*Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*
82(1997):21–32

# MINERÁLNÍ ASOCIACE VESUVIANU Z KARBONÁTOVÝCH A VÁPENATO-SILIKÁTOVÝCH HORNIN NA MORAVĚ A VE SLEZSKU

MINERAL ASSEMBLAGES INVOLVING VESUVIANITE FROM CARBONATE AND CALC-SILICATE ROCKS IN MORAVIA AND SILESIA

STANISLAV HOUZAR, MILAN NOVÁK & VLADIMÍR ŠREIN

*Abstract*

Houzar, S., Novák, M., Šrein, V., 1997: Minerální asociace vesuvianu z karbonátových a vápenato-silikátových hornin na Moravě a ve Slezsku. *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 82:21–32.

*Mineral assemblages involving vesuvianite from carbonate and calc-silicate rocks in Moravia and Silesia.*

Mineral assemblages and chemical composition of vesuvianite were studied at localities in Moravia and Silesia, Czech Republic. Five distinct rock types were distinguished: (i) reaction zones on the contact of marble and metamorphic rock with contrasting chemical composition; (ii) carbonate and carbonate-silicate rocks along regional faults; (iii) direct intrusive contacts between marble and aplite or pegmatite; (iv) quartz veins and contacts with pegmatite in Fe-skarn; (v) various silicate or carbonate-silicate rocks in contact envelope of large granitoid plutons. Vesuvianite-bearing mineral assemblages commonly include grossular, quartz and calcite, wollastonite and diopside are mostly present. Chemical compositions of vesuvianite, particularly Fe/Mg ratio and Ti contents, vary relative to the individual paragenetic types. Mineral assemblages involving vesuvianite are a typical indicator of high activity of $H_2O$ in metamorphic fluids up to $X_{co2} < 0.03$ in the equilibrium assemblage Ves + Woll.

Key words: vesuvianite, mineral assemblages, chemical composition, Moravia, Silesia, Czech Republic.

Stanislav Houzar, Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 659 37 Brno, Czech Republic.
Milan Novák, Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 659 37 Brno, Czech Republic.
Vladimír Šrein, Institute for Rock Structure and Mechanics, Czech Academy of Science, V Holešovičkách 41, 182 09 Prague, Czech Republic.

## Úvod

Vesuvian je typický vedlejší horninotvorný minerál skarnů, mramorů, kontaktních rohovců, rodingitů, alterovaných alkalických syenitů i jiných hornin bohatých vápníkem (např. Deer et al. 1962, Groat et al. 1992, Allen a Burnham 1992). Na Moravě a ve Slezsku se vyskytuje na řadě lokalit, avšak podrobnější údaje o jeho minerálních asociacích a chemickém složení jsou ojedinělé (Němec 1968, 1979, Staněk a Novák 1978, Houzar a Němec 1985, Matýsek 1993, Novák 1985, 1995). V předložené práci jsou popsány minerální asociace vesuvianu na vybraných lokalitách a je také diskutováno jeho chemické složení a PTX-podmínky vzniku.

## Charakteristika lokalit a hornin s vesuvianem

Výskyty vesuvianu se koncentrují do oblasti moldanubika a jv. části svrateckého krystalinika na západní Moravě (Burkart 1953, Kruťa 1966, Němec 1968, Novák 1985, 1995) a četné lokality existují v kontaktní aureole žulovského plutonu ve Slezsku (Rybák 1972, Kruťa 1973). Další výskyty jsou vázány na exokontakt šumperského granodioritu u Bludova (Neuwirth 1907, Gálová 1996) a relikty krystalinického pláště v západní části brněnského masívu (Novák 1977, 1979, Staněk a Novák 1978). Ojedinělý je výskyt vesuvianu na kontaktu těšínitu s vápnitými jílovci těšínsko-hradišťského souvrství spodní křídy u Krmelína, j. od Ostravy (Matýsek 1993).

V moldanubiku západní Moravy se vesuvian vzácně vyskytuje v reakčních skarnech, tvořících úzké lemy na kontaktu mramoru s metamorfovanými horninami s kontrastním chemickým složením, jako např. s cordieritickými migmatity východního okraje centrálního moldanubického masívu u Vanova a Dyjice u Telče, s migmatitizovanými amfibolity u Mirošova (Novák 1985) a rulami, např. u Petrovic u Nového Města na Moravě a Věžné. Vesuvian je dále charakteristickým minerálem pro nedvědické mramory, které jsou představovány protáhlými úzkými tělesy kalcitických mramorů ve svorech podél v. a sv. okraje svrateckého krystalinika (Němec 1968, 1979, Novák 1987). Zde zatlačuje společně s wollastonitem starší grosular-diopsidové skarny a rohovce v prostředí střižné zóny s mohutným přínosem fluid bohatých vodou a snad i fluorem (Novák 1995). Z lokalit možno uvést Černvír, Nedvědici, Ujčov, Kozlov a Strachujov. Ojedinělý je na kontaktech mramorů s pegmatity u Krasonic (Rosický 1925), a s aplity u Štěpánovic na Třebíčsku. Poněkud hojnější vesuvian byl zjištěn v křemenných hnízdech a žilkách v scheelitem bohatém grossular – hedenbergitovém Fe-skarnu, uloženém v „ostrůvku" rul uprostřed durbachitů třebíčského masívu u Hostákova (Houzar a Němec 1985) a na trhlinách Fe-skarnu při kontaktu plagioklasových pegmatitů u Líšné (Burkart 1953, Staněk 1977).

Na severní Moravě a ve Slezsku je vesuvian hojný na mnoha lokalitách, zvláště v okolí Žulové a Vápenné, kde je vázán na xenolity karbonátových a karbonát-silikátových hornin v žulovském masívu. Je součástí jak spíše izochemicky metamorfovaných vápenatosilikátových rohovců a skarnoidů, tak i infiltračních žilných skarnů a typických zonálních kontaktních skarnů na přímém styku mramoru a granitu. Kromě zrnitých a stébelnatých agregátů tvoří často krystaly v dutinách. Vesuvian může náležet několika generacím a vyskytuje se společně s grossularem (hesonitem), křemenem, epidotem a scheelitem (Kruťa 1973). U Bludova je vázán na tzv. „bludovit", skarnoidní horninu vzniklou v kontaktní aureole šumperského granodioritu (Neuwirth 1907, Kretschmer 1908). Vyskytuje se v různých formách, zarostlý do wollastonitu nebo kalcitu, větší hnědé krystaly jsou zarostlé v křemeni (Gálová 1996).

