



UNIVERZITA
PALACKÉHO
V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE

**Vesuvian a minerály skupiny epidotu v
bimetasomatických zónách u Žulové, Vápenné a
Starého Podhradí**

Bc. Jakub Vylíčil

Studijní obor: Učitelství chemie pro SŠ, učitelství geologie a ochrany
životního prostředí (N1407)

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Jiří Zimák, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně podle pokynů vedoucího práce a s použitím literárních zdrojů uvedených v seznamu literatury.

V Olomouci, dne 28. 6. 2013

.....

Jakub Vylíčil

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce doc. Jiřímu Zimákovi za věcné připomínky, rady a trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu katedry doc. Ondřejovi Bábkovi za možnost dostudování a za věcné rady se studiem spojené. Rovněž chci poděkovat své rodině a svým nejbližším přátelům za poskytnutou podporu. Největší dík patří mé přítelkyni Mgr. Haně Malečkové, bez jejíž podpory by práce nikdy nevznikla.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora:	Bc. Jakub Vylíčil
Název práce:	Vesuvian a minerály skupiny epidotu v bimetasomatických zónách u Žulové, Vápenné a Starého Podhradí
Typ práce:	Diplomová práce
Pracoviště:	Katedra geologie
Vedoucí práce:	doc. RNDr. Jiří Zimák, CSc.
Rok obhajoby práce:	2013
Jazyk:	český

Abstrakt:

Diplomová práce je členěna na teoretickou a experimentální část. V teoretické části se věnuji rešerši dané problematiky. Zejména se zabývám geologií žulovského masivu jako celku a rovněž popisuji jednotlivé lokality: Boží hora, Borový vrch, Vápennou a Staré Podhradí. V následující kapitole jsem se věnoval fyzikálně-chemickým vlastnostem studovaných minerálů.

V experimentální části je popsána metodika včetně přípravy vzorků na mikroskopování, tvorby výbrusů a jejich fotodokumentace, pokovení vzorků a WDX analýza. Získaná data jsem prezentoval v podobě tabulek a grafů a srovnal s již dříve publikovanými údaji.

Klíčová slova:

Žulovský masiv, epidot, vesuvian, Staré Podhradí, Boží hora, Borový vrch, Vápenná, kontaktní metamorfóza

Bibliographical identification

Author`s name: Bc. Jakub Vylíčil
Title: Vesuviane and minerals of epidote group in bimetasomathic zones near Žulová, Vápenná and Staré Podhradí
Type of thesis: Master thesis
Institution: Palacký University in Olomouc, Faculty of Science, Department of Geology
Supervisor: doc. RNDr. Jiří Zimák, CSc.
The year of presentation: 2013
Language: Czech

Abstract:

My master thesis is divided into two main capitols – experimental and theoretical part. In the theoretical part I focused on a literature research about geology of žulová massif, than localities are described – namely Boží hora, Borový vrch, Vápenná and Staré Podhradí. In the following part I paid attention on nature of studied minerals.

In the experimental part there is shortly described process of research. From beginning tour to mentioned locations connected with sample collection. There is described preparation of samples for microscope analysis, photo documentation of micro samples and WDX microprobe analyse. Gathered data was presented in the form of tables and graphs and compared with already published data.

Keywords:

Žulová massif, epidote, vesuviane, Staré Podhradí, contact metamorphism, Boží hora, Borový vrch, Vápenná

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Pro **JAKUBA VYLÍČILA**

Obor Navazující (magisterský) studijní obor
Chemie – Geologie a ochrana životního prostředí (N1407)

Název tématu: **Vesuvian a minerály skupiny epidotu v bimetasomatických zónách u Žulové, Vápenné a Starého Podhradí**

Zásady pro vypracování:

V rámci literární rešerše bude zpracována následující problematika:

- 1) geologická charakteristika žulovského masivu a jeho pláště (stručně),
- 2) mineralogická charakteristika bimetasomatických zón (kontaktních skarnů) v prostoru žulovského masivu,
- 3) krystalochemie vesuvianu a minerálů skupiny epidotu, podmínky geneze těchto minerálů při kontaktní metamorfóze.

Terénní etapa prací bude zaměřena na zhodnocení současného stavu na vybraných lokalitách (Boží hora, Borový vrch, Jaškův lom, Vycpálkův lom, lomy u Starého Podhradí); v rámci terénní etapy bude proveden odběr vzorků k mineralogickému výzkumu.

Z vybraných reprezentativních vzorků budou pořízeny výbrusy, které budou vyhodnoceny standardním způsobem pomocí polarizačního mikroskopu (včetně pořízení fotodokumentace). Chemismus vesuvianu a minerálů skupiny epidotu bude sledován pomocí WDX analýz. Bude provedení srovnání získaných dat s již publikovanými údaji o mineralogii bimetasomatických zón v prostoru žulovského masivu i v jiných oblastech.

Rozsah grafických prací: dle potřeby, CD-rom

Rozsah průvodní zprávy: 50 – 60 stran

Seznam odborné literatury:

- Blažková I. (2002): Kontaktní minerály na Borovém vrchu a Boží hoře u Žulové. MS. Dipl. práce. PřF UP Olomouc.
- Černý P. (1956): K morfologii epidotu ze Žulové. - Čas. Mineral. Geol., 1, 280-284.
- Černý P. (1956): Příspěvek k mineralogii žulovského plutonu. - PSOK, 17, 176-187.
- Gibson R.L., Wallmach T., de Bruin D. (1995): Complex zoning in vesuvianite from the Canigou Massif, Pyrénées, France. - Canad. Miner., 33, 77-84.
- Groat L.A., Hawthorne F.C., Ercit T.S. (1994): Excess Y-group cations in the crystal structure of vesuvianite. - Canad. Miner., 32, 497-504.
- Groat L.A., Hawthorne F.C., Ercit T.S. (1994): The incorporation of boron into the vesuvianite structure. - Canad. Miner., 32, 502-523.
- Groat L.A., Hawthorne F.C., Ercit T.S., Putnis A. (1993): The symmetry of vesuvianite. - Canad. Miner., 31, 617-635.
- Houzar S., Novák M., Šrein V. (1997): Minerální asociace vesuvianu z karbonátových a vápenato-silikátových hornin na Moravě a ve Slezsku. - Čas. Mor. muz., Sci. geol., 82, 21-32.
- Losos Z., Brož M. (2002): Parageneze a chemismus bimetasomatických kontaktních zón žulovského masivu. - Sborník „Mineralogie Českého masivu a Západních Karpat“, 59-62. Olomouc.
- Malec P. (2004): Minerály epidotové skupiny v magmatitech, na kontaktech a v alpské paragenezi žulovského masivu. - MS, diplomová práce, 60 str., ÚGV PřF MU, Brno.
- Novotný P., Zimák J. (2001): Výskyt taktitu poblíž lokality „Korálové jámy“ u Žulové. - Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz., 9, 238-240.
- Rager H., Zabinski W. (1995): Fe³⁺ in vesuvianite from Zulova (Czech.Republic) studied by single crystal electron paramagnetic resonance (EPR). - N.Jb.Mineral.Mh., Jg. 1995, H. 6, 264-272.
- Rozkošný I., Souček J. (1989): Contribution to the petrology of the Žulová massif mantle. - AUCa, Geol., 1989, 165-197.
- Zachovalová K., Leichmann J., Švancara J. (2002): Žulová Batholith: a post-orogenic, fractionated ilmenite-allanite I-type granite. - J. Czech Geol. Soc., 47, 35-44.
- Zimák J., Novotný P., Fojt B., Večeřa J., Losos Z., Vávra V., Večeřová V., Skácel J., Kopa D. (2003): Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách v okolí Javorníku, Jeseníku a Zlatých Hor. Vydavatelství UP Olomouc. 64 stran.

Další literatura dle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Jiří Zimák, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 29.10.2008

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2010 L.S.

.....

Vedoucí práce

.....

Vedoucí katedry

V Olomouci dne 29. 10. 2008

Zadání diplomové práce převzal a se zásadami BOZP byl seznámen:

OBSAH:

1. Úvod	9
1.1 Fyzicko-geografická charakteristika žulovského masivu a jeho okolí	10
1.2 Geologická charakteristika žulovského masivu	11
1.3 Obecná definice skarnů	14
1.4 Obecná definice taktitů	16
1.5 Stručná charakteristika bimetasomatické zóny v žulovském masivu	16
2. Systematické postavení vesuvianu a minerálů skupiny epidotu a jejich charakteristika - sorosilikáty	18
2.1 Vesuvian	19
2.1.1 Struktura	19
2.1.2 Mineralogická charakteristika vesuvianu	22
2.1.3 Podmínky vzniku vesuvianu	22
2.2 Minerály skupiny epidotu	24
2.2.1 Epidot	25
2.2.1.1 Mineralogická charakteristika epidotu	25
2.2.1.2 Podmínky vzniku epidotu	26
2.2.2 Klinozoisit	27
2.2.2.1 Mineralogická charakteristika klinozoisitu	27
2.2.2.2 Podmínky vzniku klinozoisitu	28
3. Významná naleziště vesuvianu a minerálů skupiny epidotu v prostoru žulovského masivu	28
3.1 Vápenná	29

3.2 Boží hora	30
3.3 Borový vrch	33
3.4 Staré Podhradí	35
4. Metodika	37
4.1 Použité technologie	38
5. Výsledky měření	39
5.1 Chemismus minerálů skupiny epidotu	39
5.2 Chemismus vesuvianu	48
5.3 Fotodokumentace výbrusů ve zpětně odražených elektronech	64
6. Diskuze	69
6.1 Vesuvian	69
6.2 Minerály skupiny epidotu	76
7. Závěr	80
8. Literatura	81

Teoretická část

1. Úvod

Minerály skupiny epidotu a vesuvian patří mezi významné horninotvorné minerály. Minerály skupiny epidotu vystupují jako sekundární magmatické minerály granitoidních hornin a jejich pegmatitových a aplitových žil, dále jsou běžné v horninách, které vznikaly při kontaktní metamorfóze a jako nízkoteplotní hydrotermální fáze vyplňují prostory v trhlinách a puklinách granitoidů. Vesuvian patří mezi kontaktně metamorfní horninotvorný minerál, jehož výskyt je vázán na horniny z kontaktu karbonátů s magmatity (mramory, erlany, vápenato-silikátové rohovce a skarny). Lokality Boží hora, Vycpálkův lom, Borový vrch a Staré Podhradí v oblasti žulovského masivu patří k nejvýznamnějším nalezištím těchto kontaktních minerálů vůbec.

Cílem této diplomové práce je výrazně rozšířit počet chemických analýz studovaných minerálů pomocí bodové analýzy WDX a tato data korelovat s již dříve publikovanými pracemi o mineralogii v žulovském masivu a i v jiných oblastech. Studium chemismu je doplněno o fotodokumentaci výbrusů.

Jednotlivé kapitoly v teoretické části jsou zaměřeny na fyzicko-geografický popis Žulovské pahorkatiny a geologickou charakteristiku žulovského masivu a jeho pláště. Podrobně se zmíním v rešeršní části o chemickém složení vesuvianu a minerálů skupiny epidotu. V dalších kapitolách je uvedena charakteristika lokalit, ze kterých byly odebrány vzorky.

1.1 Fyzicko-geografická charakteristika žulovského masivu a jeho okolí

Žulovský masiv je a našem území lokalizován ve východní části Javornického výběžku. Je tvořen Žulovskou pahorkatinou a Vidnavskou nížinou, které jsou odděleny sudetským zlomem od Rychlebských hor.

Geomorfologické celky Žulovská pahorkatina a Vidnavská nížina patří do Krkonošsko-jesenické soustavy a do podsoustavy Krkonošsko-jesenické podhůří (Demek 1987).

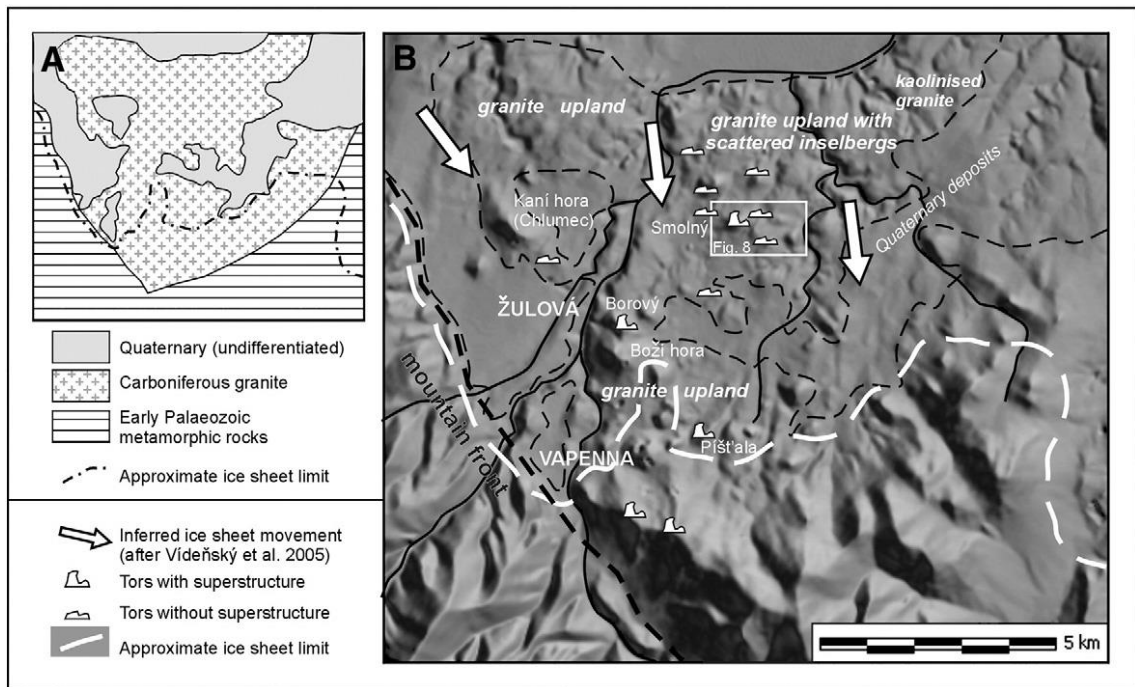
Žulovská pahorkatina tvoří přechod od horského reliéfu Rychlebských hor na jihu a západě k nížinnému reliéfu na severu. Povrch pahorkatiny se pozvolna sklání severovýchodně a ponořuje se pod neogenní a kvartérní výplň Oderské nížiny.

V průběhu vzniku povrchových útvarů Žulovské pahorkatiny se uplatnily vlastnosti žul, jimiž je převážně tvořena. Hlavním znakem reliéfu je výskyt zvlněného povrchu ve výšce 300 - 380 metrů nad mořem. Vrcholy jsou ploché a mají mírné svahy (exfoliační klenby). Mezi nimi leží ploché sníženiny. Nad základní povrch Žulovské pahorkatiny se tyčí ostrovní hory, které mají homolovitý tvar se strmými svahy se zřetelným úpatím.

Žulovský masiv tedy tvoří morfologickou sníženinu, která je vklíněná mezi hřeben Rychlebských hor a Jelení hřbet. Díky tomu byl vývoj tvarů značně modifikován i působením kvartérního kontinentálního ledovce. Na severu leží Vidnavská nížina, vyvinutá na glaciálních sedimentech, které masiv částečně zakrývají (Chlupáč et al. 2002).

Detailně se problematikou prvních stádií ledovcové eroze zabývali ve své práci Hall a Migoň (2010), kteří detailně popisují postup ledovce. Autoři zmiňují, že Žulovská pahorkatina zahrnuje 30 izolovaných kopců, které stoupají 50-150 metrů nad přilehlý zvlněný povrch.

Jižněji přechází nížina na zvlněnou Žulovskou pahorkatinu. Na obr. 1 je vidět schématická geologická mapka a geomorfologická mapa žulovského masivu.



Obr. 1: Geologická a geomorfologická mapa žulovského masivu, kde bílé šipky znázorňují postup ledovce a nejzazší místo dosahu ledovce je znázorněno bílou přerušovanou čarou (Hall a Migoň 2010).

1.2 Geologická charakteristika žulovského masivu

Žulovský masiv je nejrozsáhlejším intruzivním tělesem, které lze v prostoru Jeseníku nalézt. Tvoří samostatnou větev Rychlebských hor, takzvanou Vidnavskou vrchovinu neboli Žulovskou pahorkatinu, která je od hlavní části rychlebských hor oddělena sudetským zlomem (Pouba et al. 1962). Geologická mapa vymezených zájmových oblastí je v příloze.

Okrajový sudetský zlom směru SZ-JV odděluje litologicky strukturně i metamorfne odlišné jednotky v mikroregionu Žulovska. Buday et al. (1995) ve svých pozorováních uvádí recentní aktivity tohoto zlomového pásma. Žulovský masiv se zde střetává s horninami staroměstské skupiny, skupiny branné i ekvivalentními horninami keprnické klenby.

Hlavní horninou žulovského masivu je biotitický granit až granodiorit provázený uzavřeninami křemenného amfibol – biotitického dioritu. Granodiorit tvoří nepravidelně omezená tělesa nacházející se v celé ploše masivu, hlavně

ale v jeho centrální a jižní části. Křemenné diority tvoří menší nebo větší tmavé uzavřeniny, které se vyskytují nepravidelně v celé ploše masivu. Granit má hrubě balvanitý rozpad, což je velmi dobře vidět na některých lokalitách Velké Kraše (www.museum.skorosice.cz).

Granitoidy žulovského masivu uzavírají různě velké uzavřeniny plášťových hornin, zejména migmatitů a mramorů. Naopak v migmatitovém a rulovém plášti plutonu vystupuje několik separátních intruzí granitoidů. Pegmatity jsou zastoupeny biotitickými typy jednoduchého složení. Pegmatitům podobné žíly, spjaté s polohami erlanů a mramorů, se vzácně vyskytly u Starého Podhradí (Klomínský et al. 2010).

Odkrytá východní část žulovského masivu je tvořená metamorfovanými horninami vrbenské skupiny, která je obalovou jednotkou desenské jednotky. Jedná se o pásma biotitického migmatitu s hojným granátem silimanitem a cordieritem. Pestrých vložek kvarcitu, erlanu, mramoru a amfibolitu je v plášti žulovského masivu málo (Klomínský et al. 2010).

Dle Zimáka (2012) v plášti žulovského masivu jsou klasické výskyty taktitů (pravých kontaktních skarnů), vytvořených na styku granitů, pegmatitů nebo aplitů s mramory, a také tzv. reakčních skarnů (bimetasomatických zón mezi pararulami a mramory) v bezprostřední blízkosti kontaktů s granitoidy. Taktity se vyskytují na mineralogických lokalitách např. ve Vycpálkově lomu u Vápenné, v Jaškově lomu u Žulové a v lomech u Starého Podhradí. Reakční skarny s wollastonitem, grossularem (hessonitem), vesuvianem, epidotem, diopsidem a dalšími minerály byly zjištěny na několika lokalitách na Boží hoře a také na Borovém vrchu u Žulové. Na formování skarnů v plášti žulovského plutonu měla prokazatelný vliv magmatogenní fluida (Losos a Brož 2002).

Po skončení variské orogeneze se území stalo na dlouhou dobu souší, kde probíhalo intenzivní zvětrávání a zarovnávaní terénu. Došlo k výrazné kaolinizaci granitoidů žulovského masivu do hloubek 20 až 40 m. Kaolinizované granitoidy se zachovaly zejména v tektonicky zakleslé kře u Vidnavy (Chlupáč a Štorch 1992).

Jednotlivé intruze celého plutonu lze rozdělit dle Pouby et al. (1962) takto:

1. bazičtější část plutonu - nalézají se zde granodiority, amfibolicko-biotitické diority.
 - a. granit s převahou K-živce
2. žulovský granit
 - a. granodiorit s vyšším obsahem křemene
3. okrajové části žulovského plutonu – kontaminované granity, leukokratní granity, usměrněné granity a jemnozrnné granity

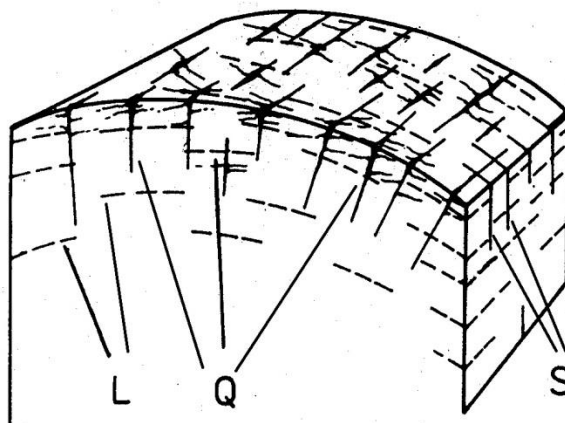
V okrajových částech plutonu se nejčastěji setkáváme s uzavřenými krami krystalických břidlic. V okrajových částech to jsou kry biotitických rul, často migmatitizovaných, svorových rul, amfibolitů, křemenců, méně vápenců (Pouba et al. 1962).

Častými jevy u krystalických břidlic v okrajové části je jejich migmatizace a asimilace. V bazičtější části plutonu nacházíme převážně kry vápenců a kry migmatitizovaných biotitických rul. Okraje rulových ker jsou většinou ostré, pronikání některých aplitových žilek je často starší než okolní intruze (nepokračují do okolní žuly). Asimilace okrajů xenolitů je vzácným jevem. Velké kry rul hlavně v okolí Žulové jsou nejčastěji uloženy ve směru puklin L. S největšími výskyty pohlcených ker vápenců se setkáváme jižně od Starého Podhradí, na Božím vrchu, ve Vycpálkově lomu a na Borovém vrchu. Tyto lokality jsou známy svými kontaktními dvory. Látkovou výměnou vznikaly kontaktní minerály: granát, hessonit, tzv. „plovoucí granáty“ z Vypálkova lomu, grossular, wollastonit, diopsid, vesuvian, epidot a jiné (Pouba et al. 1962).

Tektoniku žulovského masivu představují dobře vyvinuté systémy puklin S ve směru S – J, Q ve směru V – Z a systém L puklin uložených horizontálně. Nejzajímavější jsou pukliny Q, které jsou často vyplněny pegmatity, žilami křemene a aplitů viz obr. 2. Občasná je i sulfidová mineralizace těchto puklin (Losos 1989).

Radiometrické stáří bylo stanoveno Čablou (1969) za použití metody K/Ar přibližně na 300 Ma. Výchozí hodnoty pocházejí z lokalit Vycpálkův lom - granodiorit 304±10 Ma, Tomíkovice – biotitický granodiorit 277 Ma a 274 Ma pro biotitický granit. Jako nejmladší intruzi uvádí Jedlička (1997) granit typu „Steinberg“ (Čermák 2009).

Novější geochronologická data poskytl Maluski et al. (1995) pomocí Ar-Ar měřené na amfibolech (292 ± 3 Ma) a biotitu (290 ± 3 Ma) z granitů a Novák et al. (1998) U-Pb změřená data na monazitu z pegmatitové žíly (304 Ma). Novák et al. (1998) indikoval, že žulovský batolit patří mezi nejmladší granitové intruze v Českém masivu.



Obr. 2: Typy rozpukání batolitu puklinami L, Q, S (upraveno z geotech.fce.vutbr.cz).

1.3 Obecná definice skarnů

Termín skarn vznikl ve Švédsku a obvykle se jedná o tmavě zbarvenou horninu s červenohnědým nebo zeleným odstínem. Může být jemně až hrubě zrnitá, s páskovitou nebo masivní šmouhovitou texturou. Struktura skarnů je nejčastěji granoblastická méně často fibrogranoblastická.

Termín skarn je ovšem velmi obecný a používá se různými autory v různém smyslu. Je tudíž nutné pojem skarn chápat jako pojem negenetický a pro označování kontaktně metasomatických skarnů je vhodnější používat přesnější termín a to reakční či kontaktní skarny, popřípadě taktity (miroslav.vesely.sweb.cz).

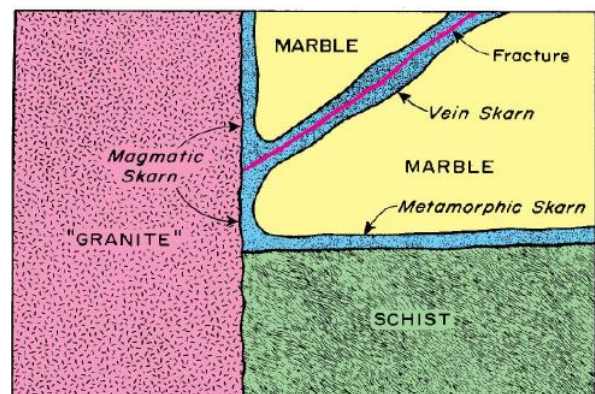
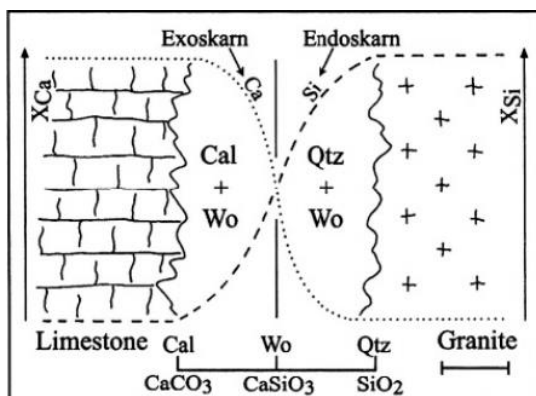
Skarny lze označit jako metamorfované vápenato-silikátové horniny, které vznikly metamorfózou původně vápnitých nebo slinitých hornin popřípadě metamorfózou sedimentárních Fe rud, nebo bazických efuzivních hornin (Burt 1977, Einaudi a Burt 1982).

Skarny se řadí mezi metasomatity. Metamorfóza probíhala v podmínkách regionální metamorfózy různého stupně. Mezi běžné minerály skarnů patří granát (andradit-grossularového složení), pyroxen (diopsid-hedenbergitové řady), amfibol a magnetit. V menším množství bývá přítomen epidot, vesuvian, plagioklas nebo wollastonit. Je dokonce možné, aby hlavní minerály vytvořily monominerální horninu – například magnetitový skarn (atlas.horniny.sci.muni.cz/).

Formování skarnových ložisek je dynamickým procesem viz obr. 3, kde je znázorněn proces výměny prvků na kontaktu vápence a granitoidní horniny. Ve většině skarnových ložisek existuje přechod od ranné (distální) metamorfózy, jejímž výsledkem jsou rohovce, reakční skarny nebo skarnoidy, k pozdní (proximální) metasomatóze, jejíž výsledky jsou relativně hrubozrná ložiska skarnů (Blažková 2002).

Einaudi a Burt (1982) definují skarny jako hrubozrná tělesa vápenato-silikátů v relativně čistých karbonátech, které byly formovány infiltrováním a difuzí magmatických fluid nesoucích exotické komponenty. Často je pojem skarn nahrazován termíny sekundární skarn, nahrazený skarn, vlastní skarn, rudný skarn a taktit.

Burt (1977) skarny klasifikuje na základě stupně metamorfózy, struktury, nahrazené horniny a na základě kovů obsažených ve skarnu.



Obr. 3: Na obrázku je názorně ukázán proces chemické výměny prvků při vzniku skarnu (home.gli.cas.cz).

Obr. 4: Na obrázku jsou názorně ukázány vztahy vzniku magmatického skarnu, metamorfního skarnu a žilného skarnu (home.gli.cas.cz).

1.4 Obecná definice taktitů

Označením taktit se používá konkrétně pro kontaktně metamorfované vápenato-silikátové horniny, které byly značně ovlivněny bimetasomatickými procesy – došlo k výměně fluidních látek mezi intruzí a karbonátovou horninou. Někdy se v literatuře setkáme také s označením kontaktní nebo reakční skarn. Na obr. 4 je patrné jakým způsobem může vznikat magmatický skarn, metamorfní skarn a žilný skarn.

Složení minerálů je značně podobné erlanům, mnohdy se ale projevuje zonální stavba těles v závislosti na teplotním gradientu. Mezi hlavní minerály patří diopsid, granát (andradit-grossular), vesuvian, wollastonit, epidot a plagioklas. V případě, že se bimetasomatické reakce účastnila dolomitická hornina, může být přítomen forsterit spinel nebo flogopit (atlas.horniny.sci.muni.cz/).

V bimetasomatickém kontaktu z Boží hory u Žulové je distribuce Fe^{2+} v pyroxenech a Fe^{3+} v granátech známkou redukčního typu reakčních skarnů (taktitů) „sensu lato“. Takové kontaktní skarny bývají spojeny s mineralizací wolframu, což je v souladu s akcesorickým výskytem scheelitu na řadě kontaktů v žulovském masivu (Losos a Brož 2002).

