

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE



**MINERALOGIE ŽELEZNORUDNÝCH LOŽISEK NA
ZÁPADNÍM SVAHU BŘIDLIČNÉ HORY U VERNÍŘOVIC**

diplomová práce

Bc. Karolína Janků

Environmentální geologie (B1201)
prezenční studium

vedoucí práce: doc. RNDr. Jiří Zimák, CSc.

srpen 2023

Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora: Bc. Karolína Janků

Název práce: Mineralogie železnorudných ložisek na západním svahu Břidličné hory u Vernířovic

Typ práce: magisterská

Pracoviště: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra geologie

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

Rok obhajoby práce: 2023

Abstrakt: Tato práce se zabývá rozbořem dvou ložisek páskovaných křemen-magnetitových rud v okolí Vernířovic v Hrubém Jeseníku; ložiska Kosaře-Špičák a ložiska Pod Břidličnou. Lokality páskovaných křemen-magnetitových rud jsou známy již z historických pramenů. Jejich mineralogické složení je v této práci srovnáváno s okolními ložisky na Sobotínsku. Ke studiu vzorků byl použit optický polarizační mikroskop a WDX analýza. Celkový chemismus rud a hornin byl stanoven pomocí XRF analýzy. Výsledné hodnoty analýz minerálů byly porovnány s již publikovanými daty. Zajímavým objevem by amfibol v páskovaných křemen-magnetitových rudách na lokalitě Pod Břidličnou. Výskyt amfibolu na této lokalitě nebyl zatím dosud publikován. Obsahy hořčíku v amfibolu byly stanoveny od 3,48 do 4,29 apfu. Tyto obsahy jsou vyšší než na ostatních lokalitách v okolí Vernířovic. Naopak, hodnoty železa (0,5-1,1 apfu), manganu (0,017-0,021 apfu) a sodíku (0,087-0,197 apfu) jsou nižší. Tento rozdíl může být způsobený vyšší intenzitou retrogradně metamorfních procesů. Další odlišností je vyšší obsah Grs+Adr složky (14,0-35,5 apfu) v granátech. Přítomnost titanomagnetitu (ilmenohematitu) v páskovaných křemen-magnetitových rudách je z hornin na Sobotínsku také ojedinělá.

Klíčová slova: Silezikum, páskované železné rudy, magnetit, granát, amfibol, apatit, ilmenit.

Počet stran: 63

Počet příloh: 1

Jazyk: čeština

Bibliographical identification:

Author's first name and surname: Karolína Janků

Title: Mineralogy of iron ore deposits on the western slope of Břidličná hora by Vernířovice

Type of thesis:

Institution: Palacký University in Olomouc, Faculty of Science, Department of Geology

Supervisor: doc. RNDr. Jiří Zimák, CSc.

The year of presentation: 2023

Abstract: This work deals with the analysis of two deposits of banded quartz-magnetite ores by Vernířovice in the Hrubý Jeseník Mts.; Kosaře-Špičák deposit and Pod Břidličnou deposit. Localities of banded quartz-magnetite ores are already known from historical sources. This work compares their mineralogical composition with the surrounding deposits in the area around Sobotín. An optical polarizing microscope and WDX analysis were used to study the samples. The overall chemistry of the ores and rocks was determined using XRF analysis. The results of the mineral analysis were compared with already published data. An interesting discovery was amphibole in the banded quartz-magnetite ores at the locality Pod Břidličnou. The occurrence of amphibole at this location has not yet been published. Magnesium contents of the amphibole have been determined from 3.48 to 4.29 apfu. These contents are higher than at other locations around Vernířovice. On the contrary, the values of iron (0.5-1.1 apfu), manganese (0.017-0.021 apfu), and sodium (0.087-0.197 apfu) are lower. This difference may be due to the higher intensity of retrograde metamorphic processes. Another difference is the garnets' higher content of the Grs+Adr components (14.0-35.5 apfu). The presence of titanomagnetite (ilmenohematite) in banded quartz-magnetite ores is also unique among rocks in the Sobotín area.

Keywords: Silesicum, banded iron formation, magnetite, garnet, amphibole, apatite, ilmenite.

Number of pages: 63

Number of appendices: 1

Language: Czech

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala samostatně pod odborným vedením doc. RNDr. Jiřího Zimáka, CSc. Veškerá použitá literatura je řádně citována a uvedena v seznamu literatury.

V Olomouci 30. 6. 2023

.....

Podpis

Poděkování

Především chci poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. RNDr. Jiřímu Zimákovi, CSc. za odborné vedení, konzultace, cenné rady při zpracování mé diplomové práce a za poskytnutí vzorků z jeho vlastních sběrů.