Poměrně běžným vedlejším minerálem je vesuvian v granát-diopsidických rohovcích tvořících enklávy v granodioritech západní části brněnského masívu u Tetčic, Omic, Ostrovačic a Popůvek (Burkart 1953). U Popůvek jde o reakční skarnové lemy na styku mramoru s pyroxenickými rulami, uzavřené v granodioritu (Novák 1977). Geneticky specifický výskyt je u Moravských Bránic, kde na kontaktu mikroklinizovaných metatektů s pyroxenickými rulami (erlany) vznikly až několik dm mocné polohy skarnů s grossularem, křemenem, vesuvianem, pyroxenem a dalšími minerály (Novák 1977, 1979).

Na základě geologické pozice, geneze hornin a rozdílných minerálních asociací vesuvianu lze rozlišit několik typů výskytů:

1. Reakční lemy na styku mramoru a metamorfované horniny s kontrastním chemickým složením
2. Karbonátové a karbonát-silikátové horniny podél regionálních zlomů
3. Kontakty pegmatitu a aplitu s mramorem
4. Křemenné žíly a kontakty pegmatitů v Fe-skarnech
5. Silikátové a karbonát-silikátové horniny v kontaktních aureolách granitoidních plutonů

## Přehled studovaných vzorků a minerálních asociací vesuvianu

1. Reakční lemy na styku mramoru a metamorfované horniny s kontrastním chemickým složením

Mirošov u Strážku – žlutá až tmavohnědá zrna ve wollastonitové zóně difúzního skarnu na styku mramoru a amfibolitu a v přilehlém kalcitickém mramoru (Novák 1985).

Vanov u Telče – hnědozelený drobně zrnitý vesuvian s oranžově červeným zrnitým grossularem a křemenem v reakčním diopsidickém skarnu v cordieritických migmatitech.

2. Karbonátové a karbonát-silikátové horniny podél regionálních zlomů

Nedvědice – hojný tmavě hnědý a žlutozelený, zrnitý a stébelnatý vesuvian s wollastonitem a modrým kalcitem zatlačuje budiny grossular-diopsidového skarnu v kalcitických mramorech (Němec 1968, Novák 1995).

Strachujov u Jimramova – hnědý zrnitý vesuvian spolu s wollastonitem zatlačuje grosular-pyroxenové skarny, nebo se objevuje jako izolovaná zrna v kalcitickém mramoru doprovázená wollastonitem a křemenem.

3. Kontakty pegmatitu a aplitu s mramorem

Krasonice u Želetavy – hnědý a zelenohnědý, v úzké zóně (Fe-pyroxen + grossular ± scheelit ± wollastonit) na kontaktu Li-pegmatitu, převážně však v přilehlém kalcitickém mramoru s titanitem, křemenem a grossularem.

Štěpánovice u Třebíče – hnědozelené krátce sloupcovité rýhované krystalky v chondroditovém mramoru a zrnité agregáty ve skarnu s Fe-pyroxenem, křemenem, grossularem, fluoritem a scheelitem na styku aplitu a kalcitického mramoru.

4. Křemenné žíly a kontakty pegmatitů v Fe-skarnech

Hostákov u Třebíče – zelenohnědé a hnědé stébelnaté agregáty se scheelitem a fluoritem v prokřemenělém hedenbergitovém skarnu (Houzar a Němec 1985).

Líšná u Nového Města na Moravě – hnědé stébelnaté agregáty vyplňující trhliny regionálně metamorfovaného Fe-skarnu při kontaktu s plagioklasovými pegmatity.

5. Silikátové a karbonát-silikátové horniny v kontaktních aureolách granitoidních masívů

Bludov u Šumperka – převážně hnědý a místy také zonální (hnědý střed – zelené okraje) vesuvian tvoří zrna a téměř 2 cm dlouhé prizmatické krystaly v tenkých polohách a kalcit-křemenných žilách a na okraji drobných hnízd wollastonitu, uložených ve skarnoidní hornině (Gálová 1996).

Žulová – tmavě hnědé stébelnaté agregáty, zrna a drúzy až 2 cm velkých hnědých krystalů v asociaci s křemenem, hessonitem, diopsidem, kalcitem, epidotem a scheelitem v hrubozrnných Ca-skarnech, příp. skarnoidech.

Vápenná (Vycpálkův lom) – hnědozelená až hnědá zrna a stébelnaté agregáty v asociaci s křemenem, hessonitem, diopsidem, kalcitem a epidotem v Ca-skarnech, příp. skarnoidech.

Tetčice u Brna – tmavě hnědé hrubozrnné stébelnaté agregáty v kalcit-pyroxenickém rohovci, místy s grossularem, v granodioritech západní části brněnského masívu.

Popůvky u Brna – tmavě hnědé zrnité agregáty s diopsidem v pyroxenicko-grossularovém skarnu na styku pyroxenické ruly a mramoru a drobné prizmatické krystaly v dutinách s diopsidem, grossularem a albitem (Novák 1977).