1.5 Stručná charakteristika bimetasomatických zón v žulovském masivu

Tato kapitola obecně pojednává o bimetasomatické zóně v okolí Žulové. Podrobná mineralogická studie je popsána v diplomové práci v podkapitole „Významná naleziště vesuvianu a minerálů skupiny epidotu v prostoru žulovského masivu“. Losos a Brož (2002) se ve své práci z roku zabývají paragenézí a chemismem bimetasomatických kontaktních zón nacházejících se v prostoru žulovského masivu. V kamenolomu na Boží hoře u Žulové je znám zonální kontakt mezi tmavou biotitickou pararulou a hrubozrnným kalcitickým mramorem. Tato kontaktní zóna se pravděpodobně vyvinula v pohlcené kře parametamorfitů nalézající se přibližně 5 m nad biotitickými granitoidy masivu. Kontaktní zóna má vertikální orientaci paralelně s foliací okolní ruly a její zonální stavbu dělí Losos a Brož (2002) na následující subzóny:

1. Tmavě biotitická pararula (plagioklas, biotit, K-živce, křemen) s enormním nabožením biotitu
2. Bimetasomatický kontakt
 - a. Biotitická rula obohacená klinopyroxenem (plagioklas, biotit, klinopyroxen)
 - b. Plagioklas-klinopyroxenová subzóna (plagioklas, klinopyroxen, grossular, křemen), plagioklas bývá nahrazen mladším zoisitem a prehnitem
 - c. Grossular-hedenbergitová subzóna (grossular, hedenbergit, křemen)
 - d. Wollastonitová-subzóna (wollastonit, vesuvian, v akcesorickém množství diopsid)
3. Hrubozrnný kalcitický šedobílý mramor (kalcit, v akcesorickém množství diopsid, křemen, grafit)

Koncentrace Si je vysoká v celém profilu bimetasomatické kontaktní zóny, zejména centrální partie kontaktů, které jsou tvořeny subzónami 2b a 2c, jsou silně silicifikovány. Prokřemenění těchto zón pravděpodobně vzniklo s průnikem magmatogenních fluid do kontaktní zóny. V kalcitickém mramoru byl stanoven nepatrný obsah křemíku, který odpovídá akcesorickému diopsidu a křemenu.

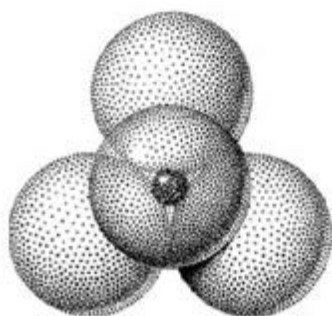
Na formování popsané bimetasomatické kontaktní zóny na Boží hoře u Žulové, ležící v těsné blízkosti granitoidů, měli zřetelný vliv magmatogenní fluida, pronikající podél litologického rozhraní ruly a mramoru. Jejich vliv je doložen vyšším podílem Fe v některých subzónách kontaktů než v okolních horninách, dále silicifikací centrálních subzón kontaktů, nízkým P_{CO_2} a vysokým P_{H_2O} (přítomnost vesuvianu a wollastonitu) (Losos et al. 1986).

2. Systematické postavení vesuvianu a minerálů skupiny epidotu a jejich charakteristika – sorosilikáty

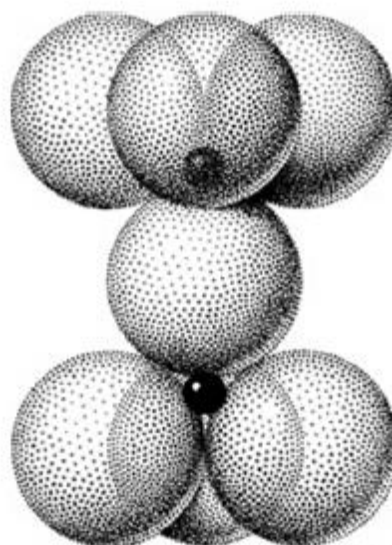
Sorosiliáty jsou podskupinou třídy silikátů. Jejich stavební jednotkou je křemíko-kyslíkový tetraedr $[\text{SiO}_4]^{-4}$, který je tvořen centrálním atomem křemíku, jenž je obklopen čtyřmi atomy kyslíku nacházejícími se ve vrcholech tetraedru viz obr. 5.

Ve struktuře sorosilikátů jsou tetraedry $[\text{SiO}_4]^{-4}$ spojovány přes vrcholový kyslík do malých skupin, které jsou v prostoru od sebe odděleny koordinačními polyedry jiných kationtů. Typickou aniontovou skupinou sorosilikátů je dvojice tetraedrů (diortogrupa viz obr. 6) $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{-6}$. Jiné typy skupin, např. trojice tetraedrů $[\text{Si}_3\text{O}_{10}]^{-8}$ nebo pětice tetraedrů $[\text{Si}_5\text{O}_{16}]^{-12}$ jsou velmi vzácné.

Ve strukturách sorosilikátů se často vyskytují nezávislé tetraedry $[\text{SiO}_4]^{-4}$ spolu se skupinami $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{-6}$. Ve strukturách sorosilikátů se velmi často objevují další anionty, zejména fluor, kyslík a hydroxylová skupina.



Obr. 5: Tetraedr $[\text{SiO}_4]^{-4}$
(upraveno z home.gli.cas.cz)



Obr. 6: Dvojice tetraedrů $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{-6}$
spojených ve vrcholu kyslíkovým atomem
(upraveno z home.gli.cas.cz)

2.1 Vesuvian

Vesuvian lze systematicky zařadit do třídy silikátů, oddělení sorosilikátů. Vesuvian je horninotvorný minerál, který se může nacházet ve skarnech, rodingitech a alterovaných alkalických syenitech. Ještě před 20 lety patřil k nejméně prostudovaným horninotvorným minerálům. Jeho pravá symetrie byla dlouho nejasná a některé detaily krystalické struktury byly nedořešeny. Bylo publikováno mnoho chemických vzorců, ale zatím žádný z nich se nezdál být plně aplikovatelný. Tyto nejasnosti byly komplikovány rozdílnou škálou podmínek, při kterých je vesuvian formován v přírodě (Groat et al. 1992).

Na počátku vědecké mineralogie byl tento minerál v 18. století označován jako „schörl“, „chrysolith“, „pyramidaler granat“ nebo topaz, nejčastěji však jako „hyacinth“, „hyacinte volcanique“ nebo „hyacinthes du vesuve“. Avšak až v roce 1795 ho uvádí Werner jako samostatný druh pod názvem vesuvian. V roce 1799 Haüy použil termín idokras znamenající „dokonalá směs tvarů“ vyjadřující komplikovanost vzhledu jeho krystalů. Pro označení odrůd vesuvianu existuje řada termínů, které ovšem mají pouze historický význam (Houzar 1996).

2.1.1 Struktura

Na základě rentgeno-strukturních analýz byla zjištěna částečná strukturní podobnost s granátem (grossularem). Ovšem struktura vesuvianu se liší od granátu v četnosti atomů, které leží na čtyřčetné ose (Deer et al 1997).

Obecný chemický vzorec je možno vyjádřit následovně $X_{19}Y_{13}Z_{18}T_{0-5}O_{68}W_{10}$, kde X = Ca, Na, REE, Pb, Sb; Y= Al, Mg, Fe, Ti, Mn, Cu, Zn; Z= Si; T=B; W= OH, F, O. Strukturně lze odlišit běžnější „vyšší vesuvian“ vzniklý za teploty nad 400°C ve skarnech a rohvcích a vzácnější „nižší vesuvian“ tvořící někdy krystaly až drahokamové kvality za teploty pod 300°C v serpentinitech a chloritických břidlicích (Houzar 1996). Jiné obecné chemické vzorce se vzájemně mírně liší, jak je uvedeno v publikaci Deer et al. (1997), Hoisch (1985) nebo Groat (1988) viz obr. 7. Jeho chemické

složení vyjadřuje komplikovaný krystalochemický vzorec $\text{Ca}_{19}(\text{Al,Fe})_{10}(\text{Mg,Fe})_3[\text{Si}_2\text{O}_7]_4[\text{SiO}_4]_{10}(\text{O,OH,F})_{10}$ (Deer et al. 1997).

Formulae	Normal-ization	Study
$4[\text{Ca}_{10}\text{Al}_4(\text{Mg, Fe})_2\text{Si}_9\text{O}_{34}\text{OH}_4]$		Warren and Modell (1931)*
$2[\text{X}_{10}\text{Y}_{13}\text{Z}_{18}(\text{O, OH, F})_{70}]$ X = Ca (Na, K, Mn) Y = (Al, Fe ³⁺ , Fe ²⁺ , Mg, Ti, Zn, Mn) Z = Si		Machatschki (1930, 1932)
$4[\text{X}_{10-u}\text{Y}_{6+u}\text{Z}_9(\text{O, OH, F})_{38}] \quad u \leq 1$ X = Ca (Na, K, Mn) Y = (Al, Fe ³⁺ , Fe ²⁺ , Mg, Ti, Zn, Mn) Z = Si	38(O,OH,F)	Barth (1963)
$2[\text{Ca}_{19}(\text{Mg, Fe, Al, Ti, Mn})_5\text{Al}_8(\text{O, OH})_{10}(\text{SiO}_4)_{10}(\text{Si}_2\text{O}_7)_4]$	19 Ca	Coda et al. (1970)*
$2[\text{Ca}_{19}\text{Fe}(\text{Fe, Ti, Mn, Mg, Al})_8\text{Al}_4\text{Si}_{18}\text{O}_{70}(\text{OH, F})_8]$	18 Si	Rucklidge et al. (1976)*
$2[\text{Ca}_{19}(\text{Al, Mg, Fe, Mn, Ti})_{13}\text{Si}_{18}\text{O}_{70}(\text{OH, F})_8]$ or $2[\text{Ca}_{19}(\text{Al, Fe})_{10}(\text{Mg, Fe})_2\text{Si}_{18}\text{O}_{70}(\text{OH})_8]$	78(O,OH,F)	Deer et al. (1982)
$2[\text{X}_{16}[\text{C}_i\text{B}_j]\text{A}_4\text{Y}_8\text{Z}_{18}(\text{O, OH, F})_{78}]$ $0 \leq i \leq 1, j = 2 - i$ X = Ca, Na, K, Fe ²⁺ , Mn Y = Al, Mg, Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Ca, Ti, Cr, Mn, Cu, Zn Z = Si, Al B = Mg, Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Cu, Zn C = Ca, Na, Fe ²⁺ , Mn	50 cations	Allen (1985)*
$2[\text{Ca}_{19}(\text{Mn, Fe}^{2+})(\text{F, OH})_2(\text{Mg, Fe}^{2+}, \text{Mn, Al, Fe}^{3+}, \text{Ti})_8\text{Al}_4(\text{OH, F, O})_8(\text{SiO}_4)_{10}(\text{Si}_2\text{O}_7)_4]$		Yoshiasa and Matsumoto (1986)*

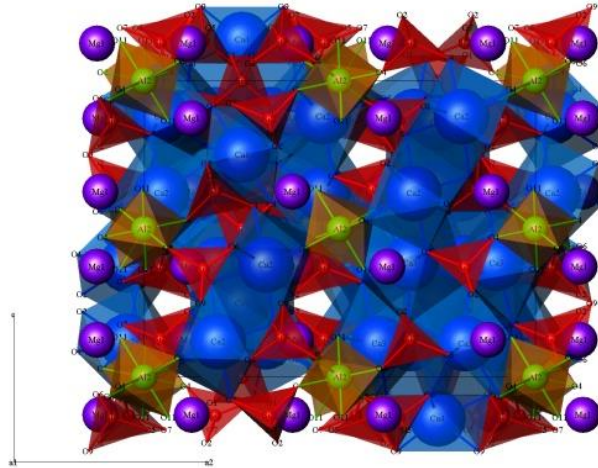
*Based on structural data.

Obr. 7: Předpokládané obecné vzorce vesuvianu (Groat 1988)

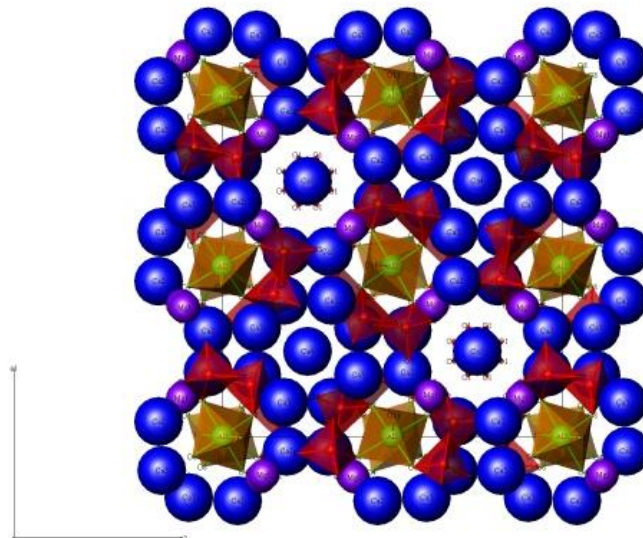
Struktura vesuvianu byla určena Warrenem a Modell v roce 1931, která předpokládala obsazení čtyřčetné osy pouze atomy Ca. Upřesnění struktury publikovali později Coda et al. 1970, Arem (1973) a Rucklidge et al. 1975. Autoři došli k závěru, že distribuce atomů podél čtyřčetné osy viz obr. 9 je jiná, než předpokládali v roce 1931. V postavení atomů podél čtyřčetné osy jsou dva dodatečné kyslíky (čtyři na buňku s možnou asociací s vodíky) a čtyři pozice

kationtu (osm na buňku), které jsou statisticky obsazeny 2 atomy Ca a 2 atomy Fe (plus minoritně Ti a Mn). Vápenaté atomy jsou stále v koordinaci čtvercového atiprizmatu, ale Fe je v pětičetné pyramidě o čtvercové základně.

Na obr. 8 a obr. 9 je patrné schématické postavení atomů v základní buňce v řezu (100) a (001).



Obr. 8: Schématické zobrazení vesuvianu v řezu (100) s vyznačením tetraedrů SiO_4 (červená) i skupin dvojitých tetraedrů Si_2O_7 , koordinační oktaedry hliníku (zelený) a koordinačními polyedry vápníku (modrá), hořčík (fialová)
(mineralogie.sci.muni.cz)



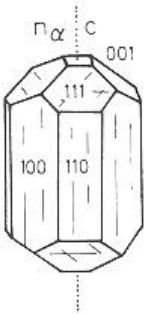
Obr. 9: Schématické zobrazení základní buňky vesuvianu v řezu (001) (barevné znázornění jednotlivých prvků je stejné jako na obr. 8) (mineralogie.sci.muni.cz)

2.1.2 Mineralogická charakteristika vesuvianu

(dle Gregerová et al. 2002)

Vesuvian

Třída: Silikáty, Podtřída: Sorosilikáty, Skupina: Vesuvianu

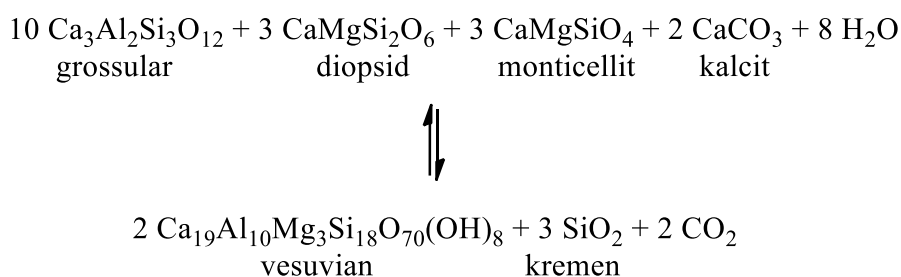
Složení:	$\text{Ca}_{19}(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_{10}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3[(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_{10}(\text{SiO}_4)_{10}(\text{Si}_2\text{O}_7)_4]$	
Symetrie:	Tetragonální	
Fyzikální vlastnosti:	Barva: žlutá, hnědá, nazelenalá, vzácně červená a modrá, ve výbrusu většinou slabě nahnědlý nebo bezbarvý	
Štěpnost:	Nerovný lom, nedokonalá {110}, špatná {100}, {001}	
Lesk:	Skelný	
Tvrдость:	6,5 - 7	
Specifická hmotnost:	3,23 – 3,43	
Optické vlastnosti:		
Indexy lomu:	n_α	1,700-1,746
	n_γ	1,703-1,752
	D	0,001-0,009
	Ch_m	(-,+)
	Ch_z	(-,+)
Tvar:	Sloupečky, zrna	
Parageneze:	Wollastonit, diopsid, granát, epidot, zoisit, titanit	
Podobné minerály:	Zoisit, klinozoisit, granát	
Přeměny:	Mění se v prehnit	

2.1.3 Podmínky vzniku vesuvianu

Původním nalezištěm vesuvianu je zbytek starého kráteru Vesuvu - Monte Somma, kde je součástí „sommských balvanů“ (Houzar 1996). Hlavní výskyt vesuvianu je v kontaktních metamorfních zónách spjatých s vápenci, kde se běžně vyskytuje s granátem, diopsidem, wollastonitem a dalšími minerály. Můžeme jej ale také nalézt v regionálně metamorfovaných vápencích a jeví se stabilní v širokém spektru metamorfních teplot.

Vesuvian může být také nalezen v žilách asociovaných s mafickými horninami a serpentinity, v granatizovaných gabrech (rodingitech), a v nefelinských syenitech. Vesuvian je vcelku běžná složka skarnů nebo taktitů.

Ze studií se došlo k závěru, že vesuvian se stabilizuje ve vápenatých horninách za mírného stupně kontaktní metamorfózy pouze tehdy, když plynná fáze má vysoký obsah H₂O. Jak bylo zmíněno dříve v práci, jsou podmínky vzniku vesuvianu velice blízké podmínkám vzniku grossularu a rozhodujícím faktorem, který minerál bude krystalovat, může být relativní množství H₂O a CO₂. Chemický proces vzniku sloučeniny ve Ca-Si metamorfóze (schéma na obr. 3 lze prezentovat rovnicí:



Z rovnice vyplývá, že stabilita vesuvianu má tendenci vzrůstat s rostoucím množstvím H₂O a klesat s rostoucím množstvím CO₂ (Deer et al. 1997).

2.2 Minerály skupiny epidotu

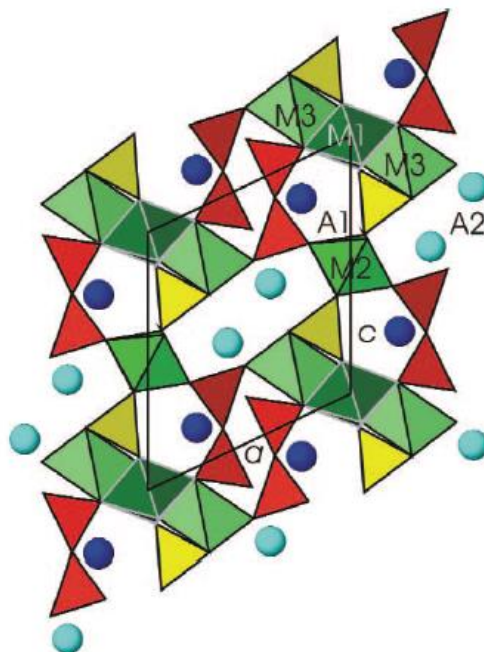
Minerály skupiny epidotu jsou známy již od 18. století. Název epidot je složen z řeckého slova epidosis, které znamená nárůsty, protože základna romboedrického prizmatu má jednu stranu větší než ostatní. Název pistacit popisuje jeho zelenou barvu (Franz a Liebscher 2004). Struktura minerálů této skupiny je složena ze dvou typů

hranově sdílených oktaedrických řetězců paralelních s osou *b* viz obr. 10. Propojení oktaedrů typu M2 je přímé, M1 oktaedry jsou propojeny do klikatě běžícího řetězce se střídavě připojenými M3 oktaedry. Pozice M1 a M2 jsou pravidelně oktaedrické a jsou obsazovány atomy Al^{3+} s možnou substitucí Fe^{3+} . Pozice M3 jsou silně deformované oktaedry, do kterých vstupují především Fe a Mn. Jednotlivé

řetězce M-oktaedrů jsou propojeny skupinami $[\text{SiO}_4]^{-4}$ a $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{-6}$ tak, že vzniknou poměrně velké dutiny pro polyedry typu A. Strukturální pozice typu A1 a A2 mají zpravidla sedmi nebo osmi čítnou koordinaci a jsou obsazovány především Ca nebo REE (allanit). Tetraedrické pozice jsou téměř výhradně obsazeny Si. Úhel Si – O – Si ve skupině $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{-6}$ se pohybuje mezi 145° - 160° v závislosti na konfiguraci obsazení oktaedrických pozic (Armbruster et al. 2006, Franz a Liebscher 2004).

Výsledný strukturální vzorec minerálů skupiny epidotu se zpravidla uvádí jako $\text{A}_2\text{M}_3[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$ viz obr. 11 (Deer et al. 1986).

Z běžných minerálů řadíme do této skupiny klinozoisit, epidot, allanit, zoisit a další – ve své práci zmíním podrobněji pouze epidot a klinozoisit.



Obr. 10: Model klinozoisitové skupiny (Armbruster et al. 2006).

EXCHANGE VECTORS	FORMULA		NAME					
<i>Orthorhombic Pnma, additive component zoisite Ca₂Al₃Si₃O₁₂(OH)</i>								
<u>simple in M-positions</u>								
Al ₁ Fe ³⁺	Ca ₂ Al ₂ Fe ³⁺ Si ₃ O ₁₂ (OH)		epidote					
Al ₃ Fe ³⁺ ₃	Ca ₂ Fe ³⁺ ₃ Si ₃ O ₁₂ (OH)		("pistazite", theor. endmember)					
Al ₁ Mn ³⁺	Ca ₂ Al ₂ Mn ³⁺ Si ₃ O ₁₂ (OH)		piemontite					
	A(1)	A(2)	M(1)	M(2)	M(3)	T	O(4)	
Clinozoisite	Ca ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	Al ³⁺	Al ³⁺	Si ₃ O ₁₁	O	OH
Epidote	Ca ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	Si ₃ O ₁₁	O	OH
Piemontite	Ca ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	Al ³⁺	Mn ³⁺	Si ₃ O ₁₁	O	OH

Obr. 11: Příklady idealizovaných vzorců pro vybrané minerály skupiny epidotu (upraveno dle Gieré a Sorensen 2004, Franz a Liebscher 2004)

2.2.1 Epidot

Epidot je monoklinický minerál s idealizovaným vzorcem $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$. Chemické složení epidotu se udává vzorcem $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$, kdy obsah Fe_2O_3 je až kolem 30 hm. %. Izomorfně může vstupovat i Mn^{2+} , Mg^{2+} , Ti^{3+} , Cr^{3+} , Fe^{+2} a REE. Epidot je vlastně směsným krystalem klinozoisitu a teoretického pistacitu, ve kterém převládá klinozoisitová složka (Armbruster et al. 2006).

Symetrie je monoklinická (oddělení monoklinicky prizmatické). Struktura je popsána výše, oktaedrické pozice jsou obsazovány atomy hliníku a železa. Tento minerál tvoří krátce i dlouze sloupcovité krystaly protažené podle osy *b*, časté jsou krystaly s rýhováním krystalových ploch ve směru protažení. Dvojčatně srůstá podle [100]. Agregáty jsou celistvé nebo zrnité, někdy stébelnaté nebo jehlicovité

2.2.1.1 Mineralogická charakteristika epidotu

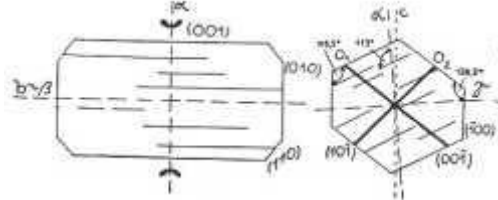
(dle Gregerová et al. 2002)

Epidot

Třída: Silikáty, Podtřída: Sorosilikáty, Skupina: Epidotu

Složení:	$\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})[\text{O} \text{OH} \text{SiO}_4 \text{Si}_2\text{O}_7]$
Symetrie:	Monoklinická
Fyzikální vlastnosti:	Barva: šedá, nažloutlá, nazelenalá, tmavě zelená; ve výbrusu většinou žlutozelený méně často slabě hnědý

Štěpnost:	Dokonalá {001}, dobrá {100}
Lesk:	Skelný
Tvrдость:	6
Specifická hmotnost:	3,38-3,49
Optické vlastnosti:	



Indexy lomu:	n_α	1,715-1,751
	n_β	1,725-1,784
	n_γ	1,734-1,797
	D	0,015-0,051
	Ch_m	(-)
	Ch_z	(+,-)
Pleochroismus:	X bezbarvá, nažloutlá, světle zelená Y žlutavě zelená Z žlutavě zelená, bezbarvá	
Tvar:	Sloupcovitý podle z, zrna, dvojčatné srůsty podle (100)	
Parageneze:	Aktinolit, albit, křemen, kalcit, zoisit, klinozoisit, chlorit	
Podobné minerály:	Pyroxeny, melilit, vesuvian, klinozoisit	

2.2.1.2 Podmínky vzniku epidotu

Jako akcesorický minerál vzniká při druhotných přeměnách v intermediárních a bazických horninách (diority, gabra), žíly epidotu a projevy epidotizace granitoidních hornin jsou příznačné pro brněnský masiv (Blansko, Bílovice, Brno - Královo Pole). Je typickým horninotvorným minerálem nízkých a středních stupňů metamorfózy ve facii zelených břidlic, kde se významně podílí na stavbě zelených a epidotových břidlic (www.sci.muni.cz). Drůzy krystalů epidotu jsou typické v alpské paragenezi na puklinách amfibolitů například na Sobotínsku (Novotný a Zimák 2001) a na Čálovsku

Krystalované ukázky epidotu (v paragenezi s grossularem, vesuvianem, wollastonitem a diopsidem) jsou běžné také na kontaktech granitoidů s mramory - v taktitech (Žulová, Vápenná). Zrna a agregáty najdeme v erlanech např. v Bludově u Šumperka (www.sci.muni.cz).

2.2.2 Klinozoisit

Teoretické složení vyjadřuje vzorec $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$., běžná je izomorfní příměs Mn, Fe, Sr nebo Ti. Hliník v oktaedrické koordinaci může být nahrazován železem a klinozoisit tak zvolna přechází v epidot. Hranice není přesně definována, koncový Fe člen řady klinozoisit – epidot se označuje jako pistacit, v přírodě se však nevyskytuje (Armbruster et al. 2006).

Symetrie je monoklinická (oddělení monoklinicky prizmatické). Struktura je popsána výše, oktaedrické pozice jsou obsazovány převážně atomy hliníku. Krystaly jsou dlouze sloupcovité (prakticky shodné s epidotem). Agregáty jsou zrnité nebo stébelnaté.

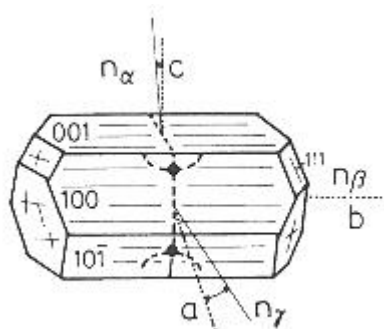
2.2.2.1 Mineralogická charakteristika klinozoisitu

(dle Gregerová et al. 2002)

Klinozoisit

Třída: Silikáty, Podtřída: Sorosilikáty, Skupina: Epidotu

Složení:	$\text{Ca}_2\text{Al}_3 [\text{O} \text{OH} \text{SiO}_4 \text{Si}_2\text{O}_7]$
Symetrie:	Monoklinická
Fyzikální vlastnosti:	Barva: světle žlutá, šedozelená, světle růžová; ve výbrusových preparátech bezbarvý popřípadě světle hnědý, narůžovělý
Štěpnost:	Velmi dokonalá {001}, dobrá {100}
Lesk:	Skelný
Tvrдость:	6,5
Specifická hmotnost:	3,21-3,38
Optické vlastnosti:	



Indexy lomu:	n_α	1,670-1,718
	n_β	1,672-1,725
	n_γ	1,690-1,734
	D	0,020-0,016
	Ch_m	(+)
	Ch_z	(+,-)

Pleochroismus:	Většinou nepleochroický, někdy slabý pleochroismus ve světle hnědých odstínech. Pleochroismus závisí na substituci $Al \leftrightarrow Fe^{3+}$.
Tvar:	Krátce sloupcovitý podle y, tabulkovitý
Parageneze:	Aktinolit, albit, křemen, \pm světlá slída, \pm biotit, \pm granát, chlorit, amfibol, kalцит, epidot, zoisit
Podobné minerály:	Zoisit, epidot, amfiboly

2.2.2.2 Podmínky vzniku klinozoisitu

Klinozoisit je běžným akcesorickým minerálem v široké škále regionálních a kontaktně metamorfovaných hornin. Klinozoisit může vznikat při druhotných přeměnách v bazických horninách, bývá přítomen v některých pegmatitech (Ness 2000). Pěkné krystaly vytváří na žilách alpské parageneze (Markovice, Vlastějovice). Může doprovázet epidot v regionálně metamorfovaných zelených břidlicích nebo amfibolitech (www.sci.muni.cz).