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Metody a cíle práce	1
3. Geneze a obecná charakteristika páskovaných železných rud.....	4
4. Geologická pozice lokality	7
5. Páskované železné rudy v okolí Vernířovic.....	12
5.1. Variabilita (typologie) rud	15
5.2. Ložiska Pod Břidličnou a Kosaře v literatuře	19
6. Výsledky terénních prací.....	19
6.1. Lokalita Pod Břidličnou.....	21
6.2. Lokalita Kosaře-Špičák.....	22
7. Laboratorní výsledky.....	27
7.1. Nerostné složení rudních vzorků	27
7.1.1. Rudní vzorky z lokality Pod Břidličnou.....	27
7.1.2. Rudní vzorky z lokality Kosaře-Špičák.....	31
7.2. Chemismus minerálů	38
7.3. Chemismus rud.....	45
8. Diskuze.....	47
9. Závěr	52
10. Literatura	53

1. Úvod

Ložiska páskovaných železných rud v okolí Sobotína a Vernířovic jsou známa již z minulosti, kdy první zmínka byla spojena s dolováním železné rudy do sobotínských železáren. Tehdy nevelké zásoby rud byly vytěženy a dnes na starých haldách najdeme jen pár reprezentativních vzorků. Přesto tyto páskované křemen-magnetitové rudy byly v minulosti detailně zhodnoceny v mnohých vědeckých pracích. Z mnoha ložisek, které se na Sobotínsku nacházejí, se v této diplomové práci zaměřuji na ložisko Kosaře-Špičák a ložisko Pod Břidličnou. Tyto lokality byly podrobeny výzkumu již v minulosti. Při srovnání minerálního a chemického složení mnou studovaných lokalit s již publikovanými výsledky lze zaznamenat několik odlišností, z nichž přítomnost amfibolu na lokalitě Pod Břidličnou je jedna ze zajímavějších, jelikož jeho přítomnost nebyla na této lokalitě v minulosti popsána. Tato problematika, a řada dalších poznatků o nerostném složení rud, je obsažena v následujících kapitolách této práce.

2. Metody a cíle práce

První fáze diplomové práce zahrnuje vypracování literární rešerše, která se zaměřuje na geologii Vernířovic a jeho širšího okolí. Dále také rozebírá mineralogii a genzi ložisek typu BIF (páskovaná železnorudná formace) jak těch světových, tak i těch nacházejících se na Sobotínsku. Součástí dalších kapitol rešerše je krystalochemie a klasifikace slíd, chloritů, granátů a spinelidů. Následně byla provedena rekognoskace terénu na ložiskách Kosaře-Špičák a Pod Břidličnou, kdy tento proces zahrnoval zdokumentování současného stavu lokalit a jejich fotodokumentaci. Vzhledem k současnému nedostatku reprezentativních vzorků na daných lokalitách byly všechny vzorky, následně použité k analýzám, poskytnuty z dřívějších sbírek pana doc. Zimáka, za což mu velmi děkuji.

Ze vzorků, vybraných k podrobnějším analýzám, byly zhotoveny leštěné výbrusy, které byly následně studovány v optickém polarizačním mikroskopu Olympus BX 50, který umožňuje studium preparátů jak v procházejícím, tak odraženém světle. Pořízené mikrofotografie byly provedeny na témže mikroskopu, doplněné o kameru Olympus Camedia C-7070.

Pomocí vlnově disperzní analýzy (WDX) na elektronové mikrosondě Cameca SX100 byl podrobněji studován chemismus vybraných minerálů. Současně byly pořízeny snímky ve zpětně odražených elektronech, tzv. BSE snímky. To vše bylo provedeno na pracovišti PEMM PřF MU Brno. Analýzy provedli Mgr. Petr Gadas, PhD., RNDr. Petr Sulovský, CSc., RNDr. Renata Čopjaková, PhD. WDX analýzy byly provedeny za těchto podmínek:

Kalcit: průměr svazku 4 μm , 15 keV, 10 nA; použité standardy: pyrop (Mg), SrSO_4 (Sr), almandin (Si, Fe), baryt (Ba), wollastonit (Ca), sanidin (K), spessartin (Mn), Ni_2SiO_4 (Ni), gahnit (Zn), vanadinit (Pb).

Ilmenit: průměr svazku 1 μm , 15 keV, 10 nA; použité standardy: hematit (Fe), columbit Ivigtut (Nb), Mn_2SiO_4 (Mn), wolfram (W), CrTa_2O_6 (Ta), anatas Hardangervida (Ti), wollastonit (Ca), sanidin (Al, Si), vanadinit (Pb), chromit (Cr), cín (Sn), pyrop (Mg), ScVO_4 (Sc, V), zirkon (Zr), gahnit (Zn).

Fylosilikáty (slídy a chlority): průměr svazku 5 μm , 15 keV, 10 nA; použité standardy: albit A (Na), sanidin (K), pyrop (Mg), vanadinit (Cl), titanit (Ti), baryt (Ba), chromit (Cr), wollastonit (Ca), almandin (Si, Al, Fe), spessartin (Mn), gahnit (Zn), topas (F), SrSO_4 (Sr), Ni_2SiO_4 (Ni), ScVO_4 (V).