Tab. 1. Minerální asociace vesuvianu.
Tab. 1. Vesuvianite-bearing mineral assemblages.

| | |
|---|---|
| Reakční lemy na styku mramoru a metamorfované horniny<br>Reaction zones on the contact of marble and metamorphic rock | |
| Mirošov | Ves + Wo + Cpx |
| | Ves + Cal |
| Vanov | Ves + Grs + Qtz |
| Karbonátové a karbonát – silikátové horniny podél regionálních zlomů<br>Carbonate and carbonate-silicate rocks along regional faults | |
| Nedvědice | Ves + Wo + Cal |
| | Ves + Grs + Di |
| Strachujov | Ves + Grs + Di |
| | Ves + Qtz + Cal ± Wo |
| Kontakty pegmatitu a aplitu s mramorem<br>Contacts between marble and pegmatite or aplite | |
| Krasonice | Ves + Grs + Cal ± Wo |
| | Ves + Cpx + Grs |
| Štěpánovice | Ves + Qtz + Fl + Grs ± Cpx |
| Křemenné žíly a kontakty pegmatitů v Fe-skarnech<br>Quartz veins and contacts with pegmatite in Fe-skarn | |
| Hostákov | Ves + Qtz + Fl |
| | Ves + Qtz + Grs |
| Líšná | Ves + Cal + Qtz |
| | Ves + Grs + Qtz ± Fl |
| Silikátové a karbonát – silikátové horniny v kontaktních aureolách granitoidních masívů<br>Various silicate or carbonate-silicate rocks in contact aureole of granitoid plutons | |
| Žulová | Ves + Qtz + Grs + Cpx ± Ep |
| | Ves + Wo |
| Vápenná | Ves + Qtz ± Cpx |
| | Ves + Grs + Cpx ± Ep |
| Bludov | Ves + Qtz + Cal |
| | Ves + Grs + Cpx |
| | Ves + Wo |
| Tetčice | Ves + Cal + Cpx ± Grs |
| Popůvky | Ves + Grs + Cpx ± Wo |
| Moravské Bránice | Ves + Qtz + Grs + Ab + Kfs |

* Pozn.: Zkratky minerálů jsou uváděny podle Kretze (1983).

Moravské Bránice u Dolních Kounic – hnědé stébelnaté agregáty a dokonale vyvinuté krystaly v dutinách skarnů s grosularem, křemenem, albitem, K-živcem a scheelitem na kontaktu mikroklinických metatektů a diopsidických rohovců (Novák 1979).

## Chemické složení vesuvianu

Obecný vzorec vesuvianu je $X_{19}\ Y_{13}\ Z_{18}\ T_{0-5}\ O_{68}\ W_{10}$, kde X = Ca, Na, REE, Pb, Sb Y = Al, Mg, Fe, Ti, Mn, Cu, Zn, Z = Si, T = B, W = OH, F, O. Zvláště v pozici Y se vesuviany vyznačují komplexními substitucemi, které podstatně ovlivňují kolísání složení vesuvianu v jednotlivých minerálních asociacích. Hlavní substituce v pozici Y zahrnují homovalentní $Fe^{2+}$ = Mg a $Al^{3+}$ = $Fe^{3+}$, poměrně rozšířená je také heterovalentní substituce 2 ($Al+Fe^{3+}$) = Ti + (Mg+Fe+Mn). V pozici X je jen místy zastoupena nevýrazná substituce Ca = 2 Na, v pozici W je běžná substituce F = OH. Vesuvian se zvýšeným obsahem B je charakterizován heterovalentní substitucí B + Mg = 2H + Al. Analýzy bez stanovení F a valence Fe je nutno považovat za nekompletní a pro diskusi podmínek stability vesuvianu jsou omezeně použitelné (Groat et al. 1992).

Chemické analýzy byly zhotoveny pomocí rentgenového mikroanalyzátoru Jeol JXA-50A v GÚ AV ČR (analytici A. Langrová, M. Kozumplíková a L. Thin). Analýzy byly provedeny za těchto podmínek: napětí 20 kV, intenzita 2–3 nA, čas měření 30 s, průměr elektronového svazku 2 mikrony a použití korekčního programu ZAF. Homogenita analyzovaných míst byla ověřena EDAXem i pomocí nastavených spektrometrů. Jako standardy byly použity silikáty leucit – K, diopsid – Ca, jadeit – Na a syntetické sloučeniny $SiO_2$, $TiO_2$, MgO, $Mn_3O_4$, $Fe_2O_3$, a $Al_2O_3$.

Všechny analýzy studovaných vesuvianů (celkem 57) byly rozpočteny na 50 kationtů a srovnány se statisticky významným souborem vesuvianů světových lokalit (Groat et al. 1992). Z něj vyplývá, že obsahy kationtů studovaných vesuvianů odpovídají dobře obecné formuli $X_{19}\ Y_{13}\ Z_{18}\ O_{68}\ W_{10}$. U některých analýz se zdá být mírně podhodnocen Ca v X pozici (průměr 18,7) a nadhodnocen Si v pozici Z (18,2).

Podrobněji jsou diskutovány obsahy Ti, Fe, Mn, Mg a Na, které se s výjimkou Na všechny zúčastňují komplexních substitucí v pozici Y. Variace v chemickém složení vesuvianu jednotlivých parageneticky typů jsou uvedeny v tabulce 3.

Vesuviany z reakčních lemů v metamorfitech se vyznačují v průměru vysokým obsahem Mg, přičemž vesuviany s nejvyšším Mg pocházejí z exokontaktu nebo přímo z mramoru (Mirošov). Obsahy Fe mohou být lokálně vyšší, jako např. u vesuvianu, pocházejícího z grossularové asociace z Vanova. Dále je charakteristický nízký obsah Ti, Mn a Na. Vesuvian z nedvědických mramorů, vyskytující se převážně v asociaci s wollastonitem a modrým kalcitem, se vyznačuje vedle výrazné převahy Mg nad Fe (tab. 2) zvláště vysokým obsahem Ti, který odpovídá spíše hodnotám z vesuvianů alterovaných alkalických syenitů (Groat et al. 1992). Zdroj Ti není příliš jasný, zatlačovaný grossular obsahuje jen okolo 0,5 % $TiO_2$. Poněkud anomální je jeden ze vzorků ze Strachujova s nízkým obsahem Ti (0,04 apfu = atomů ve vzorci) a relativně vysokým obsahem Na (0,23 apfu).

Analyzované vesuviany z bezprostředních kontaktů kalcitických mramorů s pegmatity (Krasonice) a aplity (Štěpánovice) mají mírnou převahu Fe nad Mg (tab. 3). Svým složením jsou podobné vesuvianům ze srovnatelných paragenezí v oblasti kontaktní aureoly žulovského masívu.