3. Významná naleziště vesuvianu a minerálů skupiny epidotu v prostoru žulovského masivu

Okolí Žulové ve Slezsku patří ke klasickým lokalitám výskytu vápenatých skarnů, vzniklých kontaktní metamorfózou a metasomatózou původních vápenců skupiny Branné, které dnes tvoří pouze kry uzavřené v granitoidu. Nejdůležitější kontaktní minerál tvoří granát se silně variabilním složením, kde převažuje grossularová molekula s obsahem železa (hessonit). Zajímavým minerálem je vesuvian dvou typů. Na základě chemického složení bylo prokázáno, že jednotlivé typy se liší pouze obsahem hořčíku a železa. Pravděpodobně se jedná o dvě rozdílné generace, kde jedna je ovlivněna tektonickými pohyby v okolí vznikajících minerálů. Minerál epidot tvoří velmi podobné sloupce s vysokým obsahem Fe_2O_3 , dosahujícím až 11,32 hm% (Šrein et al. 1998).

Cháb a Suk (1977) vesuvian ve svých regionálně metamorfních asociacích Čech a Moravy neuvádějí, nicméně Novák (1995) mu pro výskyty na západní Moravě „dynamometamorfní“ (tedy regionálně-metamorfní) původ přiřítá. Podružně se objevuje v alpské paragenezi. Do klastických sedimentů by se mohl teoreticky dostat díky vysoké hustotě ($\sim 3,3$) a relativně dobré mechanické (vysoká tvrdost $\sim 6,5$ a nedokonalá štěpnost) i chemické stabilitě

jako těžký minerál, ale vzhledem ke slabému zastoupení v horninách snosových oblastí jsou takové případy výjimečné.

Přítomnost vesuvianu byla zjištěna na nespočetných lokalitách všech kontinentů, i když jeho kvantitativní zastoupení v rodině horninotvorných minerálů je spíše podružné. Ve své práci se zabývám lokalitami Vycpálkův lom, Boží hora, Borový vrch a Staré Podhradí.

3.1 Vápenná

Významnou slezskou lokalitou u obce Vápenná je Vycpálkův lom, kterému byla v posledních letech věnována významná pozornost (Roger a Zabinski 1995, Houzar et al. 1997, Losos a Brož 2002 aj.), jelikož se jedná o nejvýznamnější naleziště kontaktních minerálů na území České republiky. V lomu se těžil biotitický granit, který se používal na výrobu dlažebních kostek, obrubníků a jiných kamenických produktů.

Vycpálkův lom je již od roku 1959 nečinný a z větší části je zaplaven vodou (Zimák et al. 2003). Je to významné naleziště „plovoucích hessonitů“ viz obr. 12. Tyto granáty se nacházejí v nadloží granitu uzavřeny v mocné kře mramoru v nejvyšší části lomové stěny. Velikost jednotlivých krystalů hessonitu dosahuje až velikosti jednoho decimetru (Kruťa 1973). Krystaly hessonitu se během procesu zvětrávání horniny postupně uvolňují a následně vypadávají (Pauliš 2001). Krystaly hessonitu obsahují řadu uzavřenin, které jsou pozorovatelné mikroskopicky (křemen, kalcit, a jiné minerály). Uzavřeniny jsou přítomny i ve vnější zóně krytalů, a proto krystalové plochy granátů vypreparovaných z mramoru nejsou hladké. Chemické složení „plovoucích granátů“ odpovídá grossularu a je velmi málo proměnlivé.

Ve stěně lomu nad současným jezírkem se vyskytují typické taktity charakteristické pro oblast žulovského masivu.

Dle Rybáka (1972) se ve Vycpálkově lomu nacházejí na dvou místech zóny s kontaktními minerály. V jeho horní části na severní straně se nalézá středně zrnitý krystalický vápenec, ve kterém jsou přítomny krystaly hessonitu, a pouze výjimečně je doložena přítomnost krátce sloupcovitých krystalů vesuvianu. Na západní stěně v horní části lomu byla ve výšce až 3 m a šířce 10

m odkryta zóna s kontaktními minerály. Zrnitost kontaktní horniny je střední až hrubá a tato zóna je tvořena diopsidem, epidotem, hessonitem, kalcitem, křemenem, vesuvianem a sulfidy.

Kontaktní dvory s diopsidem, vesuvianem, epidotem a wollastonitem se nalézají ve spodní části Vycpálkova lomu. Epidot tvoří nedokonale omezené sloupcovité krystaly tmavě šedo-zelené barvy s maximální velikostí až 5 cm. Vesuvian byl nalezen v podobě hnědých čtyřbokých sloupců o délce až 7 cm (Zimák et al. 2003).



Obr. 12: „Plovoucí hessonity“ z Vycpálkova lomu (foto Jakub Vylíčil).

3.2 Boží hora

Na lokalitě Boží hora se nachází bimetasomatická zóna, kterou lze rozdělit na několik subzón. Jednotlivé subzóny se vzájemně liší skladbou nerostů. Ve směru od biotitické pararuly k mramoru se jedná o tyto čtyři subzóny.

Dle Zimáka et al. (2003) charakterizujeme stavbu a mineralogii bimetasomatické zóny následovně. Subzóna biotické ruly obsahující relativně vysoký obsah biotitu a klinopyroxenu, který se řadí do diopsid-hedenbergitové

řady. Následně je zde plagioklas-hedenbergitová subzóna, která obsahuje převážně křemen a jako vedlejší složka je přítomen grossular. Plagioklas bývá nahrazen mladším zoisitem a prehnitem. Třetí subzóna grossular-hedenbergitová je tvořena minerály grossular a hedenbergit, jež jsou zastoupeny v různých poměrech. V této subzóně se nalézá také ve větším množství křemen. V poslední, čtvrté wollastonitová subzóně, lze nalézt v různém množství také vesuvian a rovněž akcesoricky klinopyroxen spadající do diopsid-hedenbergitové řady.

Hrubozrnný kalcitický mramor při kontaktu s wollastonitovou subzónou obsahuje v akcesorickém množství klinopyroxen diopsid-hedenbergitové řady, křemen a také grafit.

Hedenbergitová komponenta převažuje ve složení klinopyroxenů grossular-hedenbergitové subzóny. Ve wollastonitové subzóně a mramoru odpovídají akcesorická zrna klinopyroxenu svým složením diopsidu. Relativně vysoký podíl andraditové komponenty mají granáty z grossular-hedenbergitové subzóny (20 až 22 mol. %).

Dle Lososa a Brože (2002) měla na formování bimetasomatické subzóny značný vliv magmatogenní fluida, které pronikaly podél litologického rozhraní ruly a mramoru. Autoři zmiňují, že jejich působení je doloženo vyšším podílem železa v některých subzónách bimetasomatické zóny v porovnání s okolními horninami, silicifikací centrálních subzón a nízkým P_{CO_2} , a vysokým P_{H_2O} (podmínky pro vznik vesuvianu a wollastonitu).

K formování kontaktů na Boží hoře docházelo přibližně při teplotě 600 až 620°C. Toto zjištění bylo stanoveno na základě grafit-karbonátového izotopového termometru, použitého v prostoru této lokality (přibližně na desítky metrů vzdálených kalcitických mramorech s akcesorickým grafitem - viz Losos a Hladíková 1988). Z dat známých pro periplutonickou metamorfózu v oblasti pláště žulovského masivu západně od České Vsi u Jeseníku lze přijmout tlakové podmínky přibližně 200 MPa (dle sfaleritového geobarometru, Losos et al. 1986). Podobné teploty periplutonické metamorfózy 650 až 680°C (granátobiotitovým termometrem) publikovali pro stejnou oblast pláště žulovského masivu Cháb a Žáček (1994).

Pod popisovanou bimetasomatickou zónou, byla dříve odkryta kontaktní mineralizace vyvinutá přímo na styku biotitického granitu a kalcitického mramoru a také podél kontaktu mramoru s aplitovými žilami, které jím zde pronikaly. Toto je patrné ve vstupní části lomu, po jeho levé straně ve směru do lomu (Zimák et al. 2003).

Kontaktní minerály na styku granitu a mramoru tvoří zónu, která měla mocnost až 60 cm. Kontaktní minerály tvořily lemy kolem aplitových žil, které měly mocnost podstatně menší (často pouze několik cm). K hlavním minerálům taktitů řadíme wollastonit, grossular, vesuvian, epidot, křemen, kalcit, klinopyroxen diopsid-hedenbergitové řady a albit, mezi méně běžné patří titanit a scheelit.

Značná mineralogická zonálnost charakterizuje stavbu kontaktních zón mezi mramorem a granitem nebo aplitem. Kontakt s mramorem má povahu až 3 cm mocné wollastonitové subzóny, která v případě kontaktů s aplitovými žilami často představuje objemem nejvýznamnější část taktitu. Wollastonitová subzóna je formována souběžně uspořádanými vlákny až stébly bílého nebo jemně narůžovělého wollastonitu (orientovanými převážně víceméně kolmo ke kontaktu) nebo mnohdy paprscitými agregáty zpravidla narůžovělého wollastonitu (které rostly zcela evidentně od kontaktu do mramoru).

Strukturně jde o wollastonit-2M (viz Krausová a Zimák 1998). Drobná šedozeleň zrna klinopyroxenu tvoří výraznou součást wollastonitové subzóny. Poměrně hojně ovšem místy se zde vyskytuje zelenohnědý až hnědý vesuvian v podobě zrn nebo nedokonale vyvinutých sloupců o velikosti zpravidla do 1 cm. Vzácně byla ve wollastonitové subzóně zjištěna přítomnost drobných (max. 1,5 mm) zrn scheelitu, která se nacházela ve vnitřní části této subzóny, ve velmi blízko jejího ostrého přechodu do subzóny vesuvian-grossularové.

Vesuvian-grossularová subzóna je tvořena hlavně zrnitým červenohnědým grossularem, vesuvianem a místy hojným křemenem. V křemenných partiích se zde běžně vyskytuje vesuvian v podobě až několik cm dlouhých štíhlých sloupců zelenohnědé barvy, orientovaných přibližně kolmo vzhledem ke kontaktu. Zrna žlutozeleného epidotu a šedozeleň klinopyroxenu se rovněž místy hojně vyskytují.

Vesuvian-grossularová subzóna plynule přechází do subzóny grossularové, v níž je grossular dominantní složkou. Zde se vyskytovaly drúzy červených až červenohnědých krystalů hessonitu o velikosti až 2 cm, které pokrývaly stěny dutin v taktitu, vyplněných hrubě zrnitým kalcitem, který však byl často vyloužen při zvětrávacích procesech.

Součástí grossularové subzóny je i vesuvian, křemen, klinopyroxen, epidot, vzácně je zde možno nalézt titanit, místy je poměrně hojný živec (albit), a to zejména při kontaktu s granitem. Jeden z výchozů je zdokumentován na fotce na obr. číslo 13 a rozmístění lokalit na obr. číslo 14.



Obr. 13: *Boží hora, jeden z výchozů, hloubka výkopu je 0,5 m (foto Jakub Vylíčil).*

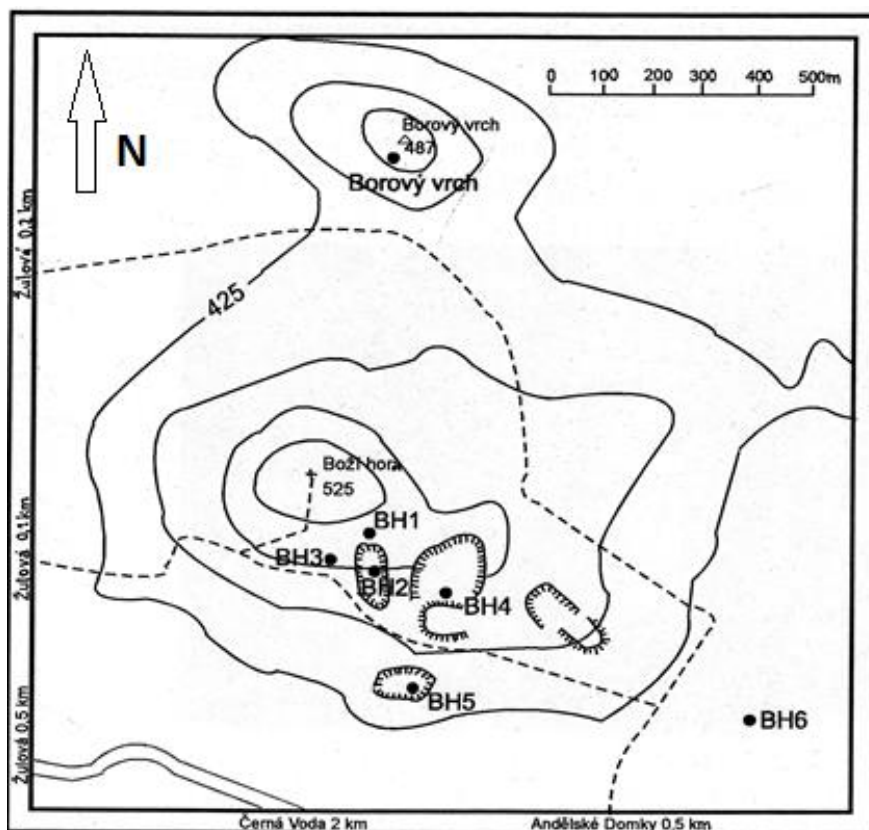
3.3 Borový vrch

Borový vrch u Žulové patří k významnějším nalezištím kontaktních minerálů na Žulovsku a od roku 1987 získal status národní přírodní památky. Vrchol se nalézá severně od Žulové. Lokalita leží jižně od vrcholu. Lokalitou je výkop nalézající se v lese, který je hojně navštěvován sběrateli minerálů. Délka výkopu je přibližně 23 metrů a šířka asi 5 metrů, v tomto výkopu se nachází zdejší skarnové těleso (Zimák et al. 2003).

Skarnové těleso má strmý průběh, nalézá se v bezprostřední blízkosti kontaktu kry parabřidlic s biotitický granitem. Větší část skarnové čočky je uložena v biotitické rule. Pouze v krátkém úseku rýhy se skarn stýkal s biotitickým granitem na straně jedné a s biotitickou rulou na straně druhé. Skarnové těleso dosahuje mocnosti až 70 cm. Existuje předpoklad, že toto skarnové těleso vzniklo totální skarnizací polohy karbonátových hornin v plášti granitové intruze. Skarnové těleso na Borovém vrchu nevykazuje výraznou mineralogickou zonálnost, která je charakteristická pro většinu taktitů a bimetasomatických zón v prostoru žulovského masivu. Skarn je tvořen hlavně grossulárem, křemenem, vesuvianem a epidotem. V partiích tvořených křemenem a grossularem se v podstatném množství vyskytuje vesuvian. Jedná se o sběratelsky nejcennější materiál, v němž se vyskytují relativně menší krystaly červeného až červenohnědého grossularu, který má hladké skelně lesklé krystalové plochy. Vesuvian zde tvoří zelenohnědé čtyřboké sloupce (někdy ukončené bazálními plochami) s délkou kolem 2 cm. Ovšem byla zde nalezena i nedokonale omezená individua o velikosti až 12 cm. V jiných partiích skarnů bohatých na křemen se nevyskytuje granát nebo jenom v malém množství, avšak vesuvian se zde vyskytuje hojně a tvoří často štíhlé hnědozelené sloupce až jehlice o délce do 5 cm. Drobná zrna žlutozeleného epidotu se vyskytují pouze místy. Běžnou součástí skarnového tělesa jsou křemen-epidotové partie, ve kterých epidot tvoří velká zrna a nedokonale vyvinuté sloupcové krystaly zelené nebo žlutozelené barvy (Zimák et al. 2003).

Chemické složení grossularu a vesuvianu z různých částí skarnového tělesa vykazuje pouze malou variabilitu. V případě epidotu je variabilita v obsahu Fe a Al.

Kontaktní minerály mohou být nacházeny pouze na okolních haldách. V literatuře (Jedlička 1995) se dokládá výskyt hessonitu, diopsidu, epidotu, vesuvianu a wollastonitu. Součástí kontaktních zón je také kalcit, který se nalézá v nepravidelných polohách.



Obr. 14: Mapka okolí Žulové – Boží hora a Borový vrch (Blažková 2002).

3.4 Staré Podhradí

Z okolí Starého Podhradí byly popsány tři lokality s kontaktními minerály. Podrobně jsou popsány v publikaci Rybák (1972). Ve vápencovém lomu u zříceniny hradu Kaltenštejna se nachází nejvýznamnější lokalita z nich. Kontaktní zóny jsou vázány na průniky žil pyroxenického pegmatitu hrubozrnným krystalickým vápencem. Kontaktní minerály jsou vyvinuty nepravidelně. Mocnost kontaktních zón se pohybuje v rozmezí od několika milimetrů do přibližně dvaceti centimetrů (Zimák et al. 1995).

Dalším nalezištěm kontaktních minerálů je lom severně od myslivny ve Starém Podhradí. Lom je nečinný, zarostlý a velmi zasutěný. Z kontaktních minerálů se zde nachází diopsid, hessonit, klinozoisit, vesuvian, epidot a scheelit. Zrna scheelitu vrůstají do granátu výjimečně i do vesuvianu.

Poslední lokalitou s kontaktními minerály je lom Hagenwasserbruch, který je rovněž zasutěný a zarostlý vegetací. Jedná se o jámový lom. Kontaktní zóny vznikaly na styku žuly s krystalickým vápencem. V tomto lomu byl nalezen

epidot, diopsid, klinozoisit a vesuvian. Lokalita je zdokumentována na obr. číslo 15.



Obr. 15: *Lokalita Staré Podhradí (foto Jakub Vylíčil).*

Experimentální část

4. Metodika

V terénní etapě v roce 2009 byly odebrány vzorky erlanu s vesuvianem a erlanu s minerály klinozoisit-epidotové řady z lokalit na Boží hoře, Borovém vrchu, ve Starém Podhradí a z Jaškova lomu. Současně byla provedena fotodokumentace lokalit, z nichž byly vzorky odebrány. V kapitole 4. (Významná naleziště vesuvianu a minerálů skupiny epidotu) jsou prezentovány fotografie stavu lokalit. Fotografie byly pořízeny digitálním fotoaparátem Panasonic Lumix DMC-FZ7. Následně byly odebrané vzorky rozřezány doc. Zimákem a připraveny na výrobu výbrusů, které byly zhotoveny na PŘF MU v Brně panem Jiřím Povolným.

V laboratorní části byly výbrusy poté fotograficky zdokumentovány v optickém polarizačním mikroskopu Olympus BX 50 pomocí fotoaparátu Olympus C-7070 v mikroskopické laboratoři na Katedře geologie PŘF UP v Olomouci. Do výbrusů jsem označil místa pro WDX analýzu. Chemismus vybraných minerálů byl studován na elektronové mikroskopě Cameca SX100 na PEMM PŘF MU Brno. Osobně byl jsem přítomen u analýz, které byly provedeny Mgr. Šárkou Benadovou, druhou polovinu analýz provedl Mgr. Petr Gadas za přítomnosti doc. Zimáka. Místa pro bodové analýzy ve vzorcích byly zvoleny tak, aby zachytily příčinu optické zonálnosti a možnou variaci v chemickém složení. Současně byly pořízeny snímky ve zpětně odražených elektronech. Závěrečná data byla zpracována pomocí programu MS Office – EXCEL a pro výrobu ternárních grafů byl použit program ProSim Ternary diagram. Všechna získaná data jsem zaokrouhlil po přepočtu na dvě desetinná místa a rovněž jsem vyřadil data, která byla stanovena pod mez detekce.

Jednotlivé WDX analýzy byly provedeny za následujících podmínek:

Minerály skupiny epidotu:

Velikost svazku: <1 μm , urychlovací napětí: 15 keV, proud svazku: 20 nA

Použité standardy: albit (Na), sanidin (Si,Al,K), MgAl_2O_4 (Mg), YAG (Y), fluorapatit (P), LaB_6 (La), CeAl_2 (Ce), U (U), chromit (Cr), almandin (Fe),

andradit (Ca), titanit (Ti), spessartin (Mn), PrF₃ (Pr), SmF₃ (Sm), NdF₃ (Nd), GdF₃ (Gd), REE (Dy), YErAG (Er), Th (Th), topaz (F), zirkon (Zr), SrSO₄ (Sr)

Vesuvian:

Velikost svazku: 3 μm, urychlovací napětí: 15 keV, proud svazku: 10 nA

Použité standardy: vanadinit (Cl), chromit (Cr), benitoit (Ba), hornblendit (Ti), albit (Na), sanidin (Si, K), sanidin (Al), MgAl₂O₄(Mg), andradit (Ca), fluorapatit (P), almandin (Fe), spessartin (Mn), Ni (Ni), gahnit (Zn), topaz (F), InAs (As), Sn (Sn)

Jednotlivé lokality jsou v tabulkách v kapitole 5. (výsledky měření označeny následovně: Žulová – Boží hora - BHx/x, Žulová – Borový vrch - BVx/x, Staré Podhradí – STPx.

Použité zkratky minerálů jsou podle Kretze (1983): Ep – epidot, Grt – granát, Qtz – křemen, Tnt – titanit, Ves – vesuvian.

4.1 Použité technologie

Optické polarizační mikroskopie

Mikroskopy: Olympus BX-50p, Olympus BX-41

Elektronová mikrosonda (WDX analýza)

Cameca SX100 (uvedena do provozu v r. 2003)

- 5 WD spektrometrů, 1 ED spektrometr, BSE, SE a CL detektory
- přístroj je vybaven optickým mikroskopem pro pozorování v procházejícím a odraženém světle (i polarizovaném)
- umožňuje měřit B-U, standardně však F-U

Skenovací elektronový mikroskop JEOL 6490 LV

(uveden do provozu v r. 2008)

- možnost práce v režimu nízkého vakua, i pro nepokovené vzorky
- BSE, SE, LV-SE detektor
- zvětšení 4x-300 000, reálně 4x-50 000x.
- ED spektrometr LN2-free

Vakuová naprašovačka Edwards

- modernizovaná vakuová jednotka vybavená turbomolekulární pumpou
- nanášení homogenní grafitové vrstvy je zajištěno systémem dvojí rotace a náklonu vzorku dostatečně vzdáleného od uhlíkových elektrod.

5. Výsledky měření

5.1 Chemismus minerálů skupiny epidotu

Minerály skupiny epidotu byly přepočteny na základě vzorce $\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{Fe}^{3+},\text{Al})[\text{O}|\text{OH}|\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7]$ (Gregerová et al. 2002).

V následujících tabulkách jsou data získaná z jednotlivých WDX analýz minerálů skupiny epidotu v hm% včetně jejich přepočtů na 12,5 atomu kyslíku. Tabulky jsou rozděleny podle lokalit odběru vzorku.

Tabulka 1: Chemismus epidotu z lokality Staré Podhradí (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce jsou přepočteny na bázi 12,5 kyslíku)

Označení bodu analýzy	83 / 1.	84 / 1.	92 / 1.	93 / 1.	94 / 1.	99 / 1.	100 / 1
Na ₂ O	0	0	0,09	0	0	0	0
SiO ₂	38,16	37,43	37,98	37,59	37,75	38,01	37,27
Al ₂ O ₃	25,95	25,86	25,63	25,67	25,90	26,93	25,88
MgO	0,08	0,09	0,07	0	0	0,05	0
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0	0	0
La ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Ce ₂ O ₃	0	0	0,09	0	0	0	0
UO ₂	0	0	0	0	0	0	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	10,25	9,82	10,83	9,39	9,77	8,98	9,34
CaO	24,01	23,95	23,18	23,72	23,62	24,49	23,26
TiO ₂	0	0,07	0,07	0,08	0	0,10	0,06
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,28	0,31	0,32	0,11	0,23	0,13	0,15
Pr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Sm ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Nd ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Gd ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Dy ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
Er ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0
ThO ₂	0	0	0	0	0	0	0
ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	0
SrO	0	0	0	0	0	0	0
F	0,16	0,14	0,13	0,1	0,09	0,23	0,06
Celkem	98,88	97,66	98,39	96,65	97,36	98,93	96,02
Na	0	0	0,01	0	0	0	0
Si	2,98	2,96	2,99	3,00	2,99	2,96	2,99
Al	2,39	2,41	2,38	2,41	2,42	2,47	2,44

Mg	0,01	0,01	0,01	0	0	0,01	0
Y	0	0	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0
La	0	0	0	0	0	0	0
Ce	0	0	0	0	0	0	0
U	0	0	0	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0
Fe³⁺	0,60	0,59	0,64	0,56	0,58	0,53	0,56
Ca	2,01	2,03	1,95	2,03	2,00	2,05	2,00
Ti	0	0	0	0	0	0,01	0
K	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Pr	0	0	0	0	0	0	0
Sm	0	0	0	0	0	0	0
Nd	0	0	0	0	0	0	0
Gd	0	0	0	0	0	0	0
Dy	0	0	0	0	0	0	0
Er	0	0	0	0	0	0	0
Th	0	0	0	0	0	0	0
Zr	0	0	0	0	0	0	0
Sr	0	0	0	0	0	0	0
F	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,06	0,01
Suma kationtů	8,06	8,07	8,04	8,03	8,03	8,09	8,02
Suma aniontů	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Suma kyslíku	12,46	12,46	12,47	12,48	12,48	12,44	12,49
Lokalita	STP3 E	STP3 E	STP3 F	STP2 A	STP2 A	STP2 C	STP2 C

Tabulka 2: *Chemismus epidotu z lokality Boží hora (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce jsou přepočteny na bázi 12,5 kyslíku)*

Označení bodu analýzy	12 / 1 .	13 / 1 .	16 / 1 .	17 / 1 .	18 / 1 .
Na₂O	0	0	0	0	0
SiO₂	37,84	37,66	37,99	37,93	37,94
Al₂O₃	24,51	24,43	25,35	25,03	25,22
MgO	0	0	0	0	0
Cr₂O₃	0	0	0	0	0
P₂O₅	0	0,119	0	0	0
CaO	23,96	23,64	24,30	23,90	24,38
K₂O	0	0	0	0	0
TiO₂	0,38	0,09	0,06	0,07	0,06
Fe₂O₃	11,13	11,83	10,46	10,35	10,49
MnO	0,326	0,259	0,159	0,176	0
NiO	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0
V₂O₃	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0,03	0
F	0,14	0,12	0,11	0,17	0,26
Celkem	98,28	98,14	98,43	97,64	98,35
Na	0	0	0	0	0

Si	2,99	2,98	2,99	3,01	2,99
Al	2,28	2,28	2,35	2,34	2,34
Mg	0	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0
Ca	2,03	2,01	2,05	2,03	2,06
K	0	0	0	0	0
Ti	0,02	0,01	0	0	0
Fe ³⁺	0,66	0,71	0,62	0,62	0,62
Mn	0,02	0,02	0,01	0,01	0
Ni	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	0
F	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06
Suma kationtů	8,05	8,04	8,05	8,06	8,09
Suma aniontů	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Suma kyslíku	12,47	12,47	12,47	12,45	12,44
Lokalita	BH2_3	BH2_3	BH2_3	BH2_3	BH2_3

Tabulka 3: *Chemismus epidotu z lokality Borový vrch (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce jsou přepočteny na bázi 12,5 kyslíku)*

Označení bodu analýzy	46 / 1 .	47 / 1 .	48 / 1 .	49 / 1 .	70 / 1 .	71 / 1 .
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0
SiO ₂	37,19	37,18	38,00	37,70	37,12	37,75
Al ₂ O ₃	22,95	21,13	23,99	22,48	20,41	22,31
MgO	0	0	0	0	0	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0	0
CaO	24,06	24,10	24,26	23,41	23,53	23,89
K ₂ O	0	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0,07	0	0,08	0
Fe ₂ O ₃	13,40	15,99	11,99	13,98	17,27	14,97
MnO	0	0,10	0,11	0	0	0,33
NiO	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0
V ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	0	0
F	0,08	0	0,13	0,10	0,12	0,09
Celkem	97,67	98,50	98,55	97,66	98,51	99,34
Na	0	0	0	0	0	0
Si	2,98	2,99	3,00	3,02	2,99	2,99
Al	2,17	2,00	2,24	2,12	1,94	2,08
Mg	0	0	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0	0
Ca	2,07	2,07	2,05	2,01	2,03	2,03