Apatit: průměr svazku 8 μm , 15 keV, 10 nA; použité standardy: albit A (Na), YAG (Y), wollastonit (Si), SrSO_4 (Sr, S), fluorapatit (P, Ca), PrPO_4 (Pr), vanadinit (Cl), UO_2 synthetic (U), LaPO_4 (La), CePO_4 (Ce), NdPO_4 (Nd), $\text{CaTh}(\text{PO}_4)_2$ (Th), lammerit (As), almandin (Fe), anatas Hardangervida (Ti), topas (F), Mn_2SiO_4 (Mn), pyrop (Mg), ortoklas (Al).

Amfibol: průměr svazku 3 μm , 15keV, 10 nA; použité standardy: albit A (Na), sanidin (Si, Al, K), grossulár_Ruda (Ca), titanit (Ti), pyrop (Fe), topaz (F), chromit (Cr), Mn_2SiO_4 (Mn), gahnit (Zn), ScVO_4 (V), pyrop (Mg), baryt (Ba), vanadinit (Cl), Ni_2SiO_4 (Ni).

Živec: průměr svazku 5 μm , 15 keV, 10 nA; použité standardy: albit A (Na), pyrop (Si), sanidin (Al, K), wollastonit (Ca), almandin (Fe), baryt (Ba), SrSO_4 (Sr), fluoroapatit (P), titanit (Ti), spessartin (Mn), leucit (Rb), polucit (Cs).

Granáty: průměr svazku 0 μm , 15 keV, 20 nA; použité standardy: albit A (Na), spessartin (Si, Al), pyrop (Mg), titanit (Ti), chromit (Cr), grossular_ruda (Ca), sanidin (K), pyrop (Fe), Mn_2SiO_4 (Mn), ScVO_4 (V, Sc), topas (F), fluoroapatit (P), YPO_4 (Y).

Spinelidy: průměr svazku 0 μm , 15 keV, 20 nA; použité standardy: columbit Ivigtut (Fe), spessartin (Mn), SrTiO_3 (Ti), titanit (Ca), sanidin (Al), MgAl_2O_4 (Mg), almandin (Si), chromit (Cr), gahnit (Zn), nikl (Ni).

Epidot a allanit: průměr svazku 5 μm , 15 keV, 10 nA; použité standardy: almandin (Fe, Al), spessartin (Mn), NdPO_4 (Nd), PrPO_4 (Pr), LaPO_4 (La), CePO_4 (Ce), anatas Hardangervida (Ti), pyrop (Si, Mg), SrSO_4 (Sr), YAG (Y), SmPO_4 (Sm), wollastonit (Ca), ThO_2 (Th), UO_2 synthetic (U), topas (F), GdPO_4 (Gd), DyPO_4 (Dy), vanadinit (Cl), ScVO_4 (V).

Titanit: průměr svazku 2 μm , 15 keV, 20 nA; použité standardy: albit A (Na), titanit (Si, Ca, Ti), sanidin (Al), zirkon (Zr), olivin (Mg), YGI (Y), Sn (Sn), Columbit_Ivigtut (Nb), CrTa_2O_6 (Ta), W (W), andradite (Fe), rhodonit (Mn), Bi (Bi), chromit (Cr), topaz (F), $\text{ScP}_5\text{O}_{14}$ (Sc).

Výsledné hodnoty z reprezentativních analýz jsou vyobrazeny v příloze v tabulkách I. až XVIII. Způsob přepočtu na apfu (=počet atomů na vzorcovou jednotku) je uveden v každé tabulce. Přepočty výsledků WDX analýz byly provedeny postupy běžně užívanými v mineralogii (např. Broska a kol. 2012). K přepočtům byl využit program Excel a program FORMULA. Zkratky minerálů, použité k popisu BSE snímků, jsou v souladu s doporučením IMA (Warr 2021). Na vytvoření diagramů pro granáty byl použit program Triangl.

Chemismus rudnin byl proveden pomocí rentgenfluorescenčního analyzátoru Delta Premium (URGA Olomouc).

3. Geneze a obecná charakteristika páskovaných železných rud

Termínem železnorudná formace (IF) jsou označovány stratigrafické jednotky, skládající se z vrstevnatých či laminovaných hornin, obsahujících více jak 15obj% železa (Bekker a kol. 2010, Bekker a kol. 2014). Dle textury mohou být železné rudy děleny na dva typy: páskované železné rudy (BIF) a zrnité železné rudy (GIF) (Bekker a kol. 2010). Charakteristickým znakem pro páskované železné rudy je střídání pásků s tmavou rudní komponentou a světlou nerudní komponentou (Klemm 2000, Klein 2005), kdy světlé pásky jsou tvořeny křemenem (často velmi jemnozrnným – rohovcovitým) nebo uhličitany, a tmavé rudní pásky obsahují Fe-oxidy (Bekker a kol. 2010, Bekker a kol. 2014). U zrnitých železných rud převažuje všesměrná textura nad páskovanou. Tento typ rud je všeobecně mladší než rudy předchozího typu (Trendallem 2002 in Klein 2005, Bekker a kol. 2010). Železnorudné formace mohou být děleny i na 4 faciální typy. Sulfidická facie je tvořena pyrit-karbonátovou jílovou břidlicí, nebo středně metamorfovanou břidlicí, ovšem tento typ facie nemusí být striktně brán jako IF. Druhým faciálním typem je oxidická facie, tvořená magnetitovými či hematitovými pásky. Jako třetím typem je facie karbonátová, kde je hlavní složkou siderit nebo ankerit. Posledním typem facie je facie silikátová, která je mnohem komplexnější než předešlé typy (James 1954 in Bekker a kol. 2010).