V regionálně metamorfovaných Fe bohatých skarnech byl zjištěn Fe-vesuvian, poměrně chudý Mg, jehož chemické složení odráží složení okolní horniny. Hostákovský vesuvian je zároveň relativně bohatý Mn, podobně jako tamější hedenbergit (Houzar

Tab. 2. Reprezentativní analýzy vesuvianů.
Tab. 2. Representative analyses of vesuvianites.

| | Mirošov | Vanov | Nedvědice | | Strachujov | | Krasonice | | Štěpánovice | Líšná | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 36,57 | 36,65 | 37,21 | 37,10 | 36,78 | 36,78 | 36,81 | 37,28 | 36,57 | 37,20 | 36,82 |
| $TiO_2$ | 0,57 | 0,13 | 3,50 | 3,49 | 2,12 | 0,11 | 0,94 | 1,15 | 1,15 | 0,65 | 0,40 |
| $Al_2O_3$ | 18,09 | 17,77 | 16,13 | 16,12 | 15,80 | 17,27 | 17,94 | 17,98 | 17,07 | 17,03 | 15,50 |
| FeO | 0,57 | 2,98 | 1,40 | 1,54 | 2,86 | 2,26 | 3,68 | 3,62 | 3,74 | 5,89 | 5,83 |
| MnO | 0,01 | 0,12 | 0,02 | 0,05 | 0,16 | 0,15 | 0,12 | 0,14 | 0,22 | 0,12 | 0,39 |
| MgO | 2,82 | 1,67 | 2,49 | 2,66 | 1,85 | 2,87 | 1,44 | 1,45 | 1,71 | 0,86 | 1,38 |
| CaO | 35,81 | 34,96 | 35,47 | 35,42 | 35,77 | 35,80 | 35,72 | 35,49 | 35,61 | 35,29 | 36,01 |
| $Na_2O$ | 0,01 | 0,07 | 0,01 | 0,01 | 0,18 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,06 | 0,08 | 0,06 |
| $K_2O$ | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 |
| TOTAL | 94,45 | 94,35 | 96,25 | 96,40 | 95,53 | 95,24 | 97,88[a] | 98,42[b] | 96,13 | 97,12 | 96,41 |
| $Si^{4+}$ | 18,03 | 18,26 | 18,28 | 18,19 | 18,05 | 18,41 | 18,00 | 18,16 | 17,98 | 18,23 | 18,16 |
| $Ti^{4+}$ | 0,21 | 0,05 | 1,29 | 1,29 | 0,04 | 0,80 | 0,35 | 0,42 | 0,43 | 0,24 | 0,15 |
| $Al^{3+}$ | 10,51 | 10,43 | 9,34 | 9,31 | 9,99 | 9,32 | 10,34 | 10,32 | 9,89 | 9,84 | 9,01 |
| $Fe^{2+}$ | 0,24 | 1,24 | 0,58 | 0,63 | 0,93 | 1,20 | 1,51 | 1,47 | 1,54 | 2,41 | 2,41 |
| $Mn^{2+}$ | 0,01 | 0,05 | – | 0,02 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,05 | 0,16 |
| $Mg^{2+}$ | 2,07 | 1,24 | 1,82 | 1,94 | 2,10 | 1,38 | 1,05 | 1,05 | 1,25 | 0,63 | 1,02 |
| $Ca^{2+}$ | 18,92 | 18,66 | 18,67 | 18,60 | 18,83 | 18,87 | 18,71 | 18,52 | 18,76 | 18,53 | 19,03 |
| $Na^{+}$ | 0,01 | 0,07 | 0,01 | 0,01 | – | 0,18 | 0,01 | – | 0,07 | 0,08 | 0,06 |
| $K^{+}$ | – | – | 0,01 | 0,01 | – | 0,01 | – | – | – | – | 0,01 |
| O | 73,50 | 73,52 | 74,23 | 74,12 | 73,09 | 73,78 | 75,14 | 75,49 | 73,49 | 73,35 | 72,78 |

[a] zahrnuje také 2,11 hm.% F, including 2.11 wt.% F
[b] zahrnuje také 2,27 hm.% F, including 2.27 wt.% F
Analýzy rozpočteny na 50 kationtů.
Formula contents on the basis of 50 cations.

Tab. 2. Reprezentativní analýzy vesuvianů (pokračování).
Tab. 2. Representative analyses of vesuvianites (continued).

| | Hostákov | | Vápenná | | Žulová | Bludov | Tetčice | Popůvky | | Moravské Bránice |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 37,03 | 36,79 | 36,45 | 37,06 | 37,23 | 37,51 | 36,19 | 36,51 | 36,71 | 37,35 |
| $TiO_2$ | 1,26 | 0,09 | 0,18 | 0,67 | 0,61 | 1,80 | 3,01 | 3,06 | 1,97 | 1,67 |
| $Al_2O_3$ | 15,12 | 16,88 | 17,81 | 16,07 | 17,13 | 16,24 | 16,52 | 16,06 | 17,73 | 17,16 |
| FeO | 5,77 | 6,31 | 4,57 | 5,46 | 3,39 | 4,14 | 4,35 | 4,57 | 4,40 | 3,77 |
| MnO | 0,35 | 0,63 | 0,15 | 0,30 | 0,02 | 0,19 | 0,13 | 0,04 | 0,07 | 0,03 |
| MgO | 1,24 | 0,46 | 1,24 | 1,04 | 2,19 | 1,29 | 1,42 | 1,13 | 1,20 | 1,45 |
| CaO | 35,96 | 35,52 | 35,03 | 35,88 | 35,76 | 35,55 | 34,92 | 35,02 | 35,45 | 35,48 |
| $Na_2O$ | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,11 | 0,14 |
| $K_2O$ | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| TOTAL | 96,80 | 96,75 | 95,51 | 96,54 | 96,37 | 96,74 | 96,57 | 96,42 | 97,65 | 97,07 |
| $Si^{4+}$ | 18,26 | 18,13 | 18,04 | 18,27 | 18,18 | 18,45 | 17,87 | 18,10 | 17,85 | 18,22 |
| $Ti^{4+}$ | 0,47 | 0,03 | 0,07 | 0,25 | 0,22 | 0,67 | 1,12 | 1,14 | 0,72 | 0,61 |
| $Al^{3+}$ | 8,79 | 9,81 | 10,39 | 9,34 | 9,86 | 9,41 | 9,61 | 9,38 | 10,16 | 9,88 |
| $Fe^{2+}$ | 2,38 | 2,60 | 1,89 | 2,25 | 1,39 | 1,70 | 1,80 | 1,90 | 1,79 | 1,54 |
| $Mn^{2+}$ | 0,15 | 0,26 | 0,06 | 0,13 | 0,01 | 0,08 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,01 |
| $Mg^{2+}$ | 0,91 | 0,34 | 0,92 | 0,76 | 1,59 | 0,95 | 1,05 | 0,84 | 0,87 | 1,06 |
| $Ca^{2+}$ | 19,00 | 18,76 | 18,57 | 18,95 | 18,71 | 18,73 | 18,48 | 18,60 | 18,47 | 18,55 |
| $Na^{+}$ | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,10 | 0,13 |
| $K^{+}$ | 0,01 | – | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| O | 73,09 | 73,04 | 73,26 | 73,16 | 73,32 | 73,81 | 73,78 | 73,92 | 73,60 | 73,70 |