K	0	0	0	0	0	0
Ti	0	0	0	0	0	0
Fe³⁺	0,81	0,97	0,71	0,84	1,05	0,89
Mn	0	0,01	0,01	0	0	0,02
Ni	0	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	0	0
F	0,02	0	0,03	0,02	0,03	0,02
Suma kationtů	8,05	8,03	8,05	8,02	8,04	8,04
Suma aniontů	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Suma kyslíku	12,48	12,50	12,47	12,48	12,47	12,48
Lokalita	BV 1_6	BV 1_6	BV 1_6	BV 1_6	BV 1_16	BV 1_16

Tabulka 4: *Chemismus epidotu z lokality Borový vrch (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce jsou přepočteny na bázi 12,5 kyslíku)*

Označení bodu analýzy	72 / 1 .	73 / 1 .	74 / 1 .	75 / 1 .	76 / 1 .	77 / 1 .
Na₂O	0	0	0	0	0	0
SiO₂	37,67	37,74	37,15	37,31	37,19	37,22
Al₂O₃	22,39	22,09	20,89	22,43	20,64	20,27
MgO	0	0	0	0	0	0
Cr₂O₃	0	0	0	0	0	0
P₂O₅	0	0	0	0	0	0
CaO	24,11	23,27	22,59	23,89	23,60	22,61
K₂O	0	0	0	0	0	0
TiO₂	0	0	0	0	0	0
Fe₂O₃	14,44	14,74	16,45	14,47	16,56	17,23
MnO	0	0,33	0,50	0,30	0,22	0,56
NiO	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0	0
V₂O₃	0	0	0	0	0	0
Cl	0,02	0	0	0	0	0,05
F	0,08	0,14	0,10	0,11	0	0
Celkem	98,72	98,31	97,68	98,50	98,21	97,94
Na	0	0	0	0	0	0,00
Si	3,00	3,02	3,01	2,98	3,00	3,01
Al	2,10	2,08	1,99	2,11	1,96	1,93
Mg	0	0	0	0	0	0,00
Cr	0	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0	0
Ca	2,06	1,99	1,96	2,05	2,04	1,96
K	0	0	0	0	0	0
Ti	0	0	0	0	0	0

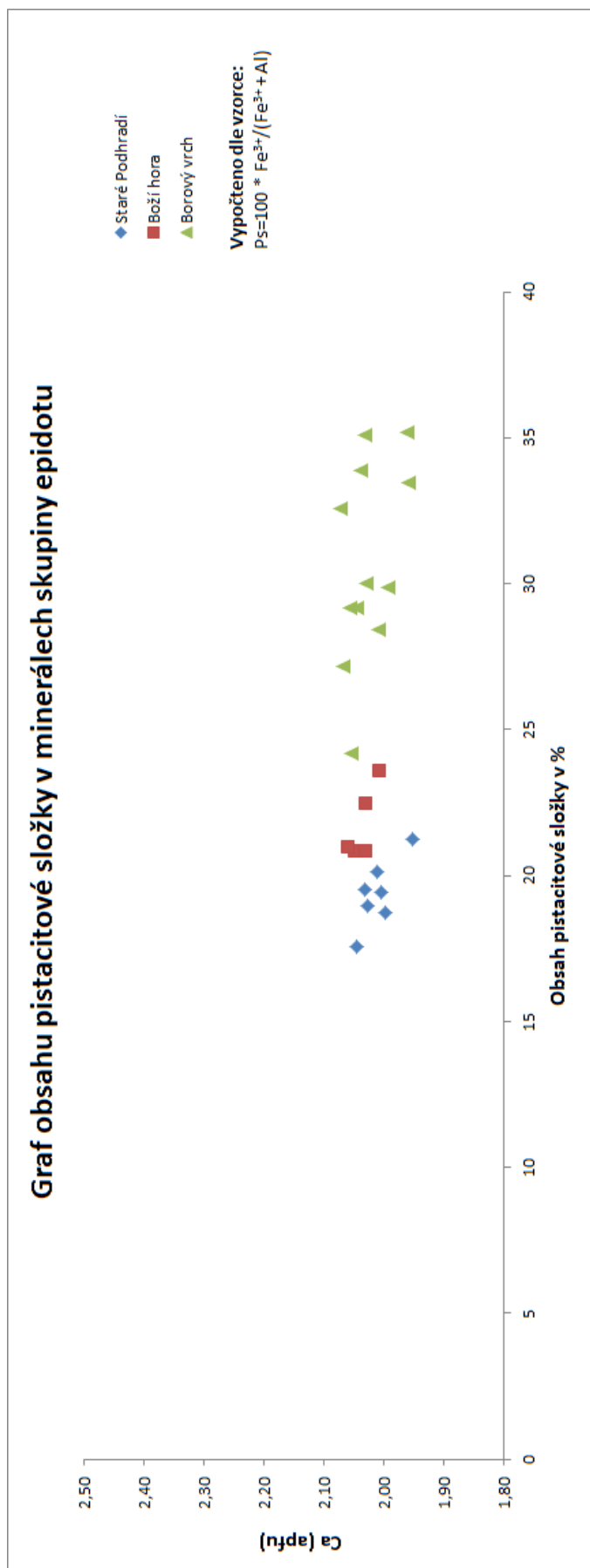
Fe³⁺	0,86	0,89	1,00	0,87	1,00	1,05
Mn	0	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04
Ni	0	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0
Cl	0	0	0	0	0	0,01
F	0,02	0,04	0,03	0,03	0	0
Suma kationtů	8,04	8,03	8,02	8,05	8,02	8,00
Suma aniontů	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Suma kyslíku	12,48	12,46	12,47	12,47	12,50	12,49
Lokalita	BV 1_16	BV 1_16	BV 1_16	BV 1_16	BV 1_16	BV 1_16

Na lokalitě Staré Podhradí mají minerály skupiny epidotu dominantní zastoupení prvků Si (2,96-3,00 apfu) s průměrem 2,98 apfu, Al (2,38-2,44 apfu) s průměrem 2,42 apfu, Ca (1,95-2,05 apfu) s průměrem 2,01 apfu a Fe³⁺ (0,53-0,64 apfu) s průměrem 0,58 apfu. Z dalších prvků se minoritně vyskytuje Mn, Ti, F a stopově dokonce Mg. Obsah pistacitové složky se pohybuje v rozmezí Ps₁₈₋₂₀.

Na lokalitě Boží hora mají dominantní zastoupení prvky Si (2,98-3,01 apfu) s průměrem 2,99 apfu, Al (2,28-2,35 apfu) s průměrem 2,32 apfu, Ca (2,01-2,06 apfu) s průměrem 2,04 apfu a Fe³⁺ (0,62-0,71 apfu) s průměrem 0,65 apfu. Z dalších prvků se minoritně vyskytuje Mn, Ti a F. Obsah pistacitové složky se pohybuje v rozmezí Ps₂₁₋₂₄.

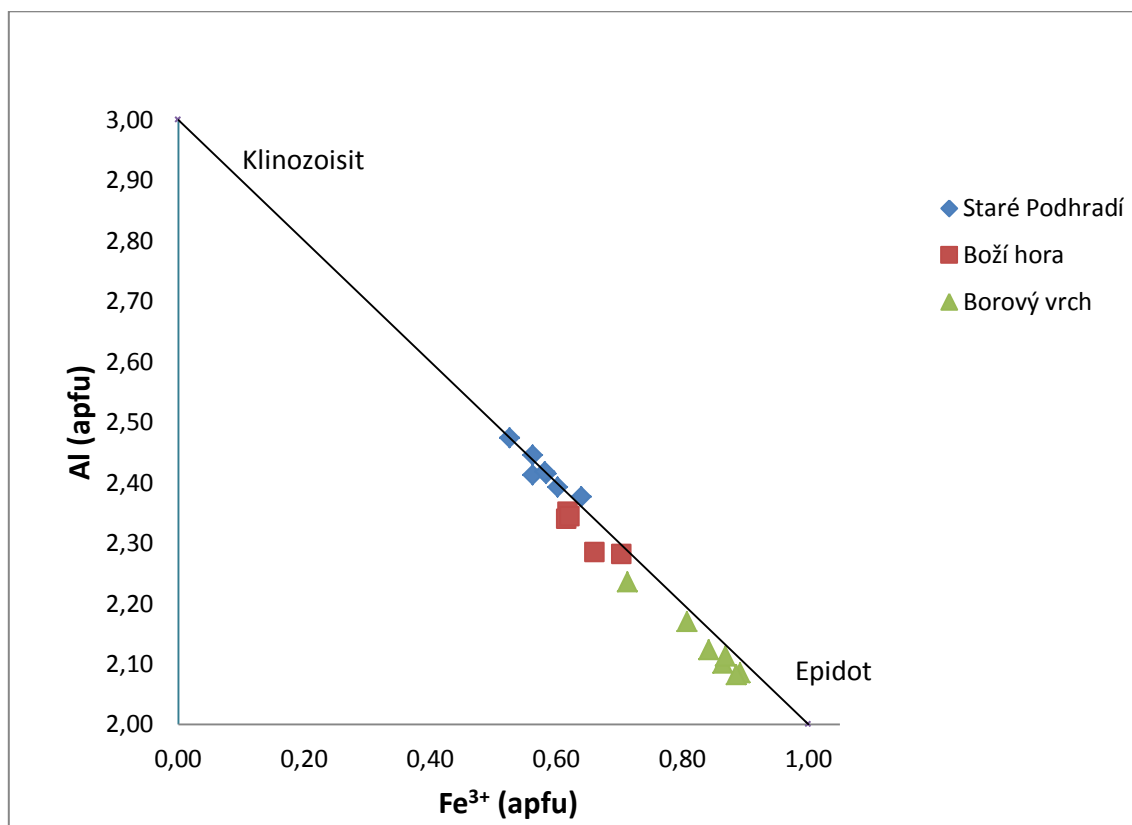
Na lokalitě Borový vrch mají dominantní zastoupení prvky Si (2,98-3,02 apfu) s průměrem 3,0 apfu, Al (1,93-2,24 apfu) s průměrem 2,06 apfu, Ca (1,96-2,07 apfu) s průměrem 2,03 apfu a Fe³⁺ (0,81-1,05 apfu) s průměrem 0,91 apfu. Z dalších prvků se minoritně vyskytuje Mn a F. Obsah pistacitové složky se pohybuje v rozmezí Ps₂₄₋₃₅.

Jednotlivé lokality liší v rozdílném obsahu pistacitové složky, která vyjadřuje rozsah substituce Al \leftrightarrow Fe³⁺. Rozdíly obsahu Al \leftrightarrow Fe³⁺ jsou patrné i v průměrném zastoupení těchto prvků z jednotlivých lokalit a procentuální obsah pistacitové složky (viz obr. 16) má tendenci stoupat v pořadí Staré Podhradí, Boží hora a Borový vrch.



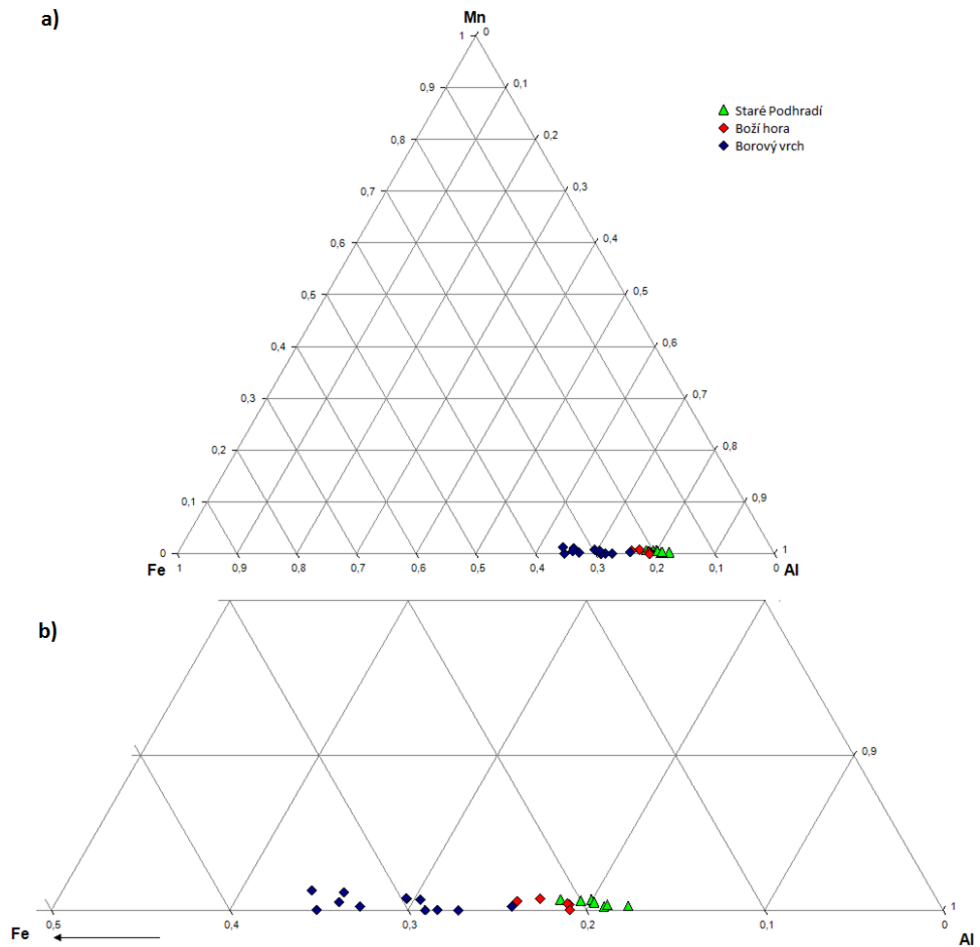
Obr. 16: Graf závislosti obsahu pistacitové složky v % v závislosti na obsahu Ca (apfu)

Na základě získaných hodnot stechiometrických koeficientů byl vytvořen korelační graf, který vyjadřuje možné substituce Fe^{3+} a Al v minerálech skupiny epidotu viz obr. 17. Obecně se dá z grafu vyvodit závislost, ve které se chemické složení blíží směrem k epidotu v pořadí lokalit Staré Podhradí, Boží hora a Borový vrch, kde je složení minerálu nejbližší složení epidotu.

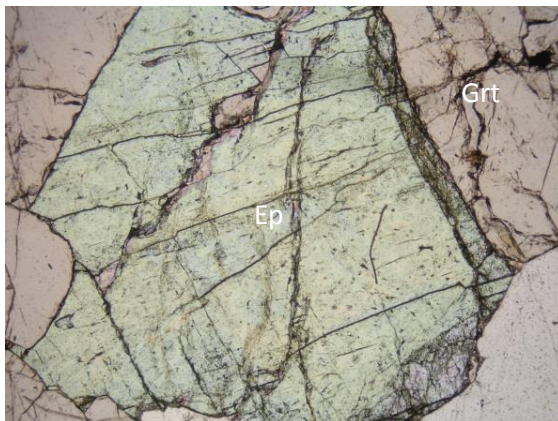


Obr. 17: Korelace Fe^{3+} - Al v minerálech skupiny epidotu

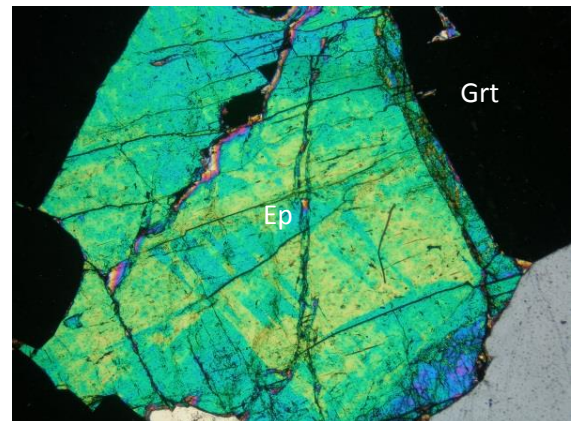
Výsledky prezentované v ternárním grafu Fe-Al-Mn na obr. 18 ukazují závislost Fe^{3+} -Al v korelaci na Mn, které díky minoritnímu zastoupení ve vzorcích nezpůsobuje v grafu výrazné změny.



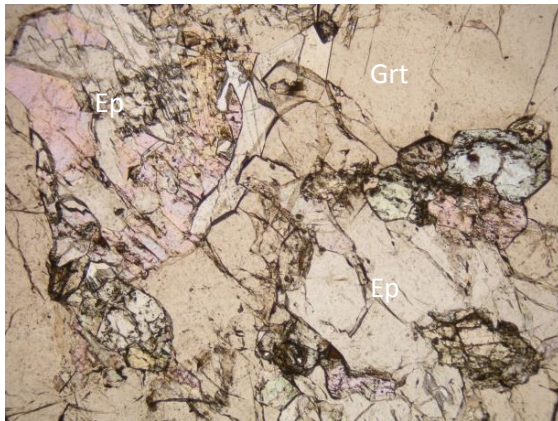
Obr. 18: a) Projekce chemického složení Fe – Al – Mn v analyzovaných vzorcích epidotu, b) Výřez z ternárního diagramu



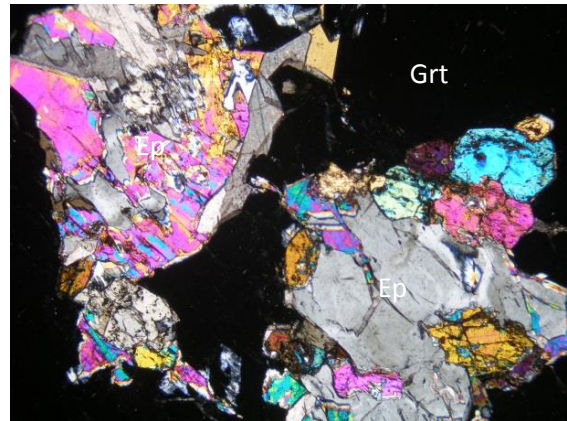
Obr. 19: Výbrus z lokality Staré Podhradí v PPL, šíře snímku 0,8 mm – Na obrázku je hypautomorfně omezené zrna epidotu obklopené granátem a křemenem vpravo dole (foto Jakub Vylíčil).



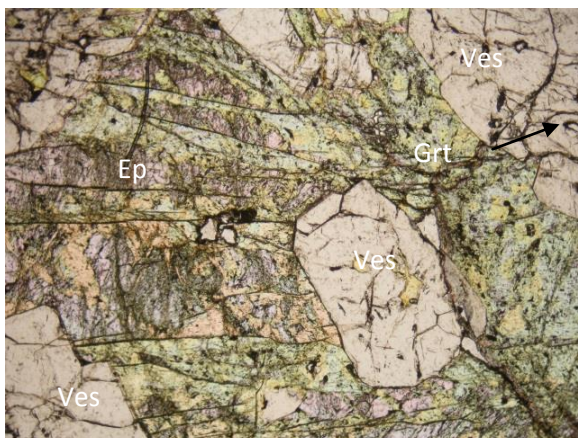
Obr. 20: Výbrus z lokality Staré Podhradí v XPL, šíře snímku 0,8 mm - Na obrázku je hypautomorfně omezené zrna epidotu obklopené granátem a křemenem vpravo dole (foto Jakub Vylíčil).



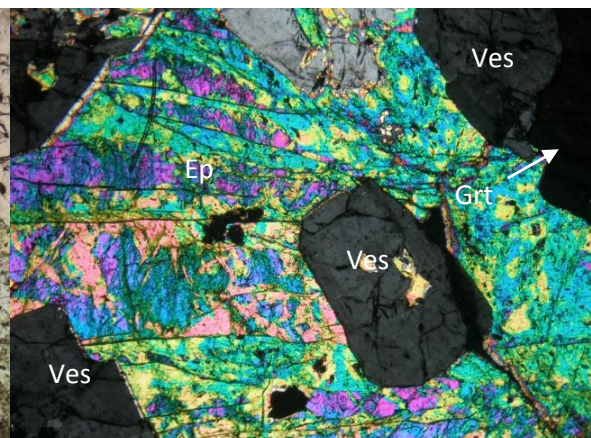
Obr. 21: Výbrus z lokality Boží hora v PPL, šíře snímku 0,8 mm - Na obrázku je xenomorfně omezené zrna epidotu obklopené granátem (foto Jakub Vylíčil).



Obr. 22: Výbrus z lokality Boží hora v XPL, šíře snímku 0,8 mm - Na obrázku je xenomorfně omezené zrna epidotu obklopené granátem (foto Jakub Vylíčil).



Obr. 23: Výbrus z lokality Borový vrch v PPL, šíře snímku 0,8 mm - Na obrázku je hypautomorfně omezené zrna epidotu, které uzavírá automorfní zrna vesuvianu s xenomorfním zrnem granátu vpravo nahoře (foto Jakub Vylíčil).



Obr. 24: Výbrus z lokality Borový vrch v XPL, šíře snímku 0,8 mm - Na obrázku je hypautomorfně omezené zrna epidotu, které uzavírá automorfní zrna vesuvianu s xenomorfním zrnem granátu vpravo nahoře (foto Jakub Vylíčil).

5.2 Chemismus vesuvianu

Vesuvian byl přepočten na základě empirického vzorce $\text{Ca}_{19}(\text{Al}, \text{Fe})_{10}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{Si}_2\text{O}_7]_4[\text{SiO}_4]_{10}(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_{10}$ (Deer et al. 1997).

V následujících tabulkách jsou data získaná z jednotlivých WDX analýz vesuvianu v hm% včetně jejich přepočtů na 50 kationtů. Tabulky jsou rozděleny podle lokalit odběru vzorku.

Tabulka 5: Chemismus vesuvianu z lokality Staré Podhradí (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce přepočteny na 50 kationtů)

Označení bodu analýzy	85 / 1 .	86 / 1 .	87 / 1 .	88 / 1 .	89 / 1 .
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0
TiO ₂	1,19	0,93	0,00	0,06	0,34
Na ₂ O	0,11	0,11	0	0,10	0
SiO ₂	36,87	36,32	37,30	36,68	37,43
Al ₂ O ₃	16,41	16,92	18,97	17,70	17,16
MgO	1,14	0,98	2,17	2,28	2,09
CaO	36,45	35,74	37,45	35,85	36,04
K ₂ O	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0
FeO	5,48	6,00	1,79	3,03	3,32
MnO	0,34	0,29	0	0	0
NiO	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0
As ₂ O ₃	0	0	0	0	0
SnO	0	0	0	0	0
Cl	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05
F	2,38	2,42	2,05	2,32	2,37
Celkem	97,99	97,29	97,69	95,71	96,36
Cr	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0
Ti	0,43	0,34	0,00	0,02	0,12
Na	0,10	0,10	0,00	0,10	0,00
Si	17,91	17,77	17,84	17,96	18,28
Al	9,39	9,75	10,70	10,21	9,87
Mg	0,83	0,72	1,55	1,67	1,52
Ca	18,97	18,74	19,20	18,80	18,85
K	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0
Fe ²⁺	2,23	2,46	0,72	1,24	1,36
Mn	0,14	0,12	0	0	0

Ni	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0
As	0	0	0	0	0
Sn	0	0	0	0	0
Cl	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04
F	3,66	3,75	3,10	3,59	3,65
Suma kationtů	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Suma kyslíku	72,99	72,94	73,19	73,04	73,34
Suma aniontů	76,70	76,74	76,32	76,65	77,03
Lokalita	STP3 E	STP3 E	STP3 F	STP3 F	STP3 F

Tabulka 6: *Chemismus vesuvianu z lokality Staré Podhradí (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce přepočteny na 50 kationtů)*

Označení bodu analýzy	90 / 1 .	91 / 1 .	97 / 1 .	98 / 1 .
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0
BaO	0	0,18	0	0
TiO ₂	0,60	1,44	0	0
Na ₂ O	0	0	0	0
SiO ₂	37,07	36,17	37,34	37,17
Al ₂ O ₃	16,03	16,38	17,87	17,44
MgO	2,16	0,98	1,43	1,44
CaO	36,95	35,38	35,98	35,54
K ₂ O	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0	0	0	0
FeO	3,97	6,12	4,37	4,56
MnO	0	0,39	0,18	0,14
NiO	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0
As ₂ O ₃	0	0	0	0
SnO	0	0	0	0
Cl	0,06	0,05	0,08	0,07
F	2,29	2,30	2,31	2,23
Celkem	96,77	97,03	97,17	96,28
Cr	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0
Ti	0,22	0,53	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,00
Si	18,08	17,83	18,15	18,24
Al	9,21	9,52	10,23	10,09
Mg	1,57	0,72	1,04	1,05
Ca	19,31	18,68	18,73	18,69
K	0	0	0	0
P	0	0	0	0
Fe ²⁺	1,62	2,52	1,78	1,87
Mn	0	0,16	0,07	0,06

Ni	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0
As	0	0	0	0
Sn	0	0	0	0
Cl	0,05	0,04	0,07	0,05
F	3,53	3,59	3,55	3,46
Suma kationtů	50,00	50,00	50,00	50,00
Suma kyslíku	72,90	73,12	73,26	73,29
Suma aniontů	76,48	76,75	76,88	76,80
Lokalita	STP3 F	STP3 F	STP2 C	STP2 C

Tabulka 7: *Chemismus vesuvianu z lokality Boží hora (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce přepočteny na 50 kationtů)*

Označení bodu analýzy	1 / 1 .	2 / 1 .	3 / 1 .	4 / 1 .	5 / 1 .
Na ₂ O	0	0,14	0,13	0	0
SiO ₂	36,43	36,50	36,94	36,53	36,94
Al ₂ O ₃	16,71	16,70	17,02	16,66	17,40
MgO	1,26	1,29	1,25	1,24	2,41
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0
CaO	36,41	36,37	36,74	36,18	37,51
K ₂ O	0	0	0	0	0
TiO ₂	1,07	1,29	1,07	1,28	0
FeO	4,94	4,68	4,53	4,56	2,74
MnO	0,11	0	0,08	0	0
NiO	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0
V ₂ O ₃	0	0	0	0	0
Cl	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04
F	2,15	2,06	2,05	2,04	2,57
Celkem	99,16	99,09	99,85	98,55	99,62
Na	0	0,14	0,12	0	0
Si	17,85	17,85	17,91	17,98	17,84
Al	9,65	9,63	9,73	9,66	9,91
Mg	0,92	0,94	0,90	0,91	1,74
Cr	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0
Ca	19,11	19,06	19,08	19,09	19,41
K	0	0	0	0	0
Ti	0,39	0,47	0,39	0,47	0
Fe ²⁺	2,03	1,91	1,84	1,88	1,11
Mn	0,05	0	0,03	0	0
Ni	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0

Ba	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
Cl	0,06	0,05	0,04	0,05	0,03
F	3,33	3,18	3,14	3,18	3,92
Suma kationtů	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Suma kyslíku	73,07	73,07	73,10	73,29	72,79
Suma aniontů	76,46	76,31	76,28	76,52	76,75
Lokalita	BH2/2	BH2/3	BH2_2	BH2_2	BH2_2

Tabulka 8: *Chemismus vesuvianu z lokality Boží hora (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce přepočteny na 50 kationtů).*

<i>Označení bodu analýzy</i>	6 / 1 .	14 / 1 .	15 / 1 .	31 / 1 .	32 / 1 .
Na₂O	0	0	0	0,13	0,11
SiO₂	36,41	36,58	36,36	36,38	36,52
Al₂O₃	17,40	16,72	16,24	17,06	17,32
MgO	1,10	2,41	2,26	1,15	1,10
Cr₂O₃	0	0	0	0	0
P₂O₅	0	0	0	0	0
CaO	35,87	36,73	35,92	36,56	36,47
K₂O	0	0	0	0	0
TiO₂	1,02	0,80	1,30	0,91	1,02
FeO	5,17	3,78	3,97	4,88	4,54
MnO	0,50	0,10	0,14	0,13	0,10
NiO	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0,15	0
BaO	0	0	0	0	0
V₂O₃	0	0	0	0	0
Cl	0,02	0,04	0,07	0,04	0,05
F	0,39	2,27	2,14	2,26	2,16
Celkem	100,05	99,44	98,40	99,63	99,39
Na	0	0	0	0,12	0,10
Si	17,39	17,75	17,86	17,73	17,81
Al	10,07	9,56	9,40	9,80	9,96
Mg	0,80	1,74	1,66	0,84	0,80
Cr	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0
Ca	18,45	19,09	18,91	19,09	19,06
K	0	0	0	0	0
Ti	0,38	0,29	0,48	0,33	0,37
Fe²⁺	2,88	1,53	1,63	1,99	1,85
Mn	0,20	0,04	0,06	0,05	0,04
Ni	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0,05	0
Ba	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0