Páskované železné rudy jsou řazeny mezi chemické sedimenty (Klein 2005, Rasmussen a kol. 2012, Gaucher a kol. 2015, Hagemann a kol. 2016). Jejich typické páskování je pravděpodobně důsledkem pravidelných změn složení mořských vod a atmosféry v závislosti na klimatických podmínkách (Bekker a kol. 2010). Sedimentace rud probíhala ve vysoce anoxickém prostředí, převážně v hlubokomořském, ale i v mělkém prostředí (Klein 2005, Bekker a kol. 2014, Li a kol. 2014a, Gaucher a kol. 2015). Tento redoxní stav oceánů silně dopomohl transportu železa a manganu (Bekker a kol. 2014), dodávaných díky podmořskému vulkanismu a hydrotermální aktivitě (Klemm 2000, Klein 2005, Bekker a kol. 2014). Na vzniku BIF se také podílely procesy zemské kůry, jako např. pohyb kontinentů a s tím spojený plášťový plutonismus, což je podpořeno stejným časovým úsekem, ve kterém tyto eventy probíhaly (Bekker a kol. 2010, Bekker a kol. 2014). Dalším, velmi diskutovaným, faktorem geneze BIF jsou redukční bakterie, na které byl brán větší ohled až s objevením mikrofosílií přítomných

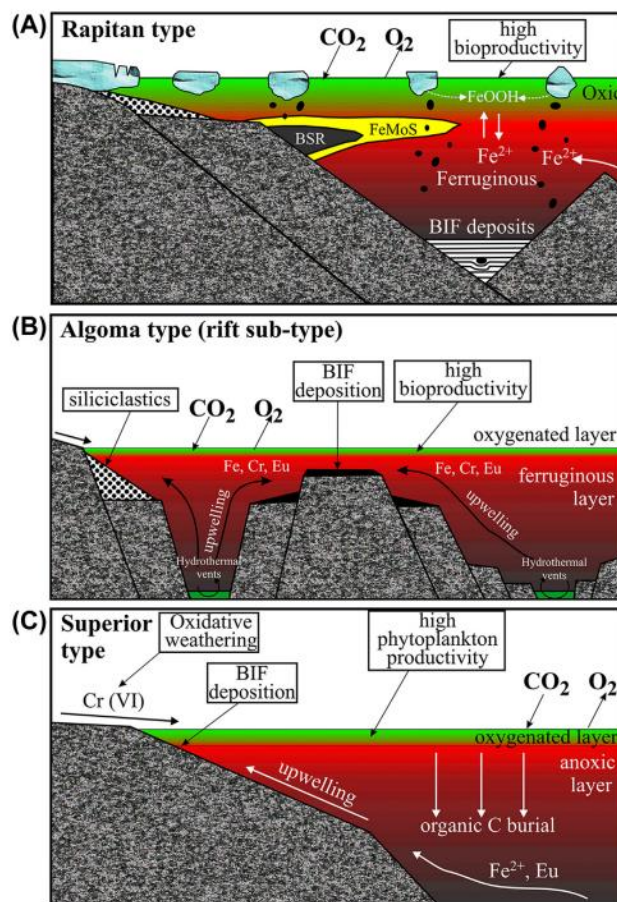
v neoproterozoických IFs (Bekker a kol. 2014). Podrobnější studie ukázaly, že jejich mikroaerofilický metabolismus byl jedním z hlavních mechanismů zodpovědným za oxidaci železa (Lin a kol. 2019). Kromě oxidace železa také regulovaly parametry mořské vody, ve které probíhala sedimentace (Posth a kol. 2013, Li a kol. 2014b).

Stratigrafické rozmezí železných rud (obr. 1) se pohybuje od 3.5–1.8 miliardy let (např. Klein 2005), kdy nejstarší ložiska mohou být datována až k 3.8 miliardám let. Mezi tímto intervalem proběhly tři metalogenetické intervaly, a to od 2.8–2.7 miliardy let od 2.5–2.4 miliardy let a od 1.9–1.8 miliardy let (Wu a kol. 2015). Ovšem díky zvýšení atmosférického kyslíku během GOE, v období kolem 2.4 mld. let, upadl výskyt BIF na úkor převažujících GIF (Bekker a kol. 2010). Po posledním intervalu geneze BIF na nějaký čas utichla až do období mezi 0.8–0.6 miliardy let, kdy je spojováno znovuobjevení s globálním zaledněním Země (Klein 2005, Bekker a kol. 2010, Bekker a kol. 2014 Wu et al. 2015). Nejmladší dosud objevené páskované železné rudy jsou řazeny do období kambria (Li a kol. 2019).