Analýzy rozpočteny na 50 kationtů.
Formula contents on the basis of 50 cations.

a Šrein 1993). Obsahy Ti a Na kolísají v rozmezí odpovídajícím ostatním studovaným paragenetickým typům.

V asociacích rohovců, skarnoidů a infiltračních skarnů v kontaktních aureolách plutonů, se vyskytuje vesuvian značně proměnlivého chemismu, celkově však s převahou Fe > Mg. Vyšší obsahy Ti vykazují především hnědé vesuviany, jako např. vesuvian z Bludova a Popůvek (až 1,17 Ti apfu). V oblasti Žulové jsou obsahy Ti nižší (obvykle do 0,46 apfu). Velmi chudý Ti je jeden vzorek vesuvianu z Tetčic u Brna (0,004 apfu). Obsahy Mn kolísají, nejvyšší obsah (0,17 apfu) má vesuvian z Žulové. Vesuvian od Moravských Bránic (Novák 1979) má zvýšený obsah Na (0,13 apfu) (Staněk a Novák 1978).

Tab. 3. Zastoupení vybraných prvků ve vesuvianech (jako apfu).
Tab. 3. Compositional variation of selected elements in vesuvianites (in apfu).

| | n | Ti | Al | Fe | Mn | Mg | Na |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (i) | 6 | 0,03–0,25 | 10,41–10,52 | 0,24–1,27 | 0,01–0,05 | 1,20–2,10 | 0,00–0,08 |
| (ii) | 12 | 0,04–1,41 | 9,10–10,00 | 0,58–1,40 | 0,00–0,19 | 1,34–2,10 | 0,00–0,23 |
| (iii) | 6 | 0,35–0,45 | 9,75–10,34 | 1,47–1,79 | 0,05–0,06 | 1,02–1,25 | 0,00–0,09 |
| (iv) | 9 | 0,03–0,47 | 9,01–10,00 | 2,14–2,68 | 0,05–0,26 | 0,34–1,02 | 0,03–0,08 |
| (v) | 24 | 0,01–1,17 | 8,82–10,39 | 1,25–2,25 | 0,00–0,17 | 0,72–1,80 | 0,00–0,13 |

(i) Reakční lemy na styku mramoru a metamorfované horniny; reaction zones on the contact of marble and metamorphic rock.
(ii) Karbonátové a karbonát–silikátové horniny podél regionálních zlomů; carbonate and carbonate-silicate rocks along regional faults.
(iii) Kontakty pegmatitu a aplitu s mramorem; contacts between marble and pegmatite or aplite.
(iv) Křemenné žíly a kontakty pegmatitů v Fe-skarnech; quartz veins and contacts with pegmatite in Fe-skarn.
(v) Silikátové a karbonát – silikátové horniny v kontaktních aureolách granitoidních masívů; various silicate or carbonate-silicate rocks in contact aureole of granitoid plutons.

U malé části vesuvianu byl stanoven také F (tab. 4). Jeho obsah je ve většině analýz poměrně vysoký, u vesuvianu z Moravských Bránic dokonce jeden z nejvyšších dosud zjištěných (srovnej Groat et al 1992).

## PTX-podmínky vzniku vesuvianu

Experimentální studium stability vesuvianu prokázalo, že minerální asociace s vesuvianem představují velmi spolehlivý indikátor fluidní fáze bohaté $H_2O$. Vesuvian je ale stabilní v poměrně širokém teplotním a pravděpodobně i tlakovém intervalu, teploty zhruba od 350° do zhruba 700 °C a tlak vyšší než 100 MPa (Hochella et al. 1982, Valley et al. 1985). Experimentální práce jsou však omezeny na Mg-vesuvian. Proto může být topologie reakcí použitých v této diskusi částečně odlišná v závislosti na termodynamických datech použitých k výpočtům. Širší pole stability vesuvianu v přírodních podmínkách je ovlivněno složitými substitucemi ve vesuvianu, hlavně uplatněním F, $Fe^{2+}$, $Fe^{3+}$ a $Ti^{4+}$ (např. Kerrick et al. 1973, Hochella et al. 1982, Valley et al. 1985, Labotka et al. 1988, Labotka 1991, Groat et al. 1992).

Rovnovážná asociace vesuvianu, Ves + Qtz + Grs ± Cpx odpovídá poměrně širokému poli stability za T < 600 °C a signalizuje podmínky relativně vysoké aktivity $H_2O$, při $X_{co2} < 0,1$; pokud minerály obsahují více Fe, zvyšuje se teplota stability dané asociace až na minimálně 650 °C a $X_{co2}$ na zhruba 0,2 (Kerrick et al. 1973). Také vyšší aktivita F ve fluidech může pole jeho stability posunout do oblasti vyšších T i $X_{co2}$ (Šabynin 1968).