Cl	0,02	0,03	0,06	0,03	0,04
F	3,59	3,49	3,32	3,48	3,33
Suma kationtů	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Suma kyslíku	73,43	72,82	73,04	72,90	73,11
Suma aniontů	77,04	76,34	76,42	76,41	76,48
Lokalita	BH2_3	BH2_3	BH2_3	BH 1_1	BH 1_1

Tabulka 9: *Chemismus vesuvianu z lokality Boží hora (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce přepočteny na 50 kationtů).*

Označení bodu analýzy	33 / 1 .	35 / 1 .	36 / 1 .	37 / 1 .	38 / 1 .
Na ₂ O	0	0	0	0	0
SiO ₂	36,38	36,64	37,25	36,90	37,09
Al ₂ O ₃	17,18	17,78	18,34	16,82	18,03
MgO	1,03	1,22	2,05	2,27	2,12
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0
CaO	36,30	36,19	37,38	36,93	37,14
K ₂ O	0	0	0	0	0
TiO ₂	0,93	0,46	0	0	0
FeO	4,66	4,33	2,75	3,76	2,87
MnO	0,15	0,13	0	0	0
NiO	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0
V ₂ O ₃	0	0	0	0	0
Cl	0,04	0,16	0,05	0,06	0,08
F	2,19	1,64	2,42	2,49	2,37
Celkem	98,85	98,55	100,24	99,24	99,69
Na	0	0	0	0	0
Si	17,87	17,92	17,86	17,94	17,88
Al	9,95	10,25	10,36	9,64	10,25
Mg	0,76	0,89	1,47	1,64	1,52
Cr	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0
Ca	19,11	18,96	19,21	19,24	19,19
K	0	0	0	0	0
Ti	0,34	0,17	0	0	0
Fe ²⁺	1,91	1,77	1,10	1,53	1,16
Mn	0,06	0,05	0	0	0
Ni	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
Cl	0,03	0,14	0,04	0,05	0,06
F	3,40	2,53	3,67	3,82	3,61

Suma kationtů	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Suma kyslíku	73,19	73,21	73,04	72,77	73,01
Suma aniontů	76,62	75,88	76,75	76,64	76,68
Lokalita	BH 1_1	BH 1_1	BH 1_1	BH 1_1	BH 1_1

Tabulka 10: *Chemismus vesuvianu z lokality Borový vrch (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce přepočteny na 50 kationtů).*

Označení bodu analýzy	39 / 1 .	40 / 1 .	41 / 1 .	43 / 1 .	54 / 1 .	55 / 1 .
Na₂O	0	0	0,14	0,12	0	0
SiO₂	36,63	36,66	36,19	36,29	36,46	36,84
Al₂O₃	16,53	17,15	16,93	16,92	17,38	17,65
MgO	1,10	0,84	0,92	1,16	0,67	2,37
Cr₂O₃	0	0	0	0	0	0
P₂O₅	0	0	0	0	0	0
CaO	36,07	36,45	36,00	36,17	36,50	37,54
K₂O	0	0	0	0	0	0
TiO₂	1,02	0,81	0,76	0,56	0,11	0,07
FeO	5,49	4,67	5,11	5,28	5,73	2,83
MnO	0,19	0,19	0,18	0,19	0,23	0
NiO	0	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0	0,17
BaO	0	0	0	0	0	0
V₂O₃	0	0	0	0	0	0
Cl	0,05	0,04	0	0,04	0,04	0,03
F	2,25	2,30	2,33	2,34	2,37	2,43
Celkem	99,31	99,10	98,54	99,05	99,47	99,92
Na	0	0	0,13	0,11	0	0
Si	17,97	18,00	17,86	17,80	17,85	17,72
Al	9,56	9,92	9,84	9,78	10,03	10,01
Mg	0,80	0,61	0,68	0,84	0,49	1,70
Cr	0	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0	0
Ca	18,96	19,17	19,03	19,01	19,15	19,35
K	0	0	0	0	0	0
Ti	0,38	0,30	0,28	0,21	0,04	0,02
Fe²⁺	2,25	1,92	2,11	2,17	2,35	1,14
Mn	0,08	0,08	0,07	0,08	0,09	0
Ni	0	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0
Cl	0,04	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03
F	3,49	3,57	3,63	3,64	3,66	3,69
Suma kationtů	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Suma kyslíku	73,13	73,26	72,99	72,84	72,91	72,75

Suma aniontů	76,67	76,86	76,62	76,51	76,60	76,47
Lokalita	BV 1_20	BV 1_20	BV 1_20	BV 1_20	BV 1_42	BV 1_42

Tabulka 11: *Chemismus vesuvianu z lokality Borový vrch (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce přepočteny na 50 kationtů).*

Označení bodu analýzy	56 / 1 .	57 / 1 .	58 / 1 .	59 / 1 .	60 / 1 .
Na₂O	0	0,14	0	0,17	0
SiO₂	36,81	36,45	36,17	36,59	36,36
Al₂O₃	17,31	16,71	16,23	17,10	16,58
MgO	2,39	1,02	1,05	0,74	1,08
Cr₂O₃	0	0	0	0	0
P₂O₅	0	0	0	0	0
CaO	37,25	36,05	35,93	36,47	36,26
K₂O	0	0	0	0	0
TiO₂	0,06	0,95	0,72	0,95	0,81
FeO	2,75	5,48	6,10	5,09	5,91
MnO	0	0,21	0,21	0,15	0,20
NiO	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0
V₂O₃	0	0	0	0	0
Cl	0,04	0,05	0,06	0,04	0,04
F	2,44	2,21	2,30	2,31	2,28
Celkem	99,05	99,27	98,76	99,61	99,50
Na	0	0,14	0	0,16	0
Si	17,87	17,86	17,88	17,88	17,81
Al	9,90	9,65	9,45	9,84	9,57
Mg	1,73	0,75	0,77	0,54	0,79
Cr	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0
Ca	19,37	18,93	19,03	19,09	19,03
K	0	0	0	0	0
Ti	0,02	0,35	0,27	0,35	0,30
Fe²⁺	1,12	2,24	2,52	2,08	2,42
Mn	0	0,09	0,09	0,06	0,08
Ni	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
Cl	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03
F	3,75	3,42	3,60	3,56	3,53
Suma kationtů	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Suma kyslíku	72,84	72,97	72,87	73,07	72,90
Suma aniontů	76,62	76,43	76,51	76,67	76,46
Lokalita	BV 1_42	BV 1_42	BV 1_42	BV 1_42	BV 1_42

Tabulka 12: *Chemismus vesuvianu z lokality Borový vrch (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce přepočteny na 50 kationtů).*

Označení bodu analýzy	61 / 1 .	62 / 1 .	63 / 1 .	64 / 1 .	65 / 1 .
Na₂O	0	0,13	0,16	0	0,12
SiO₂	36,50	36,18	36,36	36,82	36,31
Al₂O₃	17,32	16,33	17,01	17,19	16,73
MgO	2,43	0,93	1,10	2,37	0,74
Cr₂O₃	0	0	0	0	0
P₂O₅	0	0	0	0	0
CaO	36,47	36,16	35,81	36,95	36,07
K₂O	0	0	0	0	0
TiO₂	0	1,07	0,36	0	0,54
FeO	2,88	5,59	5,13	3,01	5,96
MnO	0	0,16	0,18	0	0,25
NiO	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0,13	0
BaO	0	0	0	0	0
V₂O₃	0	0	0	0	0
Cl	0,04	0,06	0,06	0,05	0,06
F	2,36	2,14	2,36	2,49	2,36
Celkem	98,00	98,73	98,52	99,01	99,15
Na	0	0,12	0,15	0	0,12
Si	17,89	17,84	17,92	17,91	17,86
Al	10,01	9,49	9,88	9,85	9,70
Mg	1,78	0,68	0,81	1,72	0,55
Cr	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0
Ca	19,15	19,11	18,91	19,25	19,01
K	0	0	0	0	0
Ti	0	0,40	0,13	0	0,20
Fe²⁺	1,18	2,30	2,12	1,22	2,45
Mn	0,00	0,07	0,08	0	0,11
Ni	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0,05	0
Ba	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
Cl	0,03	0,05	0,05	0,04	0,05
F	3,66	3,34	3,67	3,83	3,67
Suma kationtů	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Suma kyslíku	72,89	72,92	72,92	72,83	72,86
Suma aniontů	76,58	76,30	76,64	76,71	76,57
Lokalita	BV 1_42	BV 1_42	BV 1_42	BV 1_42	BV 1_42

Tabulka 13: *Chemismus vesuvianu z lokality Borový vrch (WDX analýzy v hm%, koeficienty empirického vzorce přepočteny na 50 kationtů).*

Označení bodu analýzy	66 / 1 .	67 / 1 .	68 / 1 .	69 / 1 .	78 / 1 .
Na₂O	0,16	0	0,14	0	0
SiO₂	36,40	36,88	36,31	36,06	36,67
Al₂O₃	16,77	17,38	16,83	16,19	17,69
MgO	1,11	2,44	0,97	1,03	1,94
Cr₂O₃	0	0	0	0	0
P₂O₅	0	0	0	0	0
CaO	36,19	37,26	36,04	36,16	36,64
K₂O	0	0	0	0	0
TiO₂	0,90	0	0,76	0,90	0,70
FeO	5,63	2,60	5,52	5,71	3,43
MnO	0,22	0	0,22	0,18	0
NiO	0	0	0	0	0
ZnO	0	0	0	0	0
BaO	0	0	0	0	0
V₂O₃	0	0	0	0	0
Cl	0,06	0,03	0,05	0,05	0,21
F	2,29	2,46	2,34	2,26	1,56
Celkem	99,73	99,05	99,17	98,54	98,84
Na	0,15	0,00	0,13	0	0
Si	17,76	17,89	17,83	17,85	17,79
Al	9,64	9,94	9,74	9,44	10,11
Mg	0,81	1,76	0,71	0,76	1,40
Cr	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0
Ca	18,92	19,36	18,96	19,17	19,05
K	0	0	0	0	0
Ti	0,33	0	0,28	0,33	0,26
Fe²⁺	2,30	1,05	2,26	2,36	1,39
Mn	0,09	0,00	0,09	0,07	0
Ni	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0
Cl	0,05	0,03	0,04	0,04	0,17
F	3,54	3,78	3,64	3,54	2,39
Suma kationtů	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Suma kyslíku	72,84	72,85	72,91	72,91	73,10
Suma aniontů	76,42	76,66	76,59	76,49	75,67
Lokalita	BV 1_42	BV 1_42	BV 1_42	BV 1_42	BV 1_16

Na lokalitě Staré Podhradí má vesuvian dominantní zastoupení prvků Ca (18,68-19,31 apfu) s průměrem 18,89 apfu, Si (17,77-18,28 apfu) s průměrem 18,01 apfu, Al (9,21-10,70 apfu) s průměrem 9,89 apfu, Fe²⁺ (0,72-2,52 apfu) s průměrem 1,75 apfu a Mg (0,72-1,67 apfu) s průměrem 1,18 apfu. Z dalších prvků se minoritně vyskytuje Mn, Ti a stopově dokonce Na. Z aniontů je ve vyšší míře přítomen F (3,10-3,75 apfu) s průměrem 3,54 apfu a Cl (0,03-0,07 apfu) s průměrem 0,05 apfu.

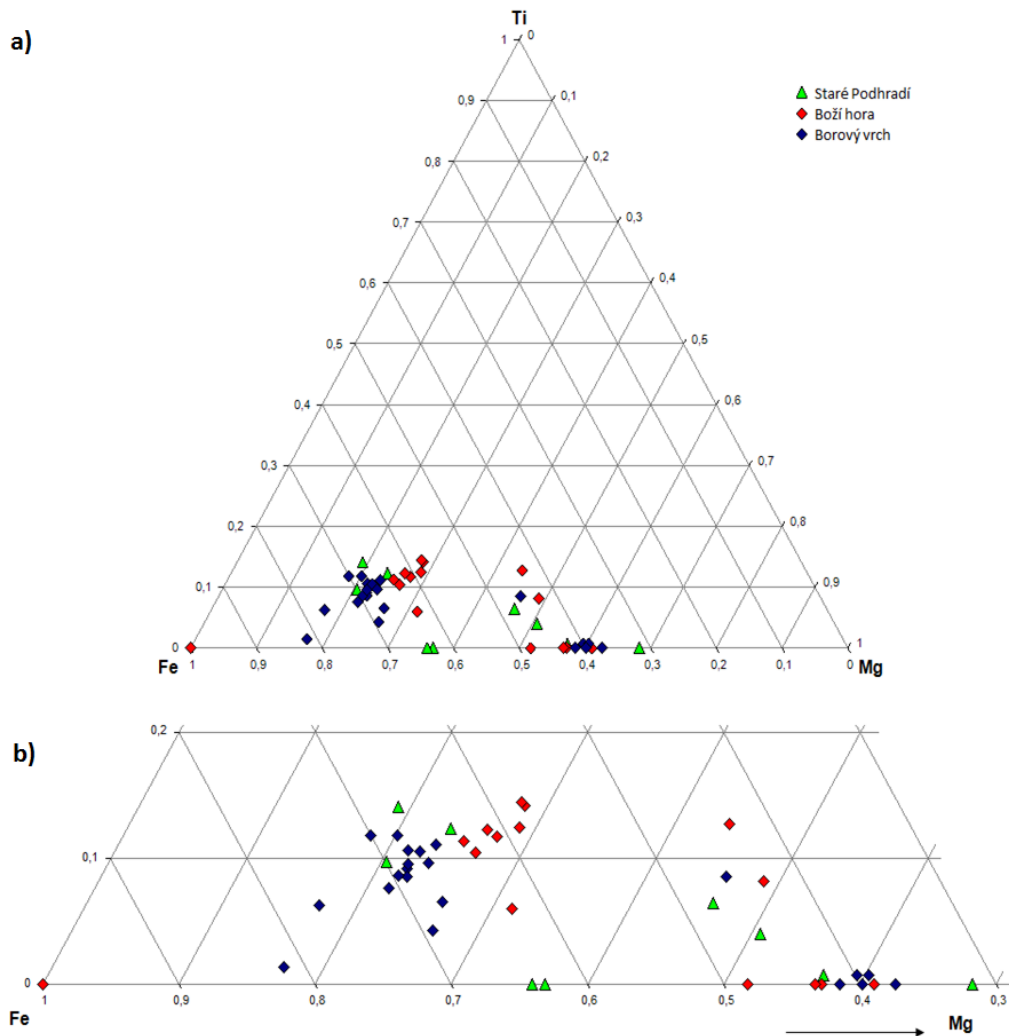
Na lokalitě Boží hora má vesuvian dominantní zastoupení prvků Ca (18,45-19,41 apfu) s průměrem 19,07 apfu, Si (17,73-18,39 apfu) s průměrem 17,90 apfu, Al (9,40-10,36 apfu) s průměrem 9,85 apfu, Fe²⁺ (1,10-2,88 apfu) s průměrem 1,74 apfu a Mg (0,76-1,74 apfu) s průměrem 1,19 apfu. Z dalších prvků se minoritně vyskytuje Ti, Mn a stopově dokonce Na. Z aniontů je ve vyšší míře přítomen F (0,59-3,82 apfu) s průměrem 3,20 apfu a Cl (0,02-0,14 apfu) s průměrem 0,05 apfu.

Na lokalitě Borový vrch má vesuvian dominantní zastoupení prvků Ca (18,91-19,37 apfu) s průměrem 19,10 apfu, Si (17,72-18,00 apfu) s průměrem 17,86 apfu, Al (9,44-10,11 apfu) s průměrem 9,78 apfu, Fe²⁺ (1,05-2,52 apfu) s průměrem 1,95 apfu a Mg (0,49-1,78 apfu) s průměrem 0,98 apfu. Z dalších prvků se minoritně vyskytuje Mn, Ti a stopově dokonce Na. Z aniontů je ve vyšší míře přítomen F (2,39-3,83 apfu) s průměrem 3,55 apfu a Cl (0,00-0,17 apfu) s průměrem 0,04 apfu.

Srovnáme-li všechny analýzy vesuvianu ze zkoumaných lokalit, projeví se nám variabilita v obsahu jak majoritních složek, tak i minoritních složek. Rozdíly mezi jednotlivými vzorky jsou dokonce v obsahu F a Cl.

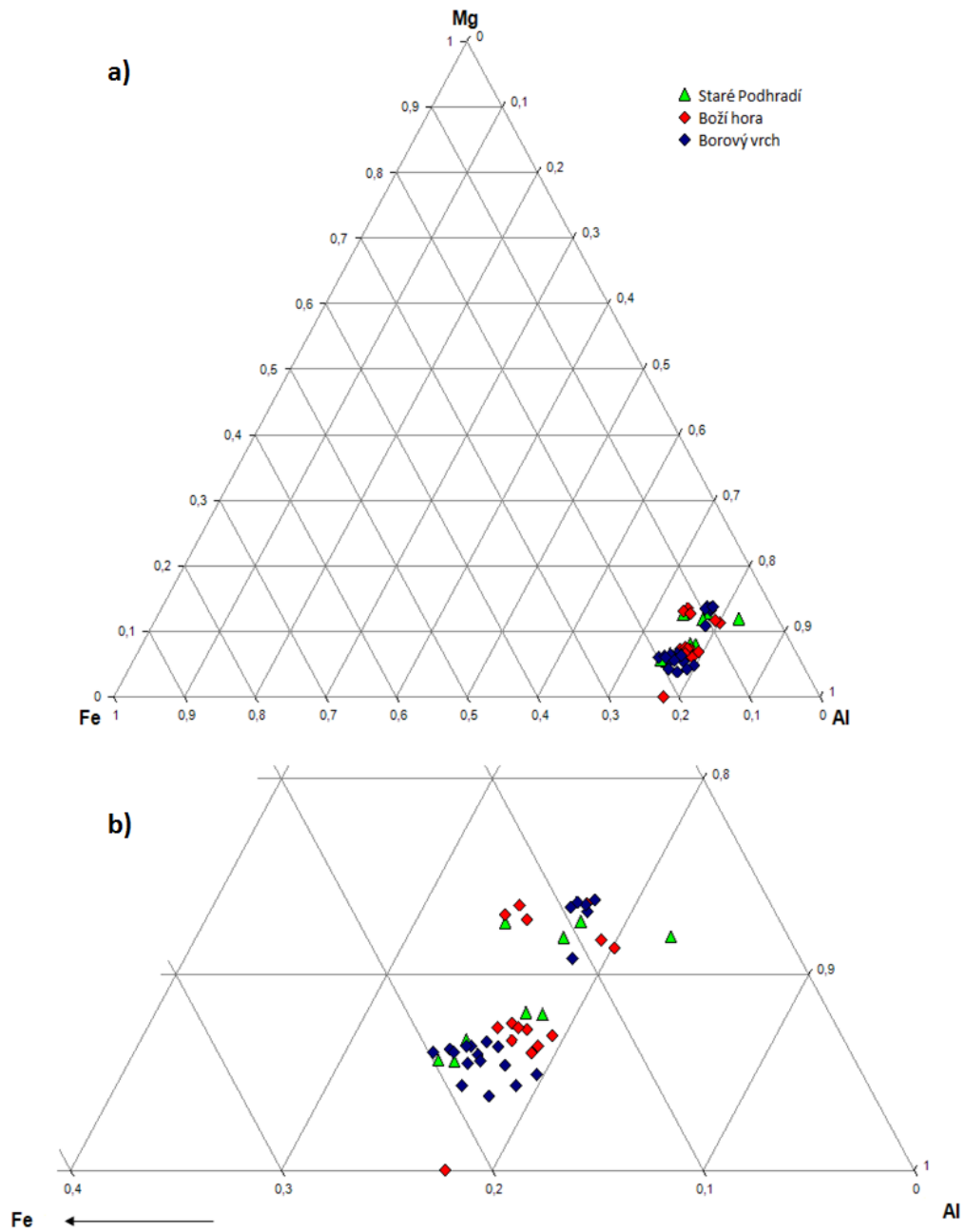
Na studovaných vzorcích byla pozorována výrazná chemická i optická zonalita, která je vyobrazena v kapitole 5.3 fotodokumentace výbrusů ve zpětně odražených elektronech.

Na obr. 25 až 28 je znázorněna závislost zastoupení vybraných prvků.

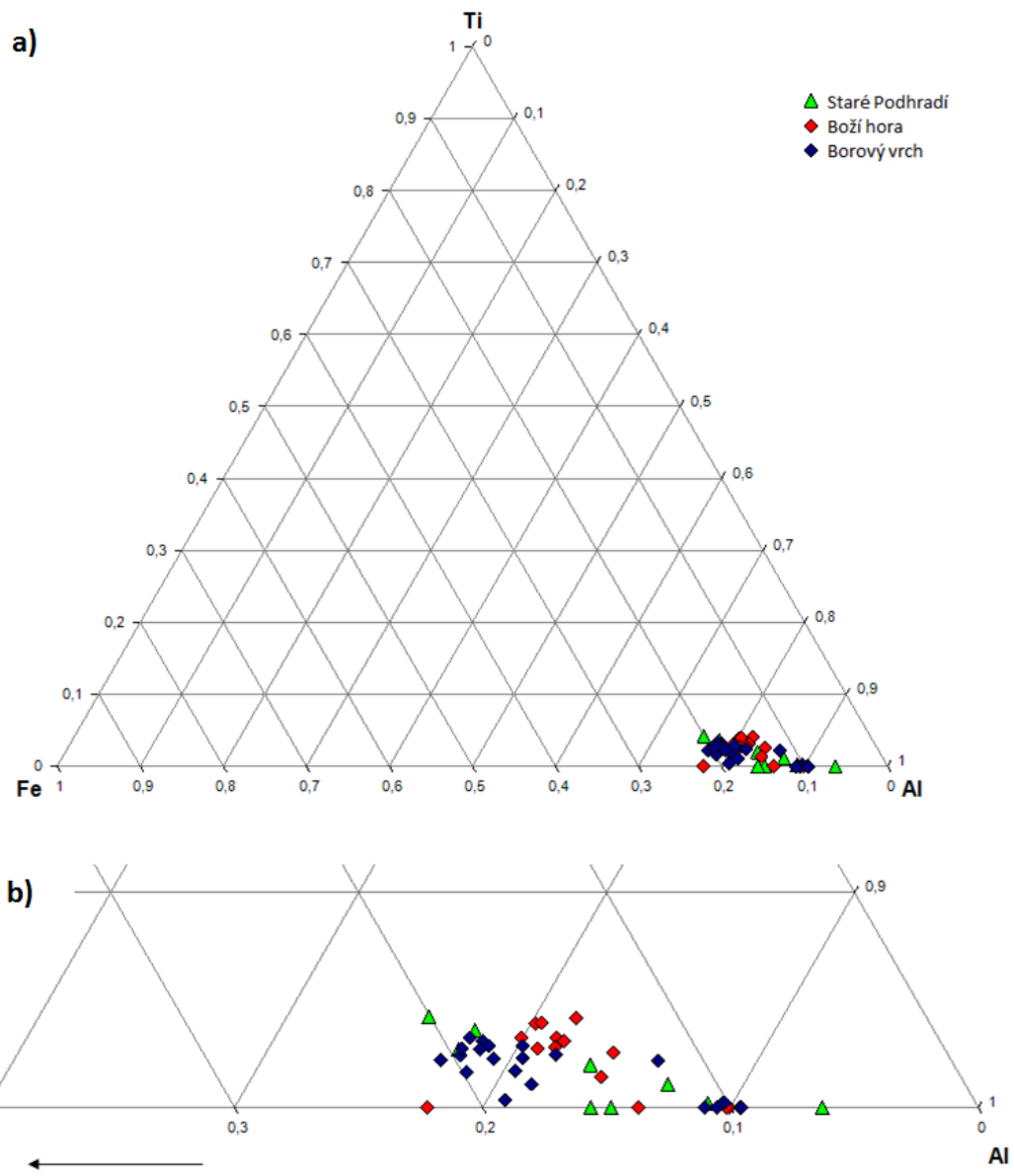


Obr. 25: a) Projekce chemického složení Fe–Mg–Ti v analyzovaných vzorcích vesuvianu, b) Výřez z ternárního diagramu. Převážná část vzorků z Borového vrchu má velmi podobný poměr Fe-Mg-Ti složení stejně tak i vzorky z lokality Boží hora. Lokalita Staré Podhradí vykazuje variabilitu a nevykazuje kumulativní charakter bodů v ternárním grafu.

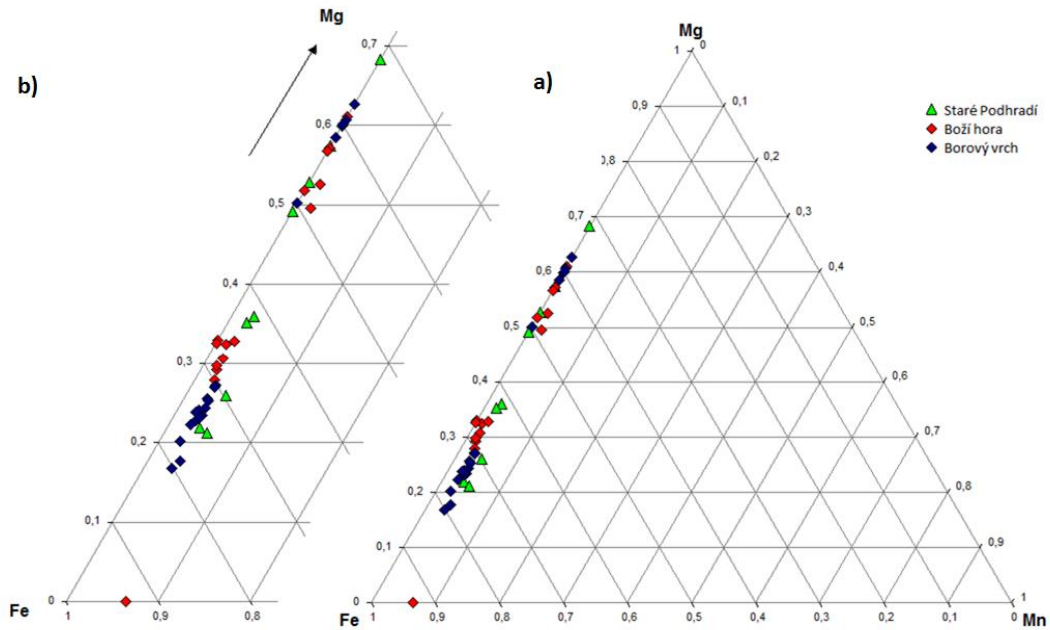
Šrein et al.(1998) ve své práci zmiňuje, že v okolí Žulové se vyskytují vesuviany dvou typů, které se liší obsahem Mg a Fe, přičemž jeden z nich je ovlivněn tektonickými pohyby vznikajících minerálů. Na obr. 25 a 26 je této trend pozorovatelný.



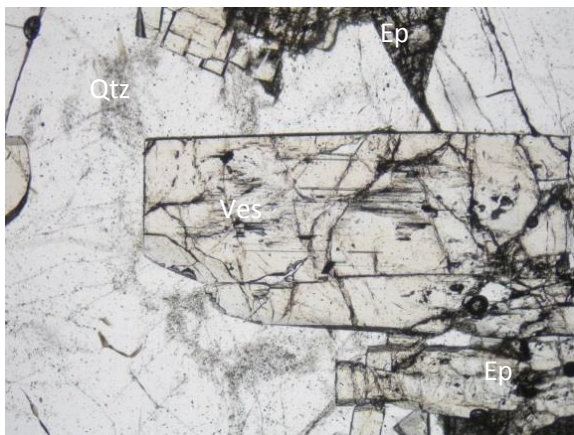
Obr. 26: a) Projekce chemického složení Fe–Al–Mg v analyzovaných vzorcích vesuvianu, b) Výřez z ternárního diagramu. Ve výřezu lze pozorovat dvě velké skupiny analýz, které mají rozdíly v poměru Fe–Mg, Vzorky v jednotlivých skupinách mají navzájem minimální rozdíly v poměru Fe–Al–Mg.



Obr. 27: **a)** Projekce chemického složení Fe–Al–Ti v analyzovaných vzorcích vesuvianu, **b)** Výřez z ternárního diagramu. Vzorky z jednotlivých lokalit nemají výraznější rozdíly v poměru Fe–Al–Ti a tvoří skupinu bodů směřující k Al.