Obr. 1. Globální výskyt prekambriických BIF's (modifikováno podle Trendall 2002). Mapa zdůrazňuje širokou distribuci BIF a zobrazuje pouze výběr nejznámějších výskytů BIF různého stáří a typu (Klein 2005)

Dle různých kritérií, páskované železné rudy můžeme dělit na různé typy a subtypy. Jedním z možných kritérií je charakter sedimentace a geotektonického prostředí. Nejmladším typem je typ Rapitan (obr. 2(A)), který je nejčastěji neoproterozoického stáří (Gaucher a kol. 2015). Jejich geneze je spojována s globálním zaledněním Země, kdy jejich sedimentace probíhala ve stojatých oceánských vodách pod ledovým pokryvem za anoxických podmínek (Klein 2005). V těchto horninách se mohou objevovat také dropstouny a diamiktity (Gaucher a kol. 2015). Druhou skupinu činní páskované železné rudy, které se běžně nacházejí v asociaci s vulkanickými horninami, ať už jako jejich mezivrstva, či pouze v jejich blízkosti. Velikostně jsou ložiska typu Algoma (obr. 2(B)) tenčí a kratší, ovšem více hojnější než ložiska typu Lake Superior, pravděpodobně kvůli tektonickému rozdělení prekambriických štítů, s kterými bývají v asociaci (Bekker a kol. 2010, Bekker a kol. 2014, Li a kol. 2014a, Wu a kol. 2015). Sedimentace rud typu Algoma probíhala v riftovém prostředí, nebo v prostředí vulkanického oblouku (Gaucher a kol. 2015). Typ Lake Superior (obr. 2(C)) patří do třetí skupiny páskovaných železných rud, které se formovaly na stabilních kontinentálních platformách za periody globálního zvýšení hladiny oceánu (Bekker a kol. 2010, Bekker a kol. 2014, Gaucher a kol. 2015, Wu a kol. 2015). Ložiska tohoto typu jsou značně větší, než ložiska typu Algoma, a obsahují světové zdroje železné rudy (Bekker a kol. 2010, Wu a kol. 2015). Neoproterozoické typy mohou obsahovat, kromě páskovaných rud, i rudy s granulární nebo oolitickou strukturou (Klein 2005).



Obr. 2. Modely sedimentace pro tři typy Neoproterozoických železných formací. (A) Sedimentace páskované železné formace typu Rapitan během glaciálního ústupu, ilustrovaný příkladem typu výskytu ve skupině Rapitan (modifikováno z Baldwin a kol. (2012)). BRS: síran redukující bakterie. (B) Sedimentační model pro BIF typu Algoma Jucurutu formace (NE Brazílie) dle Sial a kol. (submitted). (C) Sedimentační prostředí BIF typu Lake Superior Yerbal formace, Arroyo del Soldado skupiny (z Frei a kol. (2013), a reference v tom.) (Gaucher a kol. 2015).

4. Geologická pozice lokality

Lokality Pod Břidličnou a Kosaře náležejí do oblasti Hrubého Jeseníku, stratigraficky řazeného k východní části silezika, desenské skupině.

Kompozice desenské skupiny se skládá z předdevonských krystalických břidlic, zahrnující migmatity, ruly, svory a fylonity. Tato skupina metamorfitů se označuje jako „jádro desenské klenby“. Pouba (1951) rozlišuje v „jádre desenské klenby“ dva hlavní typy hornin: a) progresivně metamorfované, s viditelným nestejným přibýváním