Fluida extrémně bohatá $H_2O$ jsou nutná pro existenci rovnovážné asociace Ves + Wo ($X_{co2}$ < 0,03), teplotní interval stability této asociace je ale značný, od zhruba 350 °C do více než 600 °C (Hochella et al. 1982).

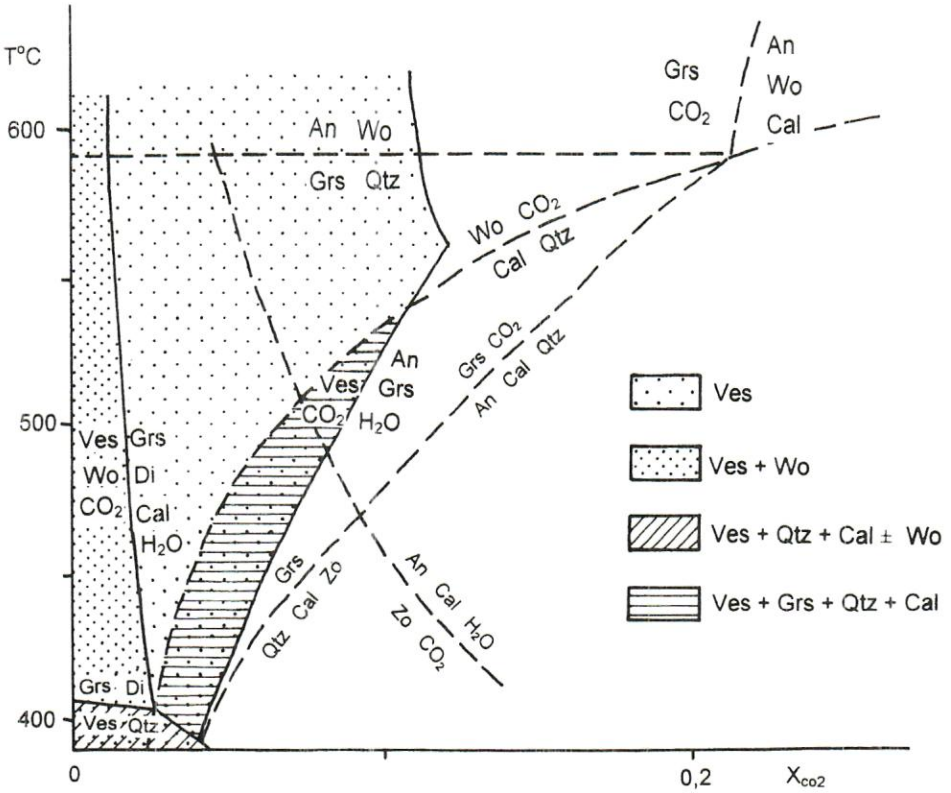
Stabilita rovnovážné asociace Ves + Qtz je podle experimentálních údajů i termodynamických výpočtů omezena na fluida s $X_{co2}$< 0,06 za T < 400 °C při $P_f$ = 200 MPa (Valley et al 1985). V přírodě ale byly zaznamenány výskyty asociace Ves + Qtz v podmínkách amfibolitové facie a facie amfibolických rohovců při T > 400 °C (Trommsdorff 1968, Kerrick et al. 1973).

Na základě předešlé diskuse je asociace vesuvianu Ves + Grs + Qtz + Cal ± Woll ± Cpx, vyskytující se na většině studovaných lokalit, stabilní v poměrně širokém teplotním intervalu za působení fluid relativně bohatých $H_2O$ (obr. 1).

Tab. 4. Chemické složení vybraných vesuvianů.
Tab. 4. Chemical composition of selected vesuvianites.

| | Krasonice 1 | Hostákov 2 | Vápenná 3 | Mor. Bránice 4 |
|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 37,05 | 36,90 | 35,95 | 36,46 |
| $TiO_2$ | 1,16 | 0,82 | 1,21 | 1,99 |
| $Al_2O_3$ | 17,92 | 16,91 | 16,46 | 15,35 |
| $Fe_2O_3$ | n.d. | 1,66 | 3,46 | 1,42 |
| FeO | 3,68 | 3,57 | 1,67 | 3,36 |
| MnO | 0,13 | 0,31 | 0,20 | 0,14 |
| MgO | 1,41 | 1,70 | 0,85 | 1,61 |
| CaO | 35,87 | 34,48 | 36,47 | 35,61 |
| $Na_2O$ | 0,00 | 0,08 | 0,19 | 0,00 |
| $K_2O$ | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,00 |
| $H_2O$ | 2,33** | 1,63 | 2,28** | 2,09 |
| F | 2,00 | 2,20 | 1,04 | 3,73 |
| O=F | –0,98 | –0,93 | –0,44 | –1,57 |
| TOTAL | 100,57 | 99,34 | 99,35 | 100,19 |
| $Si^{4+}$ | 17,882 | 18,156 | 17,739 | 17,663 |
| $Ti^{4+}$ | 0,421 | 0,303 | 0,449 | 0,725 |
| $Al^{3+}$ | 10,194 | 9,806 | 9,572 | 8,764 |
| $Fe^{3+}$ | – | 0,615 | 1,285 | 0,518 |
| $Fe^{2+}$ | 1,485 | 1,469 | 0,689 | 1,361 |
| $Mn^{2+}$ | 0,053 | 0,129 | 0,084 | 0,057 |
| $Mg^{2+}$ | 1,015 | 1,247 | 0,625 | 1,163 |
| $Ca^{2+}$ | 18,549 | 18,177 | 19,281 | 18,484 |
| $Na^{+}$ | – | 0,076 | 0,182 | – |
| $K^{+}$ | – | 0,006 | 0,013 | – |
| $OH^{-}$ | 6,443 | 5,350 | 7,504 | 6,754 |
| $F^{-}$ | 3,557 | 3,424 | 1,623 | 5,715 |
| $O^{2-}$ | 74,443 | 74,576 | 76,377 | 72,285 |
| CATSUM | 49,600 | 49,985 | 49,917 | 48,736 |

** vypočteno ze stechiometrie, OH + F = 10
** calculated from stoichiometry, OH + F = 10
Analýza rozpočtena na 78 anionů
Formula contents on the basis of 78 anions
(1) tato práce, (2) Houzar a Němec (1985), (3) Rager a Zabinski (1995), (4) Staněk a Novák (1978).