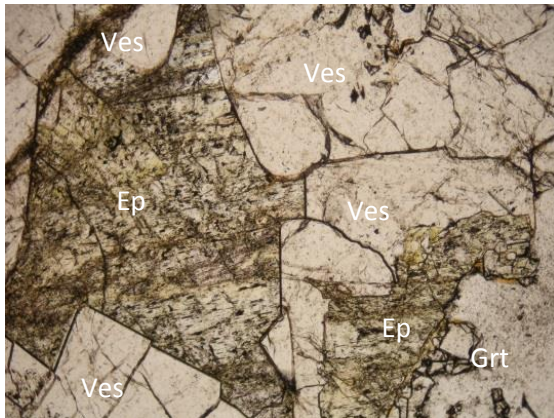
Obr. 28: a) Projekce chemického složení Fe–Mn–Mg v analyzovaných vzorcích vesuvianu, b) Výřez z ternárního diagramu. Vzorky z jednotlivých lokalit tvoří dvě skupiny analýz ležících blízko u strany trojúhelníku Fe → Mg. Vzorky se liší hlavně v poměru obsahu Fe – Mg, jelikož obsah Mn je v malém množství a tudíž téměř konstantní.



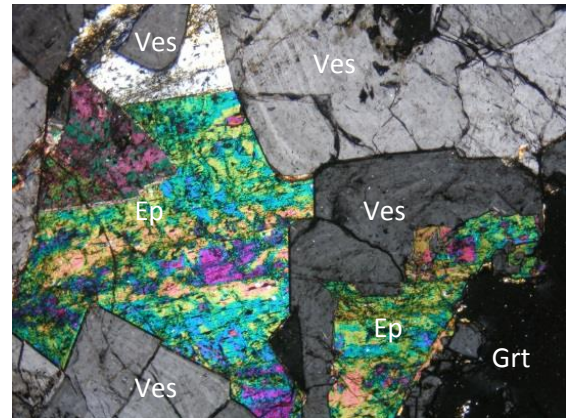
Obr. 29: Výbrus z lokality Boží hora v PPL, šíře snímku 0,8 mm – Na obrázku je hypautomorfní zrna vesuvianu obklopené křemenem, nahoře je hypautomorfně omezeno zrna epidotu (foto Jakub Vylíčil).



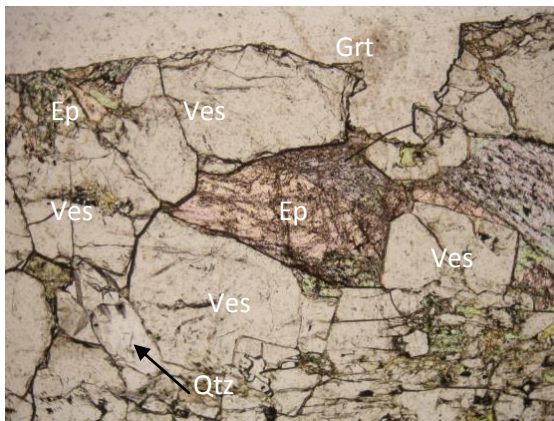
Obr. 30: Výbrus z lokality Boží hora v XPL, šíře snímku 0,8 mm – Na obrázku je hypautomorfní zrna vesuvianu obklopené křemenem, nahoře je hypautomorfně omezeno zrna epidotu (foto Jakub Vylíčil).



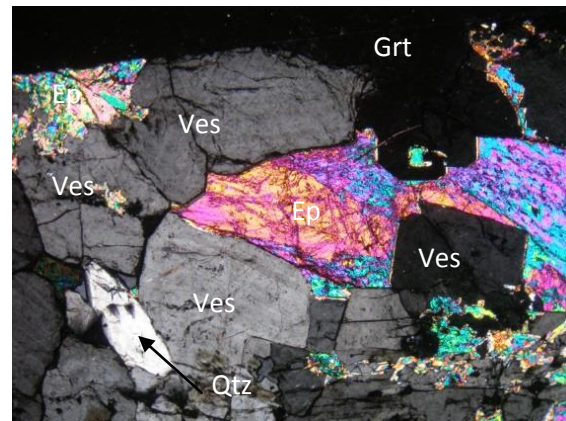
Obr. 31: Výbrus z lokality Borový vrch v PPL, šíře snímku 0,8 mm – Na obrázku jsou hypautomorfní zrna vesuvianu a epidotu s xenomorfním zrnem granátu vpravo dole (foto Jakub Vylíčil).



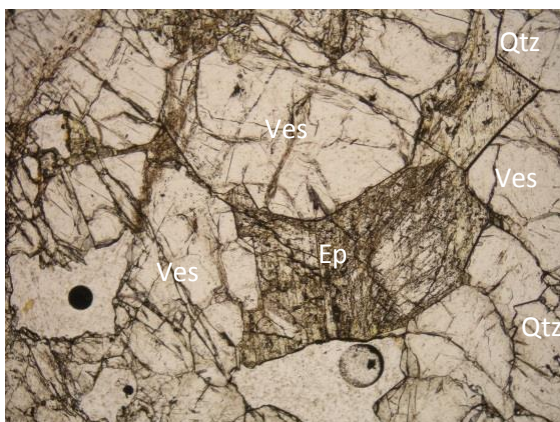
Obr. 32: Výbrus z lokality Borový vrch v XPL, šíře snímku 0,8 mm – Na obrázku jsou hypautomorfní zrna vesuvianu a epidotu s xenomorfním zrnem granátu vpravo dole (foto Jakub Vylíčil).



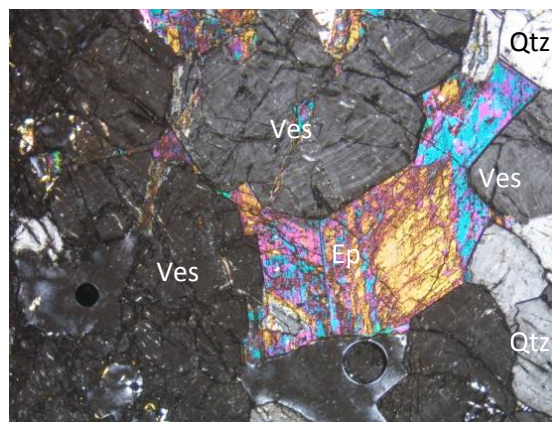
Obr. 33: Výbrus z lokality Borový vrch v PPL, šíře snímku 0,8 mm – Na obrázku jsou hypautomorfní zrna vesuvianu a epidotu s xenomorfním zrnem granátu nahoře (foto Jakub Vylíčil).



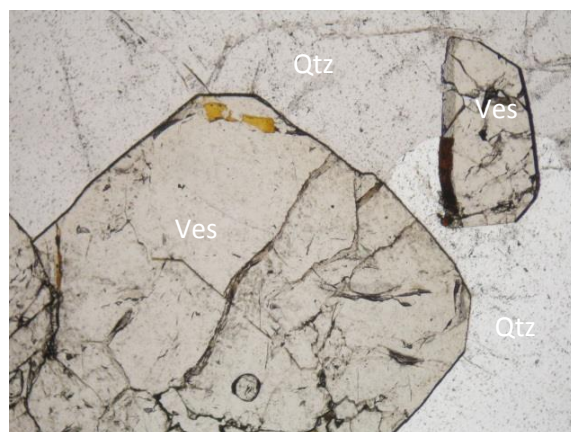
Obr. 34: Výbrus z lokality Borový vrch v XPL, šíře snímku 0,8 mm – Na obrázku jsou hypautomorfní zrna vesuvianu a epidotu s xenomorfním zrnem granátu nahoře (foto Jakub Vylíčil).



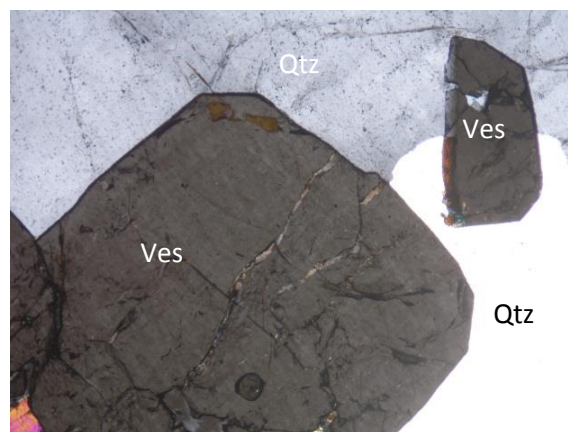
Obr. 35: Výbrus z lokality Borový vrch v PPL, šíře snímku 0,8 mm – Na obrázku jsou hypautomorfní zrna vesuvianu a epidotu (foto Jakub Vylíčil).



Obr. 36: Výbrus z lokality Borový vrch v XPL, šíře snímku 0,8 mm – Na obrázku jsou hypautomorfní zrna vesuvianu a epidotu (foto Jakub Vylíčil).



Obr. 37: Výbrus z lokality Staré Podhradí v PPL, šíře snímku 0,8 mm – Na obrázku je hypautomorfní zrno vesuvianu obklopené křemenem (foto Jakub Vylíčil).

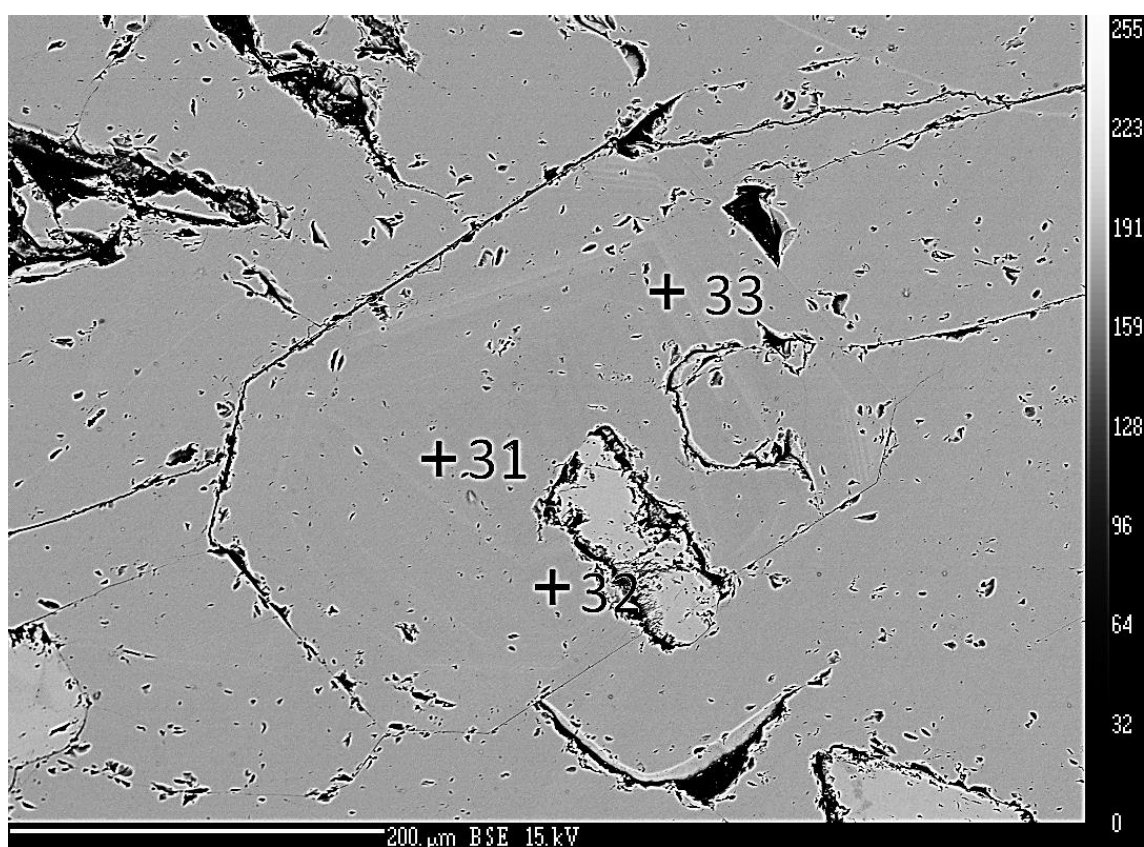


Obr. 38: Výbrus z lokality Staré Podhradí v XPL, šíře snímku 0,8 mm - Na obrázku je hypautomorfní zrno vesuvianu obklopené křemenem (foto Jakub Vylíčil).

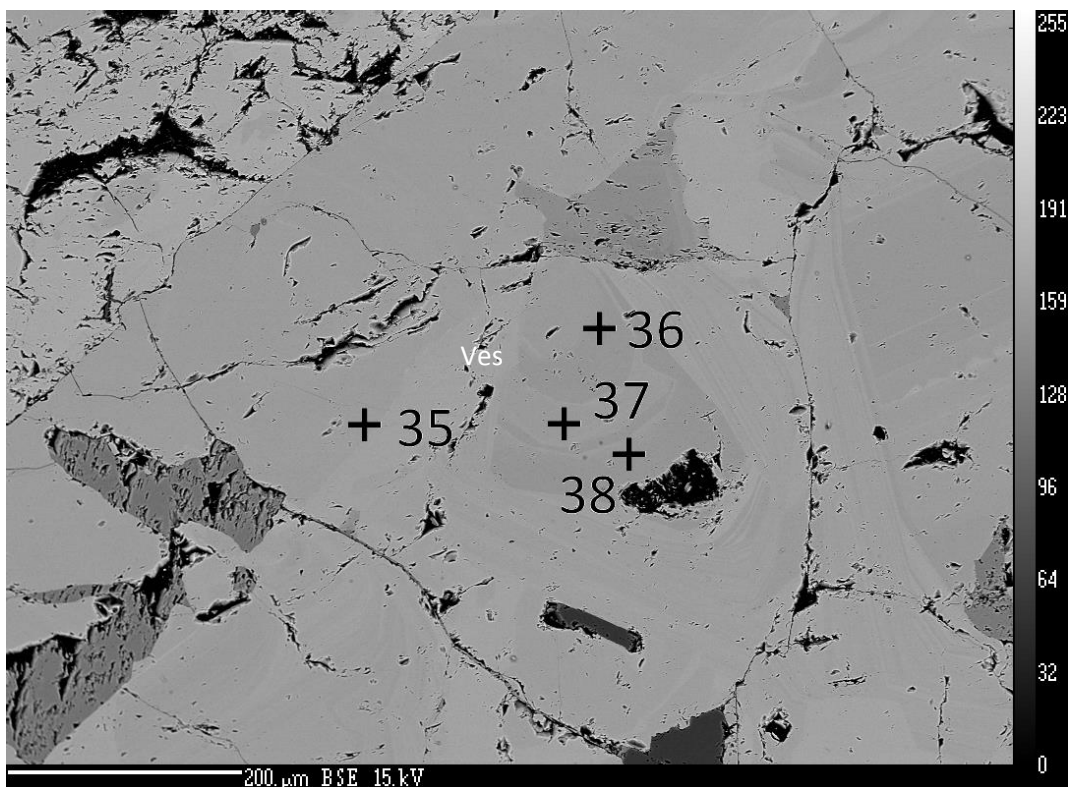
5.3 Fotodokumentace výbrusů ve zpětně odražených elektronech

Na následujících obrázcích jsou zachyceny vybrané jednotlivé bodové WDX analýzy, jejichž výsledky jsou zmíněny a přehledně zpracovány v jednotlivých podkapitolách 5.1 a 5.2. Na obrázcích je patrná zonalita.

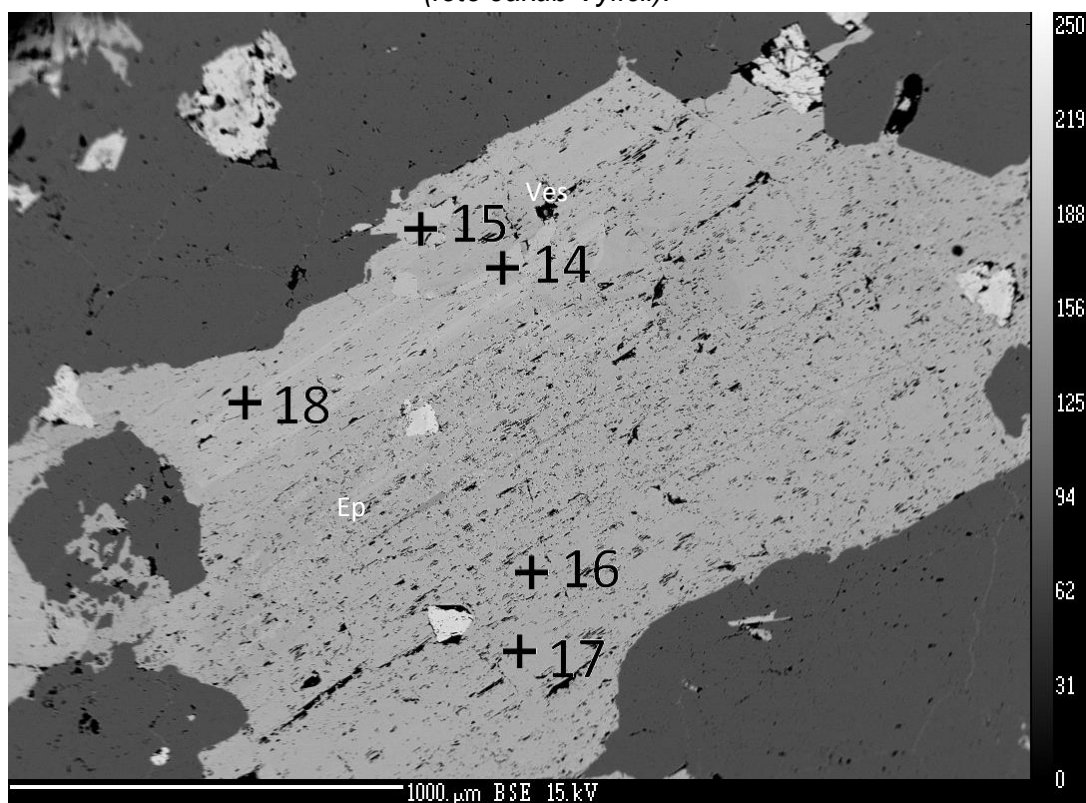
Oblast s prvky s nízkým protonovým číslem jsou ve zpětně odražených elektronech tmavé, oblast s prvky s vyšším protonovým číslem jsou v odražených elektronech světlé. U epidotů to může indikovat obsah REE.



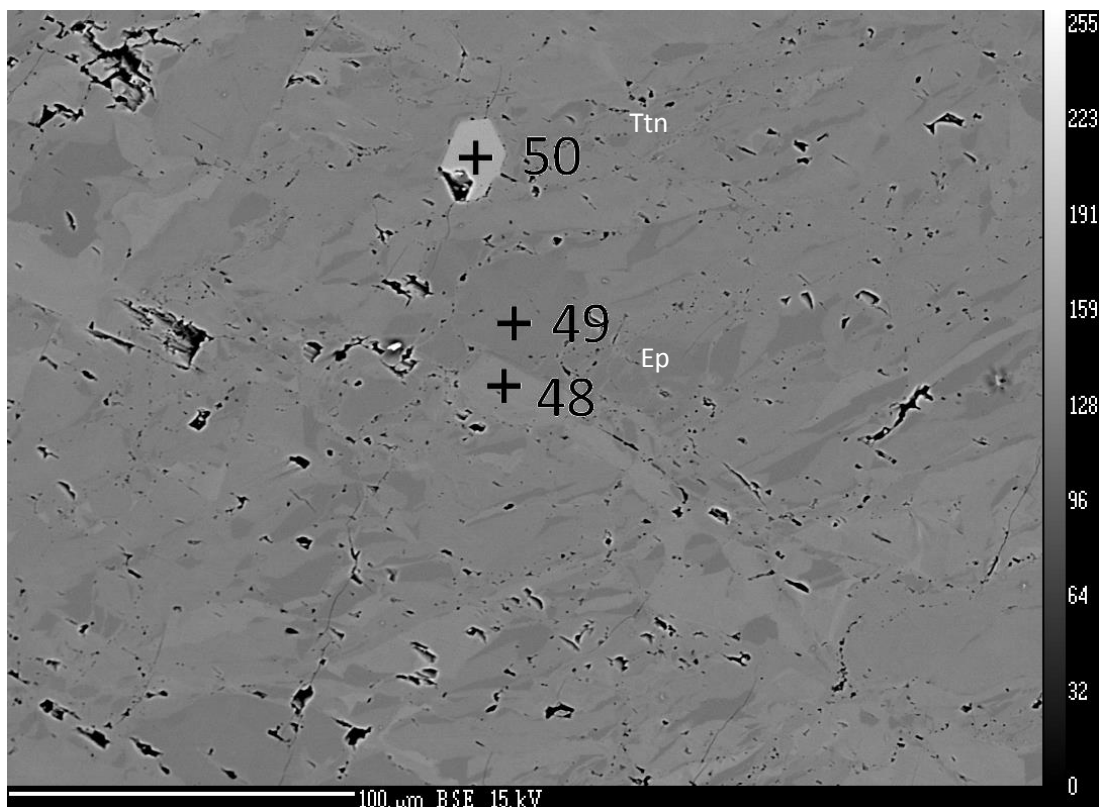
Obr. 39: Obrázek tří bodových analýz (31-33) ze vzorku BH 1 1 lokality Boží Hora, čísla 31 – 33 je označen minerál vesuvian. Výsledky bodových analýz se nachází v tabulce č. 8 (foto Jakub Vylíčil).



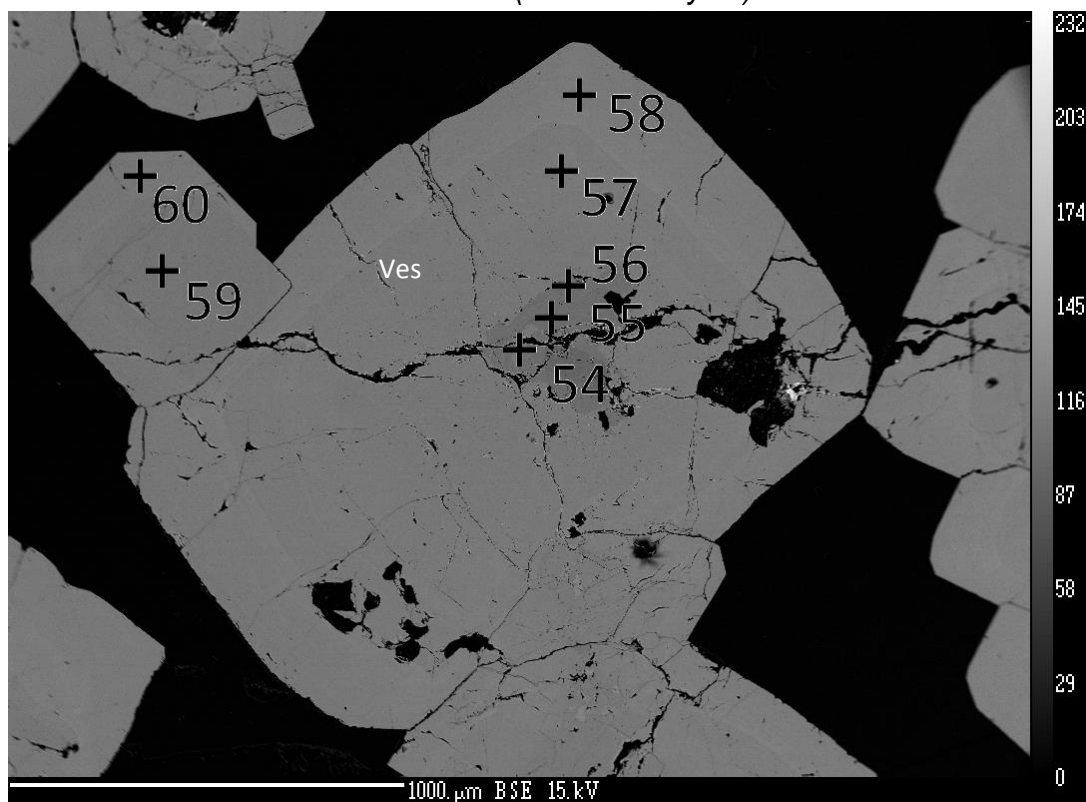
Obr. 40: Obrázek čtyř bodových analýz (35-38) ze vzorku BH 1 1 lokality Boží Hora, čísla 35 – 37 je označen minerál vesuvian Výsledky bodových analýz se nachází v tabulce č. 9 (foto Jakub Vylíčil).



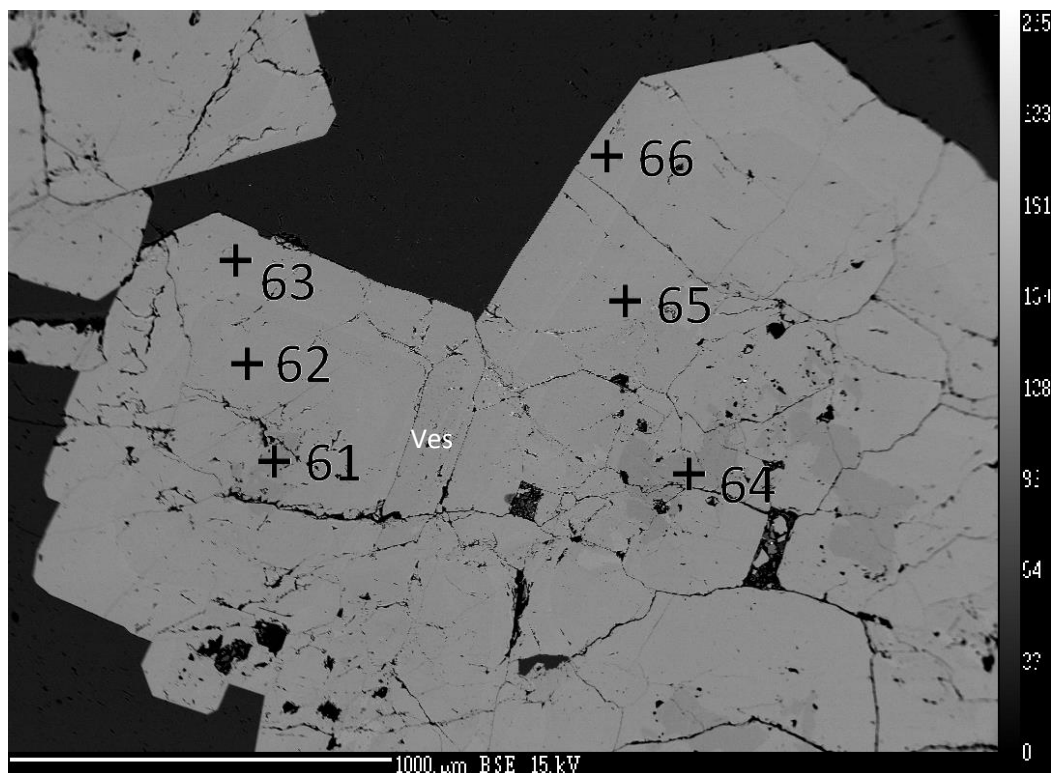
Obr. 41: Obrázek pěti bodových analýz (14-18) ze vzorku BH 2 3 lokality Boží Hora, čísla 14, 15 je minerál vesuvian (výsledky jsou v tabulce 8), 16 – 18 je označen minerál epidot. Výsledky bodových analýz se nachází v tabulce č. 2 (foto Jakub Vylíčil).



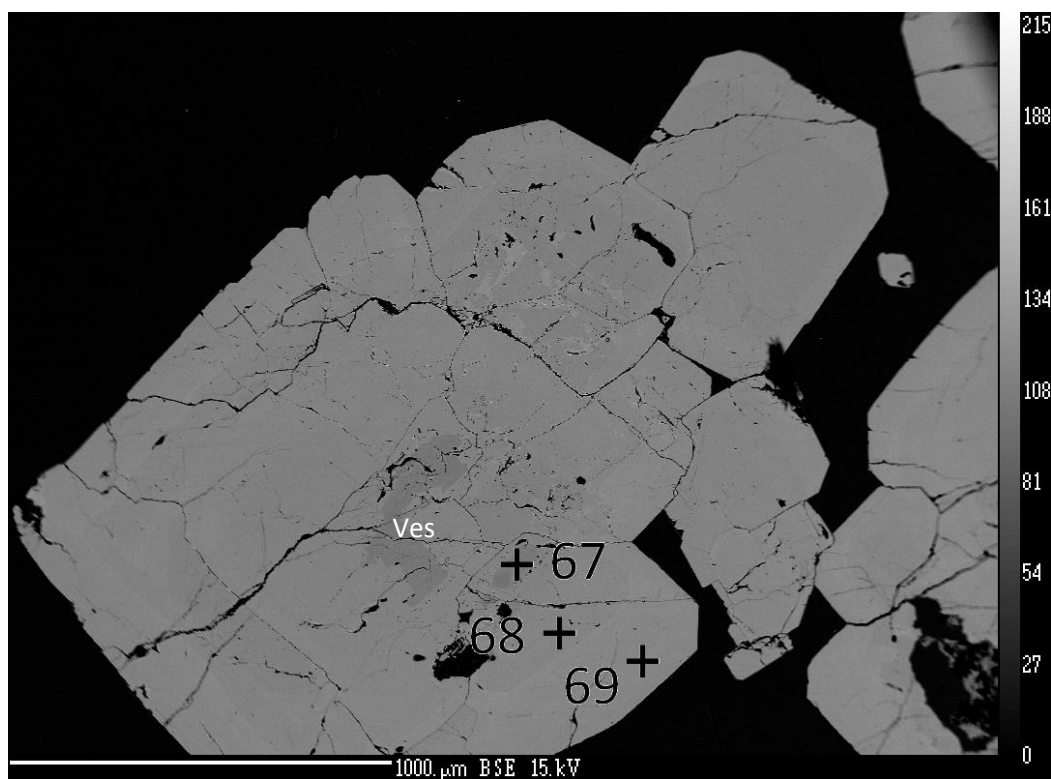
Obr. 42: Obrázek tří bodových analýz (48-50) ze vzorku BV 1 6 lokality Borový vrch, čísla 48 – 49 je označen minerál epidot, 50 je titanit. Výsledky bodových analýz se nachází v tabulce č. 3 (foto Jakub Vylíčil).