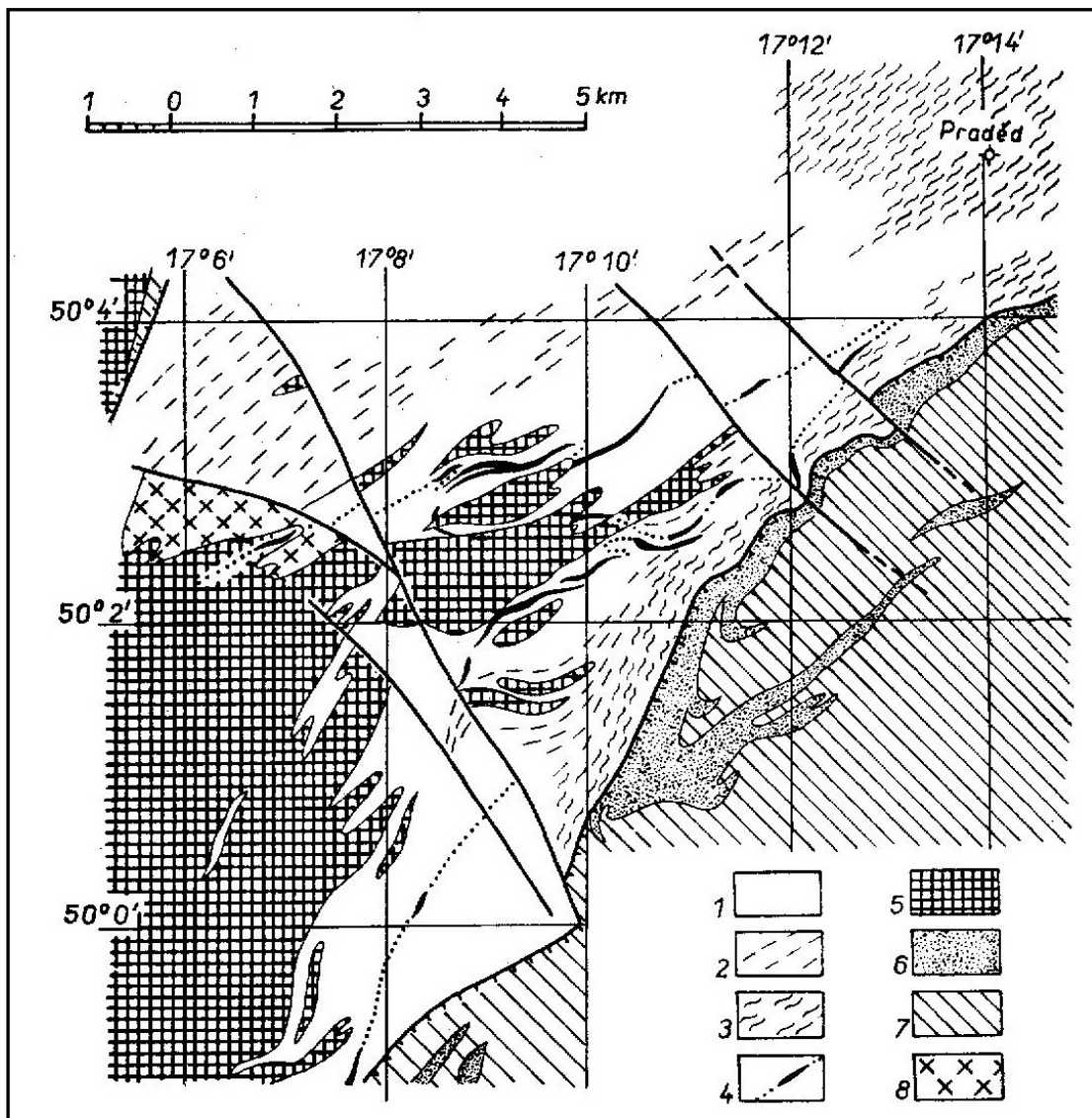
metamorfózy a migmatitizace směrem k západu - tyto horniny vykazují slabší chloritizaci a sericitizaci, a to jen ve vyšších polohách, b) horniny retrográdně metamorfované, u nichž je chloritizace a sericitizace typická a všudypřítomná - do této skupiny můžeme zařadit nejběžnější horninu tohoto komplexu, a to monotónní biotitické a dvojslídne slabě migmatitizované ruly (Mísař a kol. 1983). Část hornin „jádra desenské skupiny“ je prostoupena metabazity různého typu (Pouba 1951). Tzv. obal „desenské skupiny“ tvoří devonské horniny, které utvářejí souvislý lem kolem jádra na východní straně. Jedná se o vrbenskou skupinu (Pouba a kol. 1962, Svoboda a kol. 1964).

Obvyklým zástupcem rul v desenské skupině jsou tzv. desenské pararuly. Tímto termínem je označován komplex biotitických plagioklasových rul (Svoboda a kol. 1964). Zvláštním typem hornin, vyskytující se v této oblasti, jsou páskované magnetitové rudy. Tento typ hornin je specifický svou páskovanou texturou, kdy se střídají polohy pásků křemene a magnetitu (Pouba 1970). Geologická poloha a stáří rudních ložisek v desenské skupině není zcela jasné, jelikož ložiska, ležící blízko rozhraní mezi tzv. desenským jádrem a jeho pláštěm, byla tektonicky i metamorfně ovlivněna a mnohé důležité znaky tím mohly být zastřeny (Pouba 1951).

Přílehlá vrbenská skupina je komplex epizonálně až mezozonálně metamorfovaných vrstev spodního a středního devonu (Pouba a kol. 1962, Souček 1978). Tyto vrstvy jsou tvořeny kvarcity, fylity, mramory, metabazity a dalšími typy hornin (Pouba a kol. 1962, Svoboda a kol. 1964, Mísař a kol. 1983, Cháb a kol. 2008). Metamorfované slepence a kvarcity vrbenské skupiny (tzv. drakovské kvarcity) jsou pravděpodobně nejstaršími horninami této skupiny, jelikož jsou v současné době nacházeny na bázi celého souvrství. Nad nimi se nachází vrstva tmavě šedých až černých fylitů, odpovídající původním jílovým nebo siltovým břidlicím. Svrchní část souvrství tvoří komplex vulkanitů, se kterými bývají spjaty polohy ložisek železných rud tzv. submarinně exhalačního typu (typ Lahn-Dill) (Pouba a kol. 1962, Svoboda a kol. 1964, Mísař a kol. 1983). Podloží vrbenské skupiny téměř všude tvoří chloritizované desenské ruly, vyvinuté v různých faciích (Pouba a kol. 1962).

