., 1968: O geochimičeskich uslovijach obrazovanija vezuviana v skarnach. – Geochimija, 10, 1195–1209.

Vávra, V., a Štelcl, J., 2014: Významné geologické lokality Moravy a Slezska. Brno: Masarykova univerzita, 2014, 292 p.

Večeřa J., Skácelová Z., 2006: Ložisková mapa České republiky 1:25 000 s Vysvětlivkami, 14–22 Lipová-lázně. – ČGS Praha, Jeseník, 39 p.

Vylíčil, J., 2013: Vesuvian a minerály skupiny epidotu v bimetasomatických zónách u Žulové, Vápenné a Starého Podhradí. – MS, Diplomová práce, PřF Univerzita Palackého, 1–66.

Xu, J., Li, G., Fan, G., Ge, X., Zhu, X., Shen, G. H., 2017: Hongheite, IMA 2017-027. CNMNC Newsletter No. 39, – Mineralogical Magazine, 81, 1279–1286.

Zachovalová, K. Leichmann, J. Švancara, J., 2002: Žulová Batholith: a post-orogenic, fractionated ilmenite-allanite I-type granite. – Journal of the Czech Geological Society, 47, 1–2, 35–45.

Žáček, V., Čurda, J., Kočandrle, J., Nývlt, D., Pecina, V., Skácelová, D., Skácelová, Z., Sulovský, P., Večeřa, J., 2005: Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25000 14–223 Lipová Lázně, ČGS Praha, 106 p.

INTERNETOVÉ ZDROJE

Česká geologická služba: Geologické a geovědní mapy 1:25 000 [online]. Praha. Česká geologická služba, 2018 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: www.geology.cz/extranet/mapy.