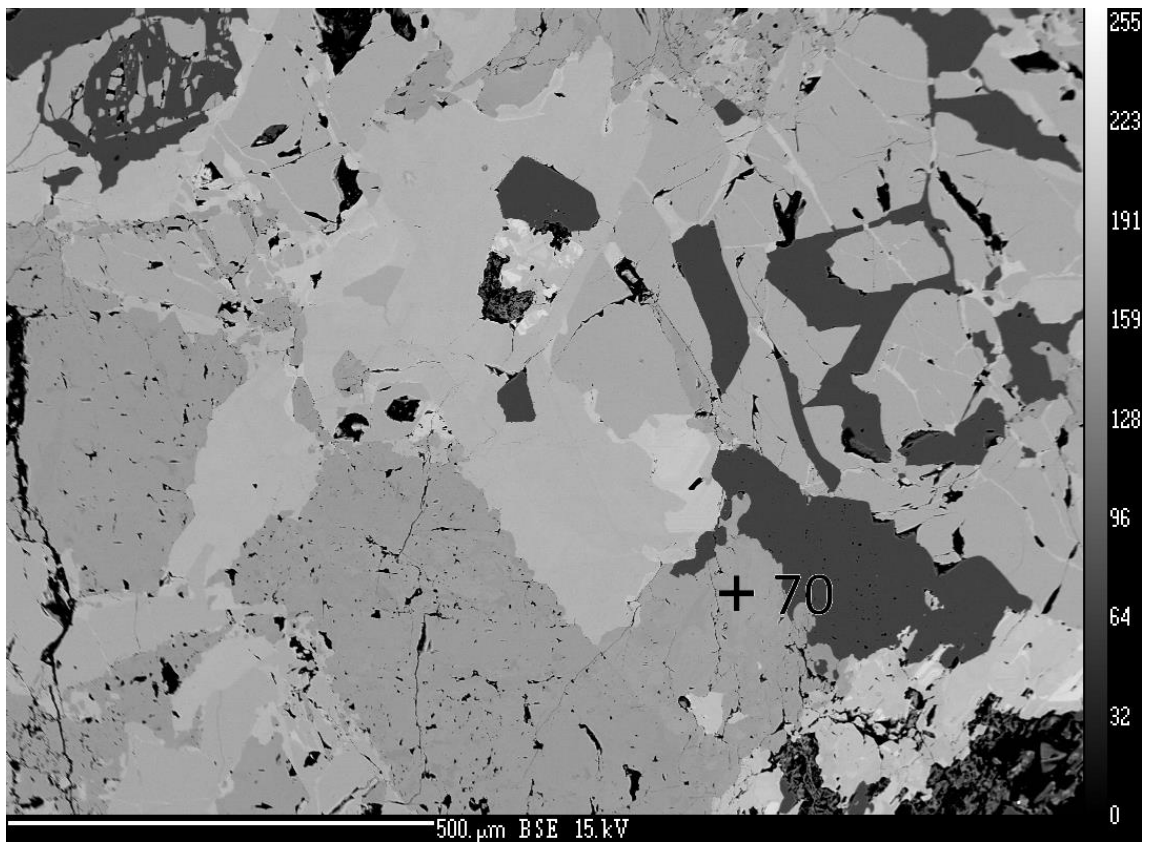
Obr. 43: Obrázek sedmi bodových analýz (54-60) ze vzorku BV 1 42 Borový vrch, označen je minerál vesuvian. Výsledky bodových analýz se nachází v tabulkách č. 10 a 11 (foto Jakub Vylíčil).



Obr. 44: Obrázek šesti bodových analýz (61-66) ze vzorku BV 1 42 Borový vrch, čísla 61 – 66 je označen minerál vesuvian. Výsledky bodových analýz se nachází v tabulkách č.12 a 13 (foto Jakub Vylíčil).



Obr. 45: Obrázek tří bodových analýz (67-69) ze vzorku BV 1 42 Borový vrch, čísla 67 – 69 je označen minerál vesuvian. Výsledky bodových analýz se nachází v tabulce č. 13 (foto Jakub Vylíčil).



Obr. 46: *Obrázek jedné bodové analýzy (70) ze vzorku BV 1 16 Borový vrch, číslem 70 je označen minerál epidot. Výsledky bodových analýz se nachází v tabulce č. 3 (foto Jakub Vylíčil).*

6. Diskuze

6.1 Vesuvian

Chemismus vesuvianu z lokalit Boží hora, Borový vrch a Staré Podhradí nebyl dosud detailně prostudován. V této práci jsem se zabýval touto problematikou a zároveň jsem ji výrazně rozšířil o soubor údajů o chemickém složení minerálů skupiny epidotu v erlanech na výše zkoumaných lokalitách.

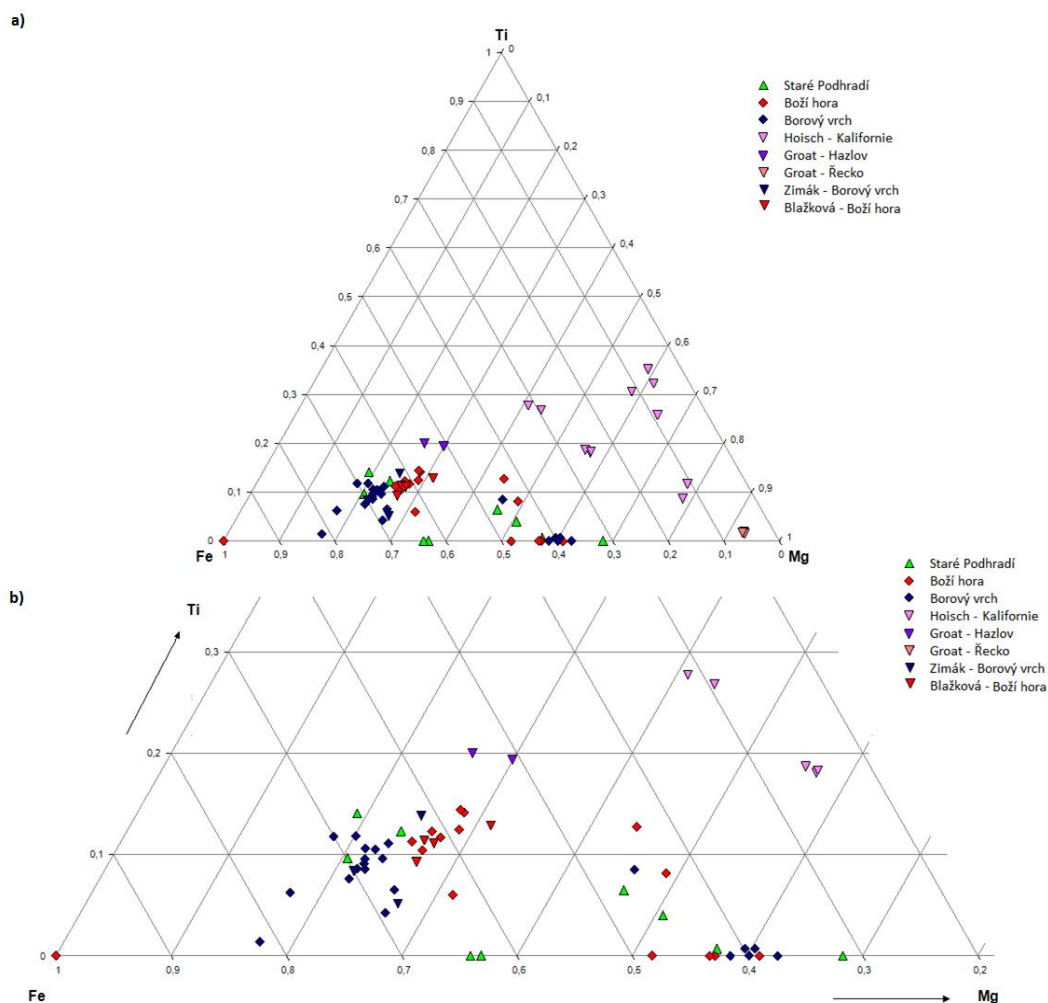
Vesuvian vykazoval v optickém mikroskopu (v režimu XPL) optickou zonálnost (viz obr. 34 a 36), která se projevila i na obrázcích v odražených elektronech (např. obr. 44 a 45). Tento předpoklad chemické zonálnosti se na základě WDX analýz podařilo potvrdit. Na obrázcích 30-37 z elektronového mikroskopu je patrná snaha o zachycení zonality, a to lokalizací jednotlivých bodových analýz. Srovnáním výsledků jsem došel k závěru, že zonalita je způsobena nepatrnými rozdíly v chemickém zastoupení jednotlivých prvků.

Veškeré chemické údaje jsem získal s využitím WDX analýzy. Nově zjištěné údaje jsem přehledně zpracoval do tabulek a grafů, které jsou uvedeny v sekci 5.3 a 5.4. V této části práce se zabývám srovnáním svých výsledků s dalšími, již dříve publikovanými výsledky analýz pocházejícími jak z České republiky, tak i ze zahraničí.

Svá data jsem dále srovnával s WDX daty publikovanými v pracích Hoisch (1985), který se zabýval chemismem vesuvianu z Kalifornie. Dále jsem data porovnával s prací Groat (1988), který se zabýval vesuviany celosvětově a zvolil jsem od něj analýzy z Hazlova (ČR) a Řecka. EDX data publikovaná Zimákem et al. (2002), který analyzoval vzorky z Borového vrch, byla korelována s mými výsledky spolu s EDX analýzami vesuvianu z Boží hory prezentovanými v práci Blažková (2002). Všechna výše zmíněná data jsem zpracoval do ternárních grafů, ve kterých jsou patrné specifické trendy.

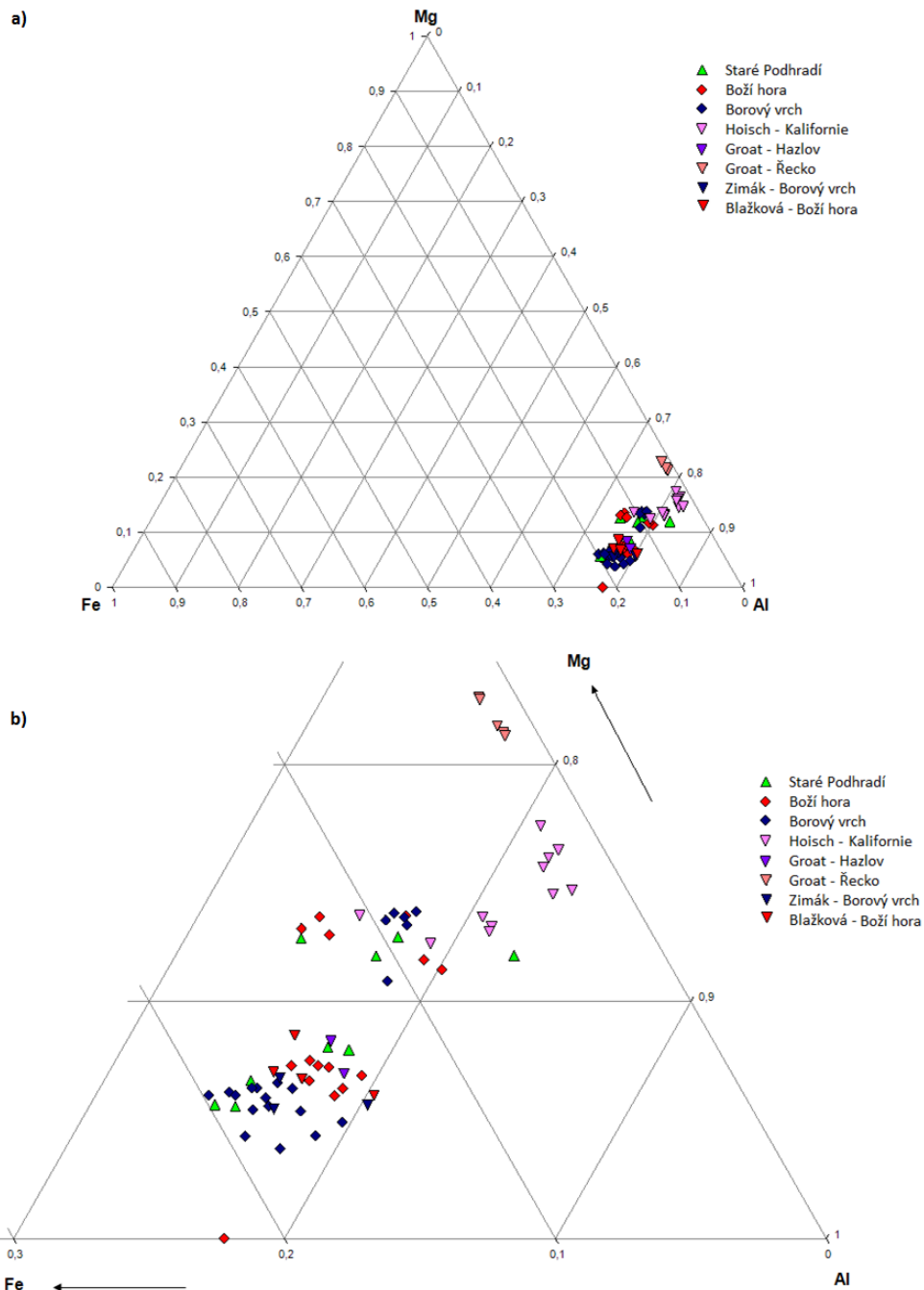
Výsledky mezi WDX a EDX analýzami se mohou lišit dokonce až v řádech. (www.bruker.com). Díky tomuto faktu, jsem v své práci získal reprezentativnější a přesnější data pro vesuviany pro zkoumané lokality.

Při korelaci Fe-Mg-Ti dat je z grafu na obr. 47 patrný velký rozdíl mezi zahraničními vzorky z Kalifornie a Řecka. Vzorky z Boží hory a Borového vrchu jsou seskupeny zpravidla do dvou větších skupin vzorků a vzorky z Hazlova a Starého Podhradí jsou mimo tyto dvě dominantní skupiny analýz a vykazují odlišnosti v chemickém složení.



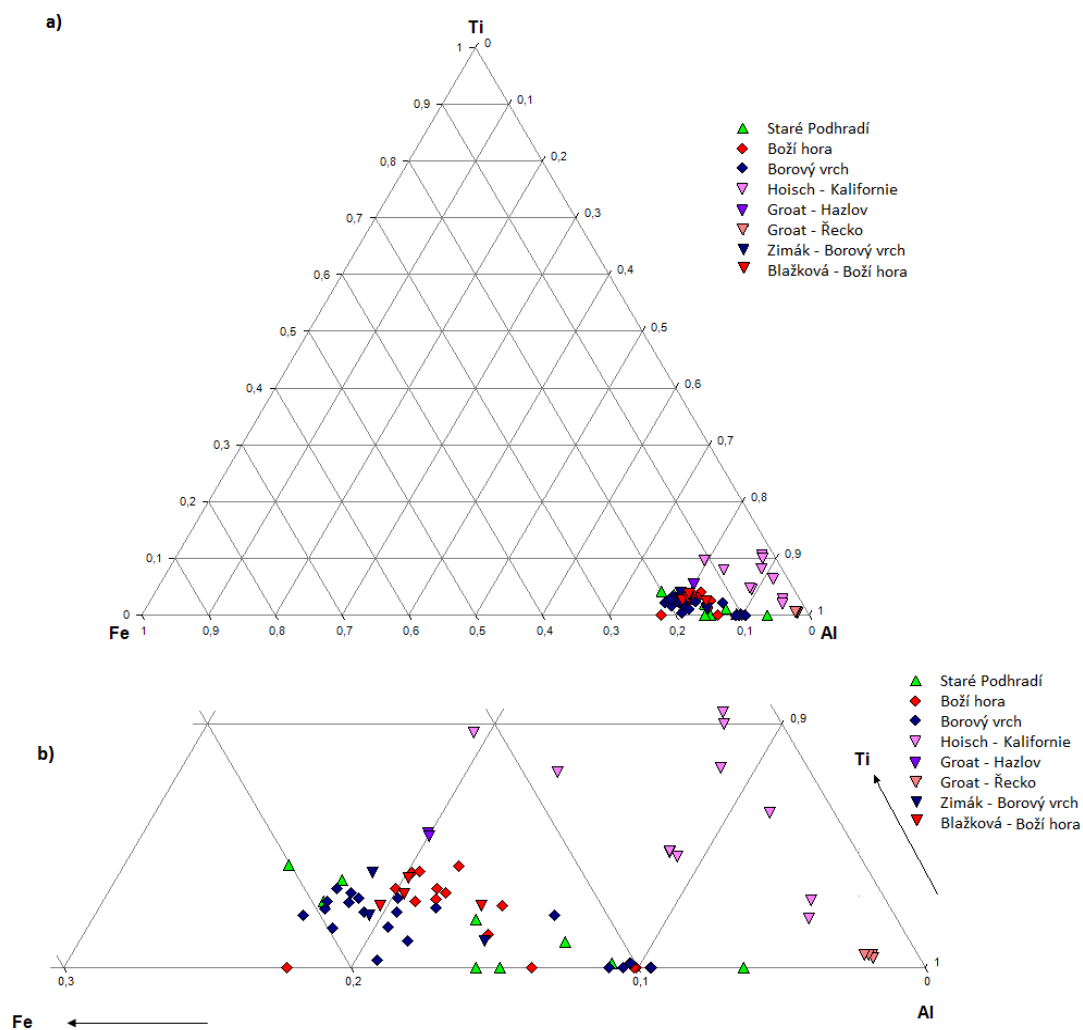
Obr. 47: a) Projekce chemického složení Fe–Mg–Ti v analyzovaných vzorcích vesuvianu - porovnání mých výsledků s výsledky měření prezentovanými jinými autory viz legenda, b) Výřez z ternárního diagramu.

U korelace dat Fe-Al-Mg lze identifikovat dvě větší seskupení bodů analýz viz obr. 48. Větší část vzorků z Boží hory, Borového vrchu, Starého Podhradí a Hazlova jsou koncentrovány v nižší části ternárního grafu. Zbylé analýzy z Boží hory, Borového vrchu a Starého Podhradí se mírně překrývají s daty z Kalifornie.



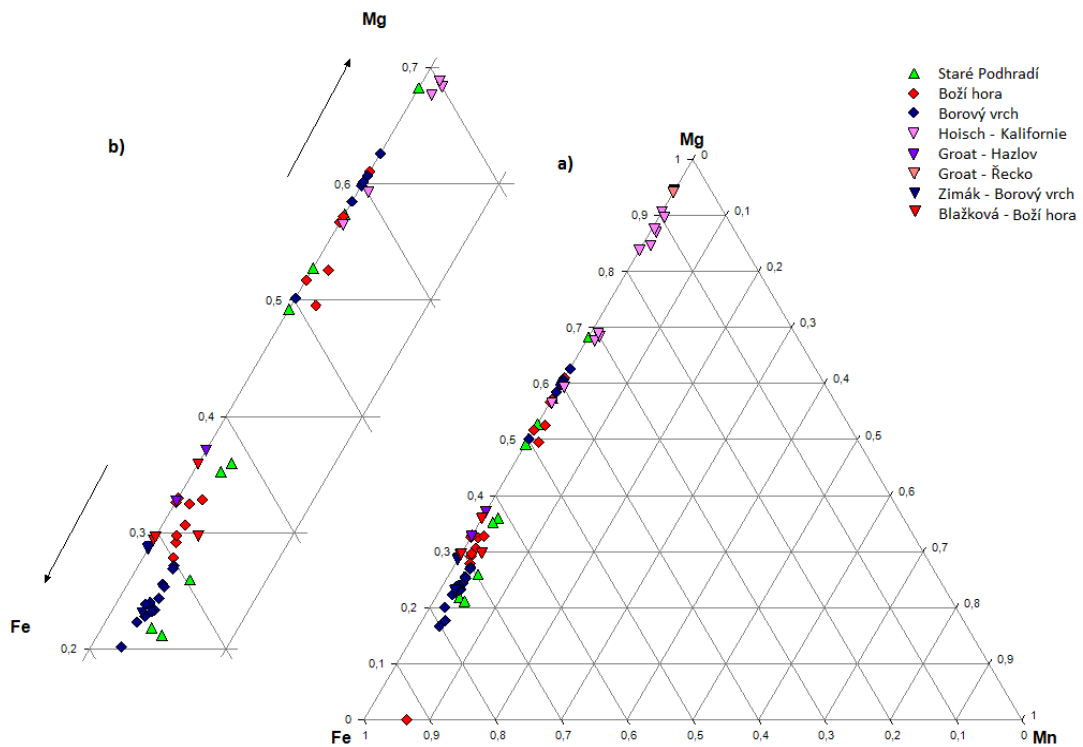
Obr. 48: a) Projekce chemického složení Fe–Al–Mg v analyzovaných vzorcích vesuvianu - porovnání mých výsledků s výsledky měření prezentovanými jinými autory viz legenda, b) Výřez z ternárního diagramu.

Při korelaci dat Fe-Al-Ti je patrná z grafu na obr. 49 jediná velká skupina vzorků z Boží hory, Borového vrchu, Starého Podhradí a Hazlova, kdežto vzorky z Kalifornie a Řecka jsou rozptýleny.



Obr. 49: a) Projekce chemického složení Fe–Al–Ti v analyzovaných vzorcích vesuvianu - porovnání mých výsledků s výsledky měření prezentovanými jinými autory viz legenda, b) Výřez z ternárního diagramu.

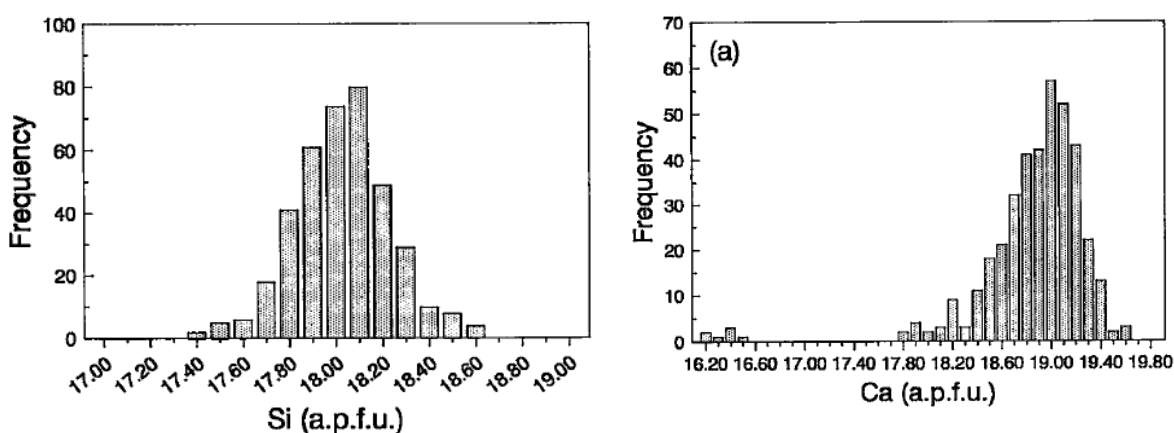
Poslední porovnání dat bylo v Fe-Mn-Mg grafu na obr. 50. Vzorky z ČR se seskupují hlavně do dvou skupin blízko stěny Fe-Mg. Skupina analýz ležící na středu strany Fe-Mg se v několika místech překrývá s několika analýzami pocházejících z Kalifornie. Zbytek analýz z Kalifornie a Řecka se spíše koncentruje blízko k vrcholu Mg.



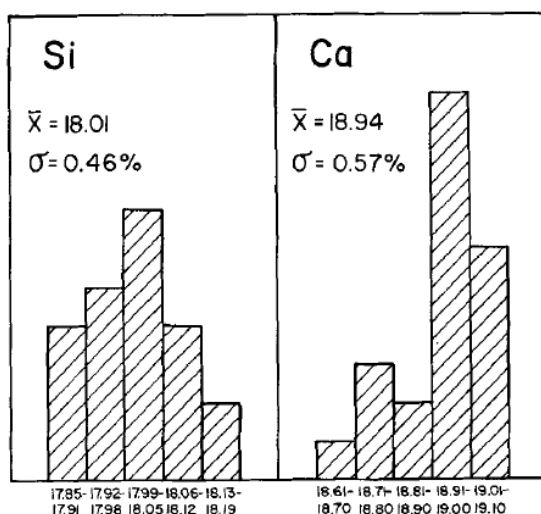
Obr. 50: a) Projekce chemického složení Fe–Mn–Mg v analyzovaných vzorcích vesuvianu - porovnání mých výsledků s výsledky měření prezentovanými jinými autory viz legenda, b) Výřez z ternárního diagramu.

Ze série výše zmíněných ternárních grafů vyplývá, že chemické složení vesuvianu v lokalitě Boží hora a Borový vrch je velmi podobné, což je patrně způsobeno obdobnými podmínkami vzniku vesuvianu a blízkostí jednotlivých lokalit. Naopak data pro Staré Podhradí a Hazlov vykazují drobné odchylky od složení vesuvianu z Boží hory a Borového vrchu, což pravděpodobně ukazuje i na jiné podmínky vzniku vesuvianu. Zahraniční data z Kalifornie a Řecka ukazují naprosto jiné složení vesuvianu a prokazují značnou variabilitu složení tohoto minerálu.

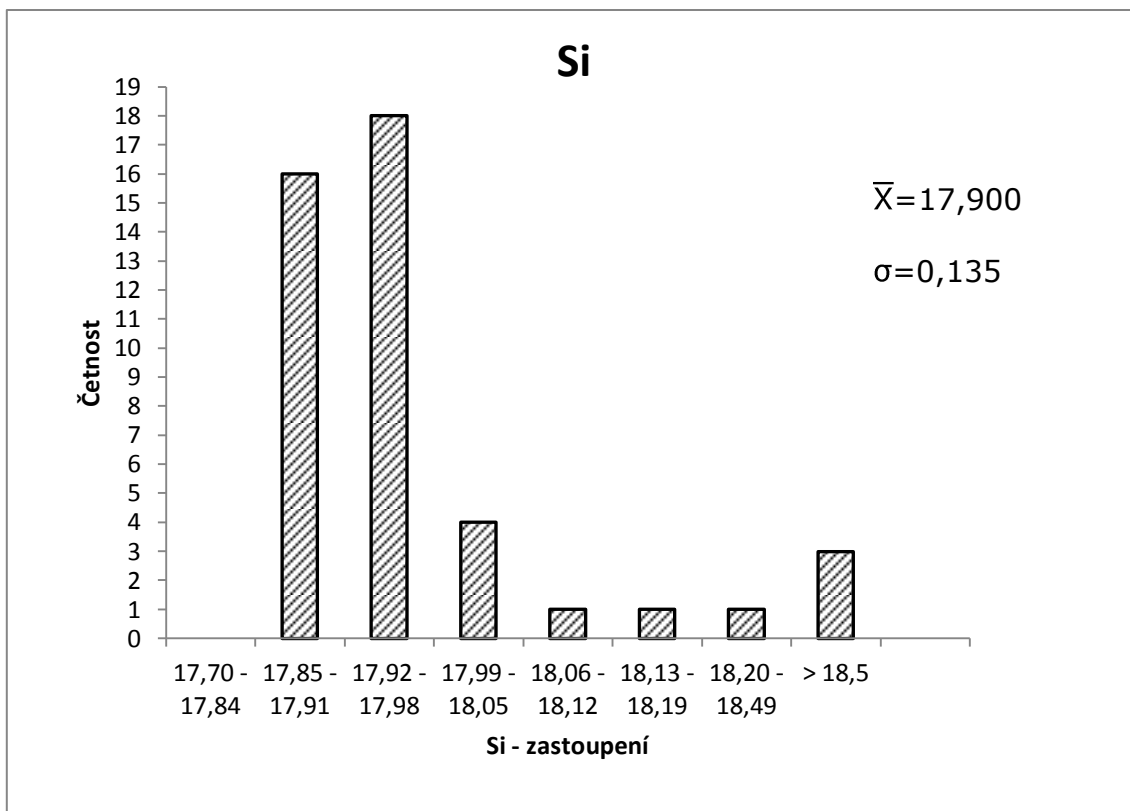
Dále jsem porovnával histogramy četnosti Ca a Si přepočtené na 50 kationtů publikované v pracích Groat (1988) viz obr. 51 a Hoisch (1985) viz obr. 52 se svými histogramy na obr 53 a 54. V mé práci je dominantní zastoupení Si 17,92-17,98. V práci Hoische je dominantní Si 17,99-18,05 a v práci Groata je nejdominantnější Si 18,10. Četnost pro druhý prvek (Ca) z mé práce je Ca 19,11-19,20 nejvyšší ve srovnání s Groatem Ca 19,00 a Hosichem Ca 18,91-19,00. Groat studoval vesuviany celosvětově a srovnáním našich výsledků lze říci, že se má data pohybují v nejvyšších abundančních sloupcích Si i Ca.