Další významnou částí desenské skupiny je sobotínský masiv, který je tvořen pestrým souborem metamorfovaných bazických a intermediárních hornin, např. gabra a diority. K nejběžnějším zástupcům v sobotínském masivu patří středně zrnité až hrubozrné amfibolity, gabroamfibolity, amfibolické ruly a metadiority. Přítomny jsou zde i „ultrabazické členy“ (např. hornblendity, chloriticko-mastkové břidlice, či mastkové břidlice) (Pouba a kol. 1962, Svoboda a kol. 1964, Mísař a kol. 1983). Při intruzi těchto

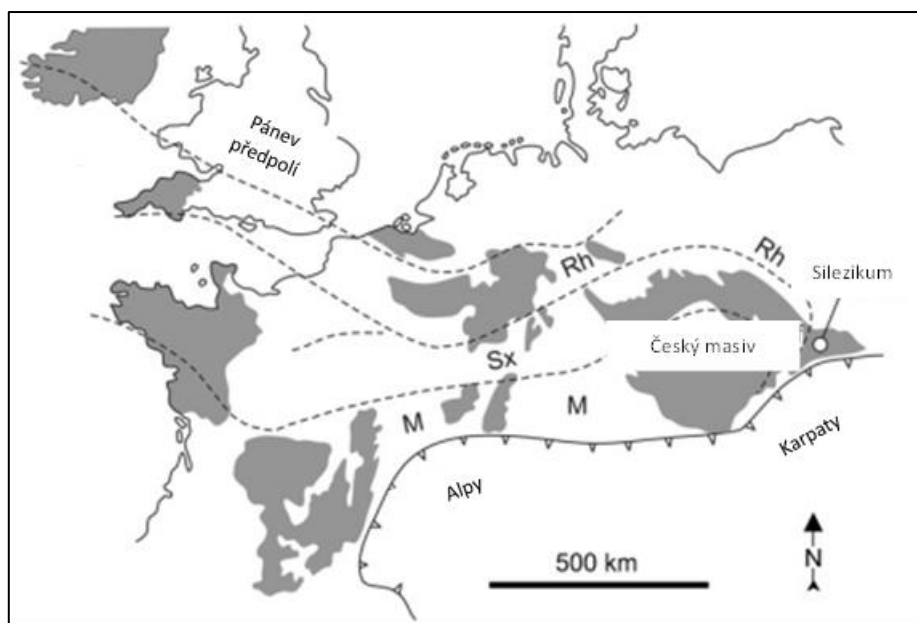
bazických hornin do rul desenské skupiny mohou vznikat kyselé kontaktní horniny. Tento kontaktní fenomén je méně běžný než ten, který je spojován s kyselými magmatickými horninami. Kolem místa kontaktu je hornina ochuzena o biotit, tudíž obohacena o křemen. Dále od kontaktu může být hornina obohacena o živce, granáty, kyanit či sillimanit. Ve vzdálenějších místech můžeme pozorovat amfibolitizaci ruly (Pouba 1971).



Obr. 3. Geologická skica v. části jádra a z. části obalu desenské klenby jv. od Pradědu. 1. desenské biotitické ruly, 2. migmatity a migmatitizované ruly, 3. chloritizované desenské ruly a migmatity, 4. ložiska páskovaných magnetitových rud, 5. horniny sobotínského amfibolitového masivu, 6. vrbenské kvarcitty, 7. vrbenské fylity, 8. žula Rudné. Zdroj: Svoboda a kol. (1964).

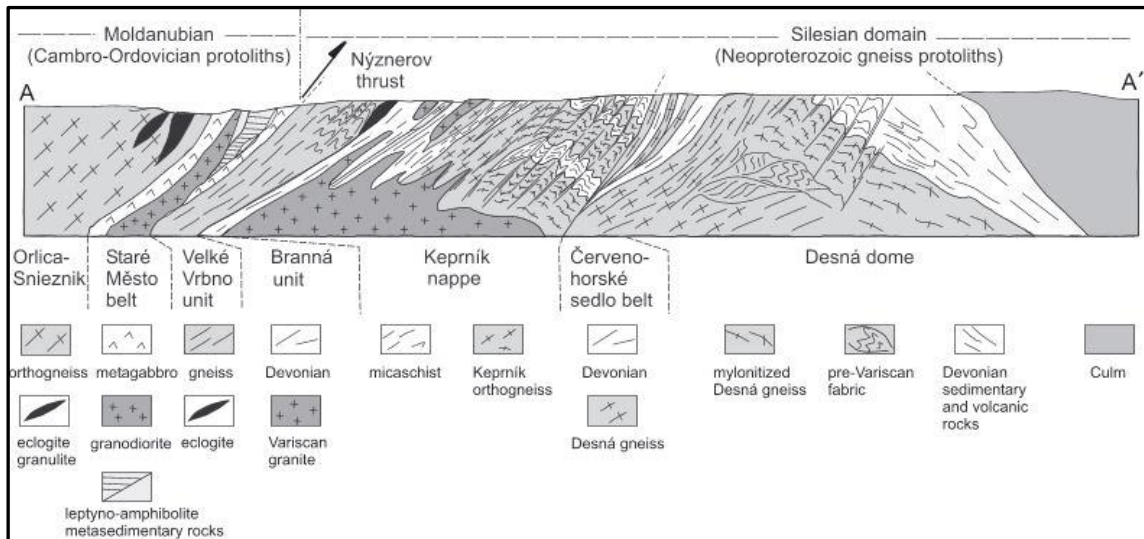
Jak již bylo zmíněno v předešlých odstavcích, desenská skupina náleží do oblasti silezika, severní části moravskoslezské oblasti. Díky odlišnému litofaciálnímu vývoji (Mísař a kol. 1983) lze moravskoslezskou oblast podélně rozdělit na tři různé úseky. Jižní úsek je tvořen dvěma tektonickými polookny, dyjskou a svrateckou klenbovou strukturou. Nectavský blok a úzká vranovsko-svinovská šupina tvoří střední část moravskoslezské oblasti. Tyto úseky společně tvoří morávní část pásma. Poslední, severní, část moravskoslezské oblasti je již zmíněné silezikum (Svoboda a kol. 1964, Mísař a kol. 1983, Suess 1912 in Cháb a kol. 2008).