Obr. 1. Schematický T – $X_{co2}$ diagram vybraných reakcí v systému CMAS-$H_2O$-$CO_2$ při Pfluid = Pcelk. = 200 MPa (upraveno podle Valleyho et al. 1985 a Labotky et al. 1988)

Fig. 1. Schematic T – $X_{co2}$ diagram showings selected reactions in the system CMAS-$H_2O$-$CO_2$ at Pfluid = Ptotal = 200 MPa (modified from Valley et al. 1985 and Labotka et al. 1988).

Rovnovážná asociace Ves + Wo v mramorech indikuje fluida extrémně bohatá $H_2O$, s $X_{co2}$ < 0,03, teplota ale kolísá v širokém intervalu. Typickou lokalitou tohoto typu je Nedvědice, kde wollastonitem bohatý mramor s touto asociací vznikl ve střižné zóně, která patrně usnadnila migraci fluid bohatých $H_2O$ a F (Novák 1995).

Vesuvian v křemenných žilách nebo křemenem bohatých polohách z kontaktních skarnů a skarnoidů (Žulová, Vápenná, Bludov) představuje relativně pozdní minerál vznikající ve spíše retrográdní fázi kontaktní nebo regionální metamorfózy za teplot kolem 400 °C i a nižších. Za podobných podmínek pravděpodobně vznikal i vesuvian v asociaci s křemenem, fluoritem a Al-titanitem (Novák et al. 1990). V souladu s chemickým složením prostředí je velmi chudý Mg.

Obecně lze konstatovat, že vesuvian studovaných hornin vzhledem k svému postavení v minerální asociaci i experimentálně stanoveným podmínkám stability může signalizovat např. přínos $H_2O$-bohatých fluid z magmatitů (v případě přímých kontaktů) do kontaktních hornin, nebo dehydratační metamorfní reakce v okolních horninách uvolňující značné množství $H_2O$ spojené s lokální migrací $H_2O$ v metamorfitech, např. na styku hornin s kontrastním složením.

## Závěr

Studium vesuvianu z moravských a slezských lokalit prokázalo existenci chemicky odlišných variet vesuvianu. Z Mirošova pochází Mg-vesuvian v asociaci s wollastonitem, vázaný na vnější zónu reakčního skarnu. Z Fe-skarnů u Hostákova a Líšné pochází Fe-vesuvian. Vesuvian z Nedvědice, Bludova a z Popůvek je relativně bohatý Ti. Vesuvian z Moravských Bránic má neobyčejně vysoký obsah F (Staněk a Novák 1978).

Studované minerální asociace s vesuvianem lze rozdělit na tři skupiny, které se odlišují stabilitou v různých podmínkách: (i) Ves + Grs + Qtz ± Cal ± Cpx ± Ep, (ii) Ves + Wo, (iii) Ves + Qtz. První skupina (i), typická pro kontaktní aureoly granitoidních plutonů a některé metamorfity, má široké pole stability za T < 600 °C při $X_{co2}$ < 0,1, příp. < 0,2. Rovnovážná asociace (ii) je nejvzácnější a omezená na specifické podmínky systému CMAS ($H_2O$-$CO_2$) otevřeného pro $CO_2$ za různé T. Rovnovážná asociace (iii) je omezena na T < 400 °C, velmi nízký $X_{co2}$ < 0, 05 a jde o typickou pozdní hydrotermální až trhlinovou asociaci skarnoidních hornin (obr. 4).

Celkově lze konstatovat, že vesuvian slouží jako spolehlivý indikátor vysoké aktivity $H_2O$ během metamorfních pochodů a většinou indikuje přínos fluid bohatých $H_2O$, popř. F z okolních hornin.


## SUMMARY

Mineral assemblages and chemical composition of vesuvianite were studied at localities in Moravia and Silesia, Czech Republic. Based on the position of vesuvianite in geological evolution and its mineral assemblages, five distinct rock types were distinguished: (i) reaction zones on the contact of marble and metamorphic rock with contrasting chemical composition; (ii) carbonate and carbonate-silicate rocks along regional faults; (iii) direct intrusive contacts between marble and aplite or pegmatite; (iv) quartz veins and contacts with pegmatite in Fe-skarn; (v) various silicate or carbonate-silicate rocks in contact aureole of large granitoid plutons. Vesuvianite-bearing mineral assemblages commonly include grossular, quartz and calcite; other typical minerals wollastonite and diopside are absent in localities from Fe-skarn, wollastonite is absent also in most silicate rocks from contact aureoles. Hedenbergite, epidote, feldspars, fluorite and scheelite are additional associated minerals.

Chemical composition of vesuvianite is rather variable in the individual paragenetic types. Vesuvianite from (i) reaction zones exhibits Mg > Fe and low Ti contents. Vesuvianite from quartz veins and pegmatites in Fe-skarn (iv) shows Fe > Mg and locally elevated Mn. Vesuvianite from the other paragenetic types are rather similar with dominant Fe > Mg and rare Mg > Fe compositions, variable Ti contents, elevated particularly in dark brown vesuvian. Rare data concerning F contents indicated high F up to 5.72 apfu in vesuvianite from Moravské Bránice.

The individual mineral assembalges exhibit variable PTX conditions. Widespread assemblage Ves + Grs + Qtz + Cpx + Woll + Cal is stable in the interval from 450° to 650 °C, and $X_{co2}$ < 0.2. Rare eqilibrium assemblage Ves + Woll from the Nedvědice marbles suggests extremely low $X_{co2}$ < 0.03, but wide temperature range from 350 °C to about 650 °C. The equilibrium assemblage Ves + Qtz found in quartz veins indicates low temperature T < 400 °C and $X_{co2}$ < 0.06.