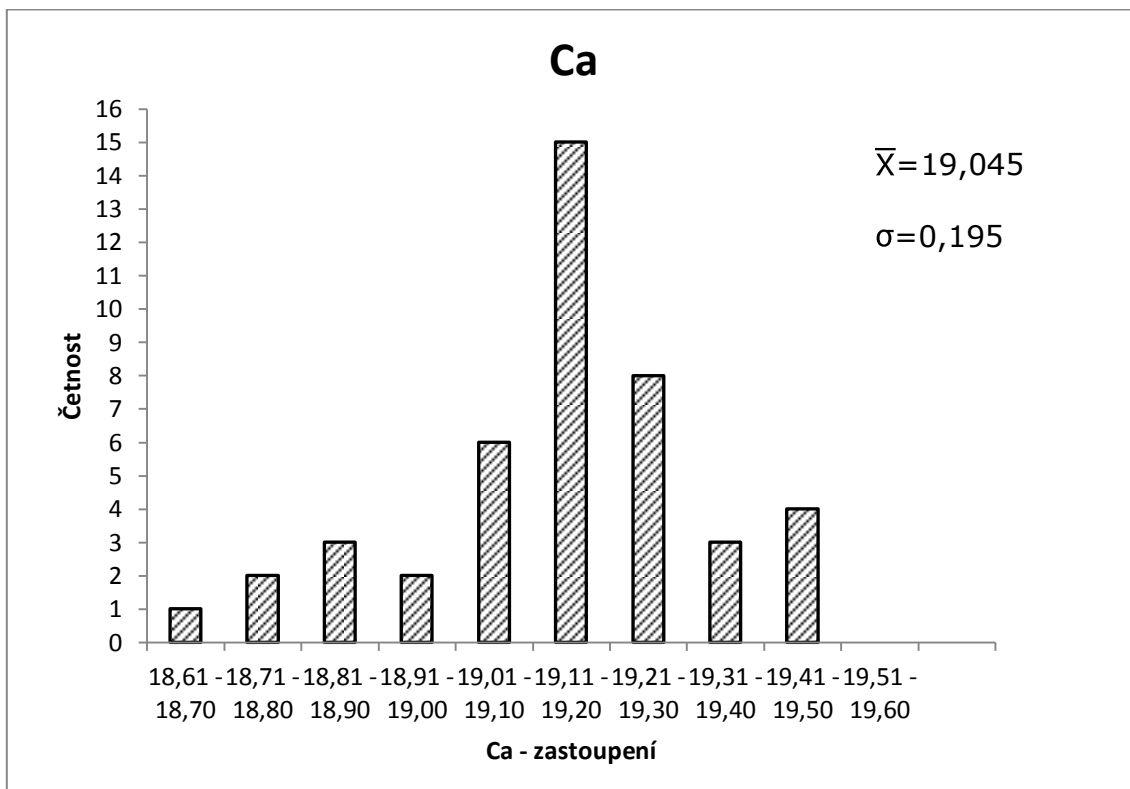
Obr. 51: Histogramy abundance Si a Ca na 388 analýzách vzorků bez boru (Groat 1988).



Obr. 52: Histogramy abundance Si a Ca na 22 analýzách vzorků (Hoisch 1985).



Obr. 53: Histogram abundance Si ze 45 analýz vesuvianu (data Jakub Vylíčil).



Obr. 54: Histogram abundance Ca ze 45 analýz vesuvianu (data Jakub Vylíčil).

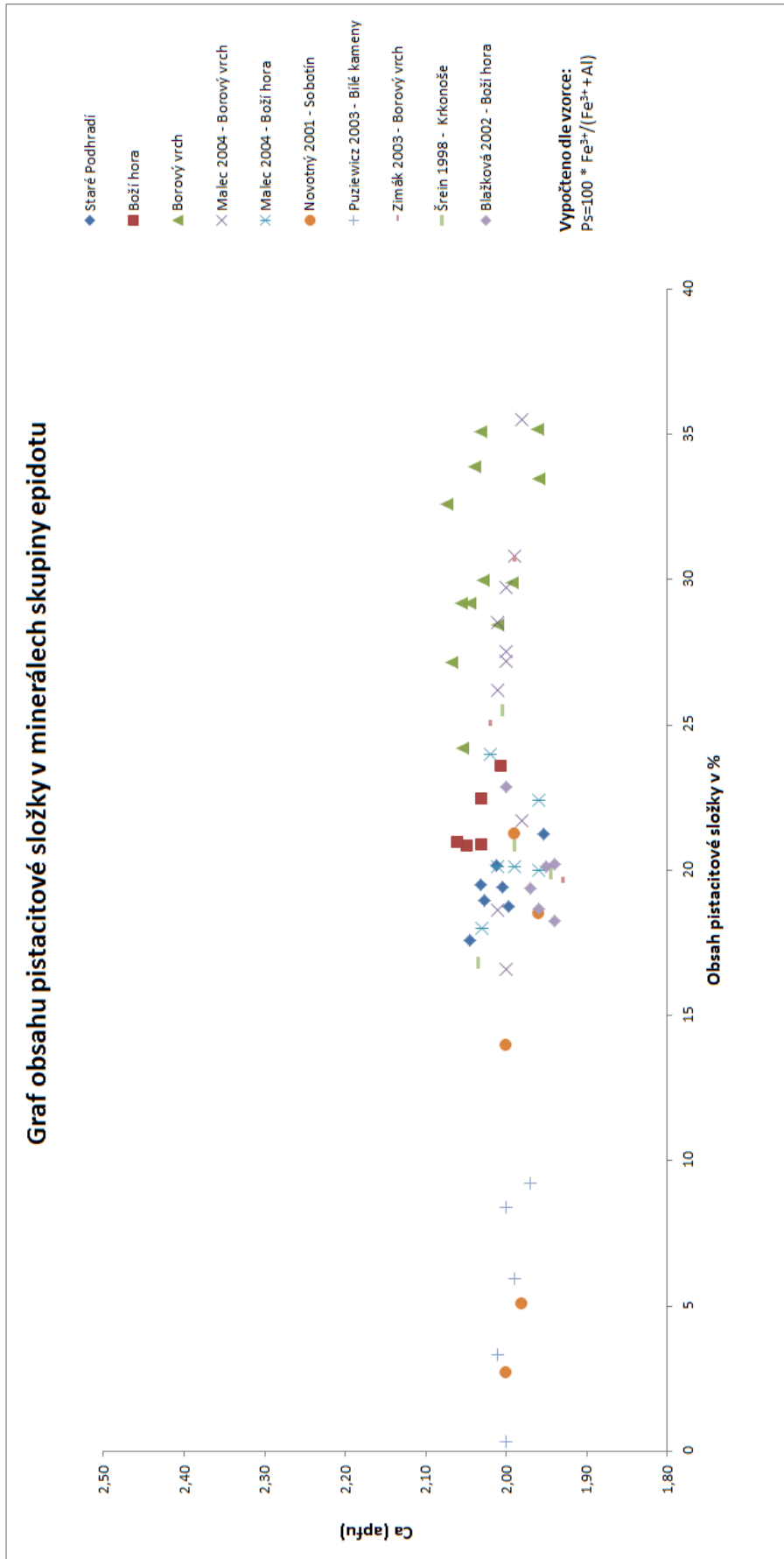
6.2 Minerály skupiny epidotu

U minerálů skupiny epidotu jsem porovnal své výsledky z analýz s publikacemi Novotný a Zimák (2001), Puziewicz et al. (2003), Zimák et al. (2003), Šrein et al. (1998) a Blažková (2002). Z vybraných analýz byl pro přehlednost stanoven obsah pistacitové složky ve vzorcích v závislosti na obsahu Ca (apfu), která byla vynesena do grafu, viz obr. 55.

Z grafu lze vyčíst následující vztahy. Nejmenší obsah pistacitové složky pochází z lokality Bílé kameny (rozsah je Ps_0 - Ps_9), naopak největší obsah pistacitové složky pochází z lokality Borový vrch. Většina analýz se pohybuje v rozmezí Ps_{15-25} .

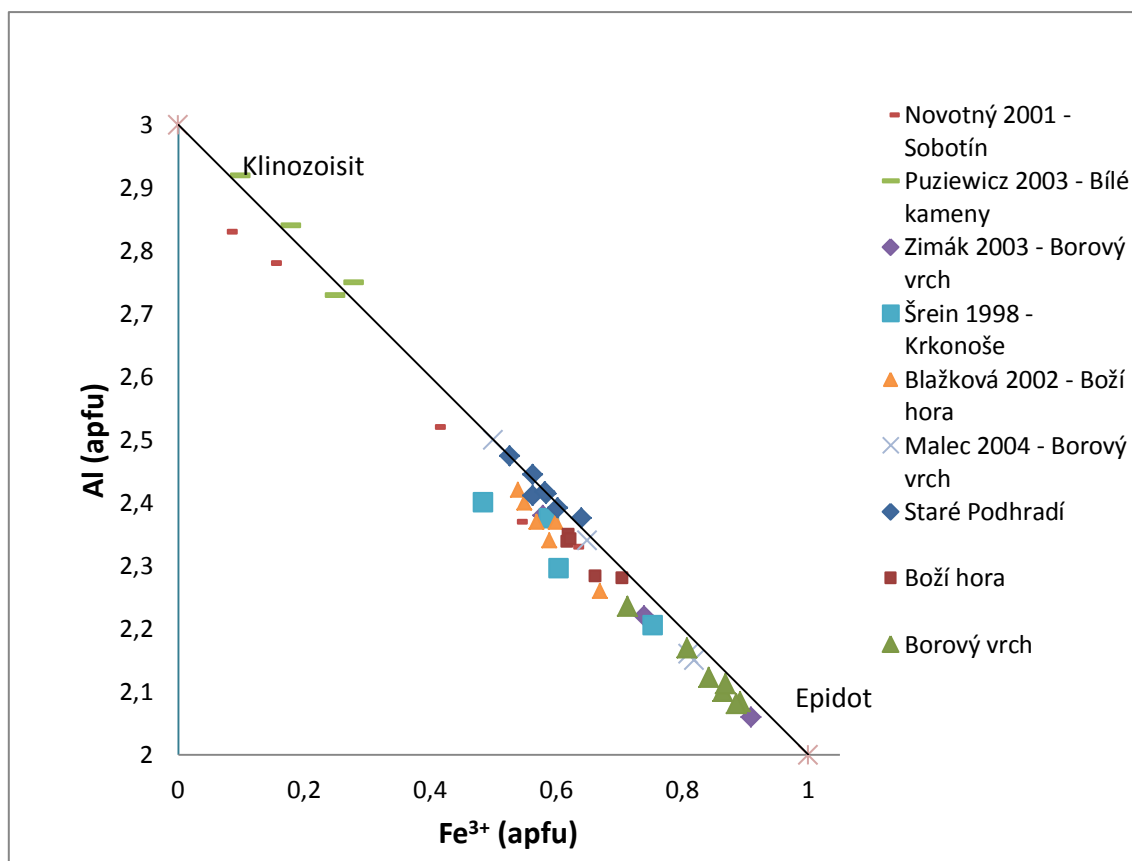
Obsah pistacitové složky z lokality Borový vrch v práci Malce a Zimáka odpovídá mým údajům. Lokalita Boží hora má v práci Malec podobný interval obsahu pistacitové složky ve srovnání s mými daty na rozdíl od Blažkové, jejíž data se odlišují. Obsah pistacitové složky z analýz vzorků ležících mimo prostor žulovského masivu např. publikovaný Šreinem (1998) z Krkonoš se pohybuje v rozmezí Ps_{15-25} .

Z lokality Sobotín je rozsah obsahu pistacitové složky velmi variabilní a pohybuje se v intervalu Ps_3 - Ps_{21} , což může být způsobeno alpskou mineralizací epidotu.



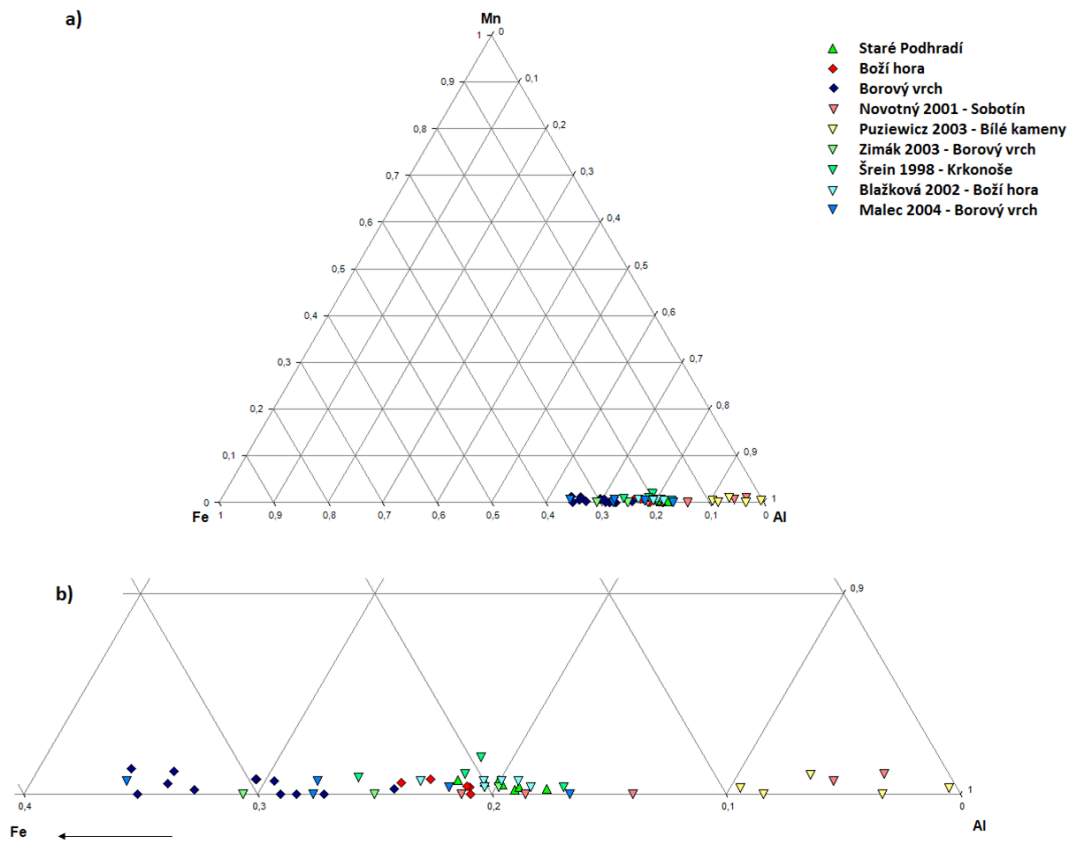
Obr. 55: Graf závislosti obsahu pistacitové složky v % v závislosti na obsahu Ca (apfu) – porovnaní mých výsledků s výsledky měření prezentovanými jinými autory viz legenda.

Na základě získaných hodnot stechiometrických koeficientů byl vytvořen korelační graf, který vyjadřuje možné substituce Fe^{3+} a Al v minerálech skupiny epidotu viz obr. 56. Klinozoisitovému složení se blíží vzorky ze Sobotína a Bílých kamenů, zbytek analýz směřuje spíše k epidotovému složení.



Obr. 56: Korelace Fe^{3+} - Al v minerálech skupiny epidotu – porovnání mých výsledků s výsledky měření prezentovanými jinými autory viz legenda.

V ternárním grafu Fe-Al-Mn na obr. 57 se vzorky liší hlavně v obsahu Fe^{3+} -Al, pro studované lokality platí stejné závislosti, jak již bylo dříve zmíněno.



Obr. 57: a) Projekce chemického složení Fe – Al – Mn v analyzovaných vzorcích epidotu - porovnání mých výsledků s výsledky měření prezentovanými jinými autory viz legenda, b) Výřez z ternárního diagramu.

7. Závěr

Úkolem mé diplomové práce bylo zdokumentovat lokality Vycpálkův lom, Boží hora, Borový vrch a Staré Podhradí a získat nové mineralogicko-chemické informace v rámci minerálů skupiny epidotu a vesuvianu.

Během terénního průzkumu byly nasbírány vzorky, které byly rozřezány a následně z nich byly vytvořeny výbrusy. Poté jsem je zdokumentoval na Katedře geologie v Olomouci pomocí optického mikroskopu. Následně v Brně na PřF MU byly vzorky pokoveny a analyzovány za použití WDX bodového analyzátoru. Jednoho ze dvou měření jsem se zúčastnil a podrobně jsem dokumentoval průběh samotné analýzy a současně jsem si poznamenal na vytištěné fotografie body jednotlivých analýz. Veškerá výstupní data byla normalizována dle meze stanovitelnosti, poté standardně přepočítána a porovnána s již publikovanými údaji o chemismu minerálů bimetasomatických zón v prostoru žulovského masivu i v jiných oblastech.

Nově zjištěné údaje týkající se chemického složení minerálů skupiny epidotu vykazují stejné chemické složení v rámci jedné studované lokality, ale současně se lokality mezi sebou v chemismu minerálů navzájem liší. Obsah pistacitové složky roste směrem od Starého Podhradí přes Boží horu po Borový vrch. Na základě rozdílného chemického složení ve zkoumaných lokalitách byly také stanoveny dvě skupiny vesuvianu, které pravděpodobně odlišuje způsob jejich geneze. Optická zonálnost patrná pod optickým mikroskopem pravděpodobně ukazuje nepatrné odchylky v chemickém složení v jednotlivých vzorcích.

8. Literatura:

- Arem, J. E. (1973): Idocrase (vesuvianite) - a 250 - year puzzle. *Mineral. Rec.*, **4**, 164-174.
- Armbruster, T., Bonazzi, P., Akasaka, M., Bermanec, V., Chopin, C., Gieré, R., Heuss-Assbichler, S., Liebscher, A., Menchetti, S., Pan, Y., Pasero, M. (2006): Recommended nomenclature of epidote-group minerals *Eur. J. Mineral.*, **18**, 551-567.
- Blažková, I. (2002): Kontaktní minerály na Borovém vrchu a Boží hoře u Žulové. Diplomová práce. PřF UP Olomouc.
- Buday, T., Ďurica, D., Opletal, M., Šebesta, J. (1995): Význam bělského a klepačovského zlomového systému a jeho pokračování do Karpat, *Uhlí, Rudy. Geol. průzk.*, **9**, 275-282.
- Burt, D. M. (1977): Mineralogy and petrology of skarn deposits, *Soc. Italiana Mineral Petrol Rendiconti* **33**, 859-873.
- Coda, A., Della Gyusta, A., Isetti, G., Mazzi, F. (1970): On the crystal structure of vesuvianite, *Atti Accad. Sci. Torino*, **105**, 63-84.
- Čabla, V. (1969): Stáří žulovského plutonu. *Geol. průzk.*, **11**, 4. str. 117 - 118.
- Čermák, J. (2009): Hypogenní a supergenní alterace allanitu, diplomová práce, PřF Brno.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J. (1986): Rock-forming minerals, vol.1b: Disilicates and ringsilicates (2nd edition), Longman Harlow, United Kingdom.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J. (1997): Rock forming minerals vol.1a: Ortosilicates (2nd edition), Geological Society, London, United Kingdom.
- Demek, J. (1987): Zeměpisný lexikon ČSR – hory a nížiny, Academia Praha.
- Einaudi, M. T., Burt, D. M. (1982): A special issue devoted to skarn deposits. Introduction-terminology, Classification, and composition of Skarn deposits, *Econom. Geol.*, **77**, 745-754.
- Franz, A., Liebscher, A. (2004): Physical and chemical properties of the epidote minerals, *Rev. Mineral. Geochem.*, **56**, 1-82.
- Gregerová, M., Fojt, B., Vávra, V. (2002): Mikroskopie horninotvorných a technických minerálů, Moravské zemské muzeum Brno, 197-199, 284-285.

- Groat, L. A., Hawthorne, F. C., Ercit, T. S. (1992): The chemistry of Vesuvianite. *Can. Mineral.*, **30**, 19-48.
- Hall, A. M., Migoń, P. (2010): The first stages of erosion by ice sheets: Evidence from central Europe. *Geomorphology*, **123**, 349–363.
- Hoisch, D.(1985): The solid solution chemistry of vesuvianite, *Contrib. Mineral. Petrol.*, **85**, 205-214.
- Houzar, S. (1996): 200 let vesuvianu a jeho naleziště na Moravě a ve Slezsku, *Minerál*, **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., Suk, M. (1977): Regionální metamorfóza na území Čech a Moravy, Knihovna Ústř. Úst. geol., **50**, Praha.
- Cháb, J., Žáček, V. (1994): Geology of the Žulová pluton mantle (Bohemian Massif, Central Europe), *Věstník Česk. geol. úst.*, **69**, 1-12. Praha.
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stráník, Z. (2002): Geologická minulost České republiky, Academia, Praha, s. 216,370.
- Chlupáč, I., Štorch, P. (1992): Regionálně geologické dělení Českého masívu na území České republiky. *Čas. Mineral. Geol.*, **37**, 4, 258-275, Praha.
- Jedlička, J. (1995): Přehled mineralogie žulovského masívu ve Slezsku, *Severní Morava*, **70**, 35-50.
- Jedlička, J. (1997): Žulovský masiv ve Slezsku – přehled dosavadních znalostí, *Zpr. Geolog. výzk. v Roce 1996*, 121-123.
- Klomínský, J., Jarchovský, T., Rajpoot, G. S. (2010): Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif – Brunovistulicum, Moravosilesicum, Czech geological survey, Prague.
- Krausová, D., Zimák, J. (1998): Krystalová struktura a chemismus wollastonitu z vybraných moravských a slezských lokalit, *Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1997*, 82-84, Brno.
- Kretz, R. (1983): Symbols for rock-forming minerals, *Am. Mineral.*, **68**, 277-279.
- Kruťa, T. (1973): Slezské nerosty a jejich literatura. Moravské muzeum, Brno. 414s.

- Losos, Z., Brož, M. (2002): Parageneze a chemismus bimetasomatických kontaktních zón žulovského masivu, *Mineralogie Českého masivu a Západních Karpat*, UP Olomouc.
- Losos, Z., Hladíková, J. (1988): Izotopické složení grafitů a karbonátů z pláště žulovského masivu a jeho využití pro výpočet teplot metamorfozy, *Scr. Univ. Purkyn. brun., Geol.*, **18**, 7, 261-272, Brno.
- Losos, Z., Fojt, B., Hladíková, J. (1986): Mineralogická charakteristika sulfidického zrudnění u České Vsi u Jeseníku. *Scr. Univ. Purkyn. brun., Geol.*, **16**, 3, 143-170, Brno.
- Malec, P. (2004): Minerály epidotové skupiny v magmatitech na kontaktech v alpské paragenezi Žulovského masivu, diplomová práce, PřF Brno.
- Maluski, H., Rajlich, P., Souček, J. (1995): Pre-Variscan, Variscan and Early Alpine thermo-tectonics history of north eastern Bohemian massif: An $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ study, *Geol. Rundsch.*, **84**, 345-358.
- Nesse, W. D. (2000): Introduction to mineralogy, Oxford University Press, 291-299.
- Novák, M. (1995): Minerální asociace wollastonit – vesuvian v nedvědicích mramorech a jejich petrogenetický význam, *Geol. Výzk. Moravy a Slezska za r. 1994*, 103-104.
- Novák, M., Kimbrough, D. L., Taylor, M. C., Černý P., Ercit, S. T. (1998): Radiometric U/Pb age of monazite from granitic pegmatite at Velká Kraš, Žulová granite pluton, Silezia, Czech republic, *Geol. Carpath*, **42**, 309-310.
- Novotný, P., Zimák, J. (2001): Chemismus von epidot den alpinen klüften in der umgebung von Sobotín, *Acta Univ. Palac. Olom., Fac. rer. nat., Geol.*, **37**, 27-36.
- Pauliš, P. (2001): Nejzajímavější mineralogická naleziště Moravy a Slezska. Kuttna, Kutná Hora.
- Pouba, Z., Dvořák, J., Kužvarť, M., Mísař, Z., Musilová, L., Prosová, M., Röhlich, P., Skácel, J., Unzeitig, M. (1962): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě 1:200000, list M-33-XVIII-Jeseník, Ústř. Úst. Geo., Praha 1962, 117-125.

- Puziewicz, J., Olejniczak, K., Koepke, K. (2003): Pumpellyite – aktinolite facies quartzites from eastern cover of the Žulová pluton (NE Bohemian massif), *N. Jb. Miner. Abch.*, **178**, 153-172.
- Roger, H., Zabinski, W. (1995): Fe³⁺ in vesuvianite from Žulová (Czech Republic) studied by single crystal electron paramagnetic resonance (EPR), *N. Jb. Miner. Mh.*, **6**, 264-272.
- Rucklidge, J. C., Kocman, V., Whitlow, S. H., Gabe, E. J. (1970): The crystal structures of three Canadian vesuvianites, *Can. Mineral.*, **13**, 15-21.
- Rybák, J. (1972): Asociace minerálů z kontaktních výskytů v okolí žulové, Diplomová práce, PŘF Brno.
- Šrein, V., Litochleb, J., Šreinová, B. (1998): Vybrané skarnové a sblížené metamorfogenní mineralizace českého masivu, *Bull. Min. – Petr. Odd. NM v Praze*, **6**, 132-146.
- Warren, B. E., Modell, D. I. (1931): The structure of vesuvianite Ca₁₀Al₄(Mg,Fe)₂Si₉O₃₄(OH)₄, *Z. Krist.*, **78**, 422- 432.
- Zimák, J., Demek, J., Janoška, J., Pek, I. a Zapletal, J. (1995): Průvodce ke geologickým exkurzím. Střední a severní Morava, Slezsko, UP Olomouc.
- Zimák, J., Novotný, P., Fojt, B., Večeřa, J., Losos, Z., Vávra, V., Večeřová, V., Skácel, J. a Kopa, D. (2003): Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách v okolí Javorníku, Jeseníku a Zlatých Hor, UP Olomouc.
- Zimák, J. (2012): Anomálně vysoké obsahy uranu v taktitech a reakčních skarnech pláště žulovského masivu, *Geol. výzk. Mor. Slez*, 166-168.

Internetové zdroje: (dostupnost červen 2013)

<http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/geologie/skripta/HORMAS.htm>

[http://www.sci.muni.cz/mineralogie/kap_7_10_sorosil/kap_7_10_sorosil.htm#7.10.1.5.](http://www.sci.muni.cz/mineralogie/kap_7_10_sorosil/kap_7_10_sorosil.htm#7.10.1.5)

http://www.bruker.com/fileadmin/user_upload/8-PDF-Docs/X

rayDiffraction_ElementalAnalysis/XRF/Webinars/Bruker_AXS_EDX_vs_WD
X_Webinar_Slides.pdf

http://home.gli.cas.cz/skala/zaklady_mineralogie/13_Genetick%C3%A1_mineralogie.pdf

<http://miroslav.vesely.sweb.cz/Bprace.html>

[http://home.gli.cas.cz/skala/zaklady_mineralogie/11_Mineralogick%C3%BD%20sy
st%C3%A9m%20-%20neso-,%20soro-,%20cyklo-,%20ino-
silik%C3%A1ty.pdf](http://home.gli.cas.cz/skala/zaklady_mineralogie/11_Mineralogick%C3%BD%20sy
st%C3%A9m%20-%20neso-,%20soro-,%20cyklo-,%20ino-
silik%C3%A1ty.pdf)

<http://atlas.horniny.sci.muni.cz/metamorfovane/taktit.html>

http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_10_sorosil/obrazek710_17.htm