Silezikum je severní částí moravskoslezské oblasti, která se vynořuje jako více než 300 km dlouhý pás příkrovů metamorfovaných hornin zpod přesunutého okraje moldanubika, lugika a dunajsko-oderského suturového pásma (obr. 4) (jak uvádí Cháb a kol. 2008, str. 96 a 97). Hranici silezika udává na západě ramzovské a nýznerovské nasunutí (Svoboda a kol. 1964, Mísař a kol. 1983). Za východní hranici by se dalo považovat rozhraní Hrubého a Nízkého Jeseníku, kde nastává faciální změna ve vývoji moravskoslezského devonu, a přecházejí zde metamorfované horniny do hornin nemetamorfovaných. Severní hranici utvářejí zlomy, podle nichž se vytvořila Oderská nížina (Svoboda a kol. 1964). Na jihu je odděleno silezikum od moravika systémem zlomů (Mísař a kol. 1983).



Obr. 4. Postavení Českého masivu a Silezika v rámci Variského orogénu; Rh – Rhenohercynikum, Sx – Saxothuringikum, M – Moldanubikum (Kropáč a kol. 2012).

Hlavními jednotkami centrální části silezika jsou keprnická a desenská skupina. Tyto dvě skupiny odděluje nesouvislý pruh devonských hornin Červenohorského sedla (Cháb a kol. 2008, Svoboda a kol. 1964). Tento pruh vznikl tektonickým spojením hornin keprnické a desenské skupiny (Mísař a kol. 1983). Východní okraj desenské skupiny dále přechází ve vrbenskou skupinu devonského stáří (obr. 5).



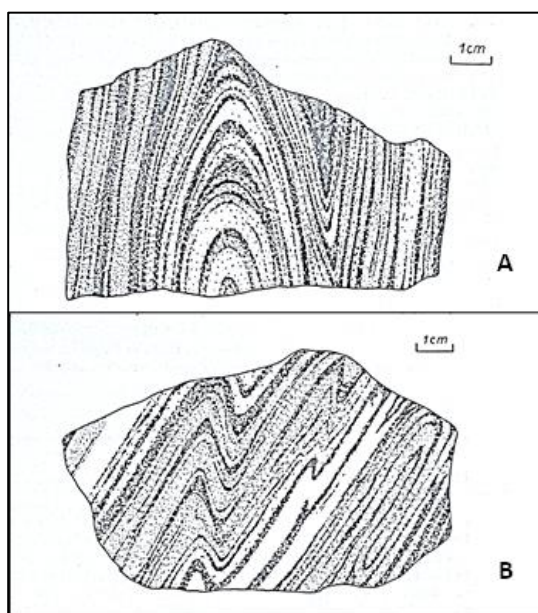
Obr. 5. Geologický řez silezikiem zobrazující stavbu a litologii jednotlivých jednotek a hlavní tektonické hranice (Košuličová a Štípská 2007).

Celková geologická stavba silezika je značně komplikovaná. Existují dvě zcela rozdílné koncepce: a) starší představa vycházející z existence dvou hlavních kleneb, keprnické a desenské (viz např. Svoboda a kol. 1964, Mísaře a kol. 1983), b) příkrovová koncepce, rozpracovaná J. Chábem a jeho spolupracovníky v 80. letech 20. století (Cháb a kol. 1984).

Samotné silezikum je oblast s velmi intenzivní deformací a regionální metamorfózou hercynského (variského) stáří (např. Mísař a kol. 1983). Intenzita regionální předhercynské metamorfózy je v celé oblasti silezika (snad až na jižní část) relativně stálá (Mísař a kol. 1983). Zasahuje až do staurolitové zóny. Ve východní části silezika její intenzita roste od JJV k SSZ od chloritové po silimanitovou zónu (Souček 1978, Cháb a kol. 1990, Cháb a kol. 2008). Morfologie Jesenicka, jak ji známe dnes, je však způsobena spíše mladší tektonikou než původní geologickou stavbou pohoří (Svoboda a kol. 1964).

5. Páskované železné rudy v okolí Vernířovic