## LITERATURA


ALLEN, F. M., BURNHAM, CH. W., 1992: A comprehensive structure model for vesuvianite: symmetry variations and crystal growth. – Canad. Mineralogist, 30:1–18.

BURKART, E., 1953: Moravské nerosty a jejich literatura. Mährens Minerale und ihre Literatur. – Nakl. ČSAV Praha.

DEER, W. A., HOWIE, R. A., ZUSSMAN, M. A., 1962: Rock-forming minerals. Ortho- and Ring Silicates. – Longmans, London, 370 p.

GÁLOVÁ, M., 1996: Mineralogické a petrografické studium vápenato-silikátových hornin z Bludova. MS, Dipl. práce MU Brno, 1–59.

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

HOCHELLA, M. F., LIOU, J. G., KESKINEN, M. J., KIM, H. S., 1982: Synthesis and Stability Relations of Magnesium Idocrase. – Econ. Geol., 77:798–807.

HOUZAR, S., NĚMEC, D., 1985: Skarn se scheelitovým zrudněním u Hostákova na Třebíčsku. – Čas. Mineral. Geol. 30, 4:409–415.

HOUZAR, S., ŠREIN, V., 1993: Chemismus pyroxenů a granátů z hostákovského skarnu. – Přírod. Sbor. Západomorav. muz., Třebíč, 19:7–12.

KERRICK, D. E., CRAWFORD, K. E., RANDAZZO, A. F., 1973: Metamorphism of calcareous rocks in three roof pendants in the Sierra Nevada, California. – J. Petrology, 14:303–325.

KRETSCHMER, F., 1908: Die Petrographie und Geologie der Kalksilikatfelse in der Umgebung von Mähr.-Schönberg. Jahrb. d. k.k. geol. Reichsanstalt, 58, 3:527–571.

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

KRUŤA, T., 1966: Moravské nerosty a jejich literatura 1940–1965. Moravské muzeum, Brno.

KRUŤA, T., 1973: Slezské minerály a jejich literatura. – Moravské muzeum, Brno, 1–414.

LABOTKA, T. C., 1991: Chemical and Physical Properties of fluids. – In: Kerrick, D. D. ed.: Contact metamorphism, Reviews in Mineralogy, 26, Mineral. Soc. Amer., 43–104.

LABOTKA, T. C., NABELEK, P. I. PAPIKE, J. J., 1988: Fluid infiltration through the Big Horse Limestone Member in the Notch Peak contact-metamorphic aureole, Utah. – Amer. Mineralogist, 73: 1302–1324.

MATÝSEK, D., 1993: Kontaktní metamorfóza spojená s intruzí hornin těšínitové asociace na lokalitě Krmelín. – Acta Mus. Moraviae, Sci. nat., 77(1992):29–39.

NĚMEC, D., 1968: Paragenetische Verhältnisse der Kalksilikatefelse von Nedvědice (Westmähren) und ihre Genese. – N. Jb. Miner. Abh., 108:52–68.

NĚMEC, D., 1979: Zinnbringende Orthogneise im Süden der Antiklinale von Svratka (nordwestlich Brno) und ihre Erzmineralisierung. – Z. geol. Wiss., 7, 12:1437–1447.

NEUWIRTH, V., 1907: Die Kontaktminerale von Blauda in Mähren. – Zeitschr. mähr. Landesmus., 7, 2:125–133.

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. – Rigorózní práce, UJEP Brno, katedra mineralogie a petrografie, 1–45.

NOVÁK, M., 1985: Zonální reakční skarn mezi mramorem a amfibolitem z Mirošova u Strážku, západní Morava. – Acta Mus. Moraviae, Sci. nat. 70:7–23.

NOVÁK, M., 1987: Metamorfované karbonátové horniny při severovýchodním okraji moldanubika. – Acta Mus. Morav., Sci. nat., 79:5–28. Brno.

NOVÁK, M., 1995: Minerální asociace wollastonit + vesuvian v nedvědických mramorech a její petrogenetický význam. – Geol. výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1994, 2:103–104.

NOVÁK, M., ŠREIN, V., HOUZAR, S., 1990: Chemical composition of titanite from various calc-silicate rocks and associated pegmatites in the eastern part of the Moldanubicum, western Moravia. – Acta Mus. Moraviae, Sci. nat., 75:3–20.

RAGER, H., ZABINSKI, W., 1995: $Fe^{3+}$ in vesuvianite from Žulová (Czech Republic) studied by single crystal electron paramagnetic resonance (EPR). – N. Jb. Miner. Mh., 6:264–272.

ROSICKÝ, V., 1925: Mineralogické zprávy z Moravy (Idokras od Kyprova mlýna u Krasonic). – Čas. Morav. zem. muz., 22–23: 138–158.

RYBÁK, J., 1972: Asociace minerálů z kontaktních výskytů v okolí Žulové. – MS, Dipl. práce přírod. fak. UJEP v Brně, 1–69.

STANĚK, J., 1977: Pegmatites from skarn near Líšná, western Moravia. – Acta Univ. Carol., Geologica, Slavík Vol., 1–2: 145–149.

STANĚK, J., NOVÁK, M., 1978: Vesuvian z erlánu od Moravských Bránic. – Scr. Fac. Sci. Natur. UJEP Brun., Geologia, 8:19–26.

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

TROMMSDORFF, V. V., 1968: Mineralreaktionen mit Wollastonit und Vesuvian in einem Kalksilikatfels der Alpinen Distenzone. – Schweiz. miner. petrogr. Mitt., 48:655–666.

VALLEY, J. W., PEACOR, D. R., BOWMAN, J. R., ESSENE, E. J., ALLARD, M. J., 1985: Crystal chemistry of a Mg-vesuvianite and implications of phase equilibria in the system $CaO$-$MgO$-$Al_2O_3$-$SiO_2$-$H_2O$-$CO_2$. – J. Metamorphic Geol., 3:137–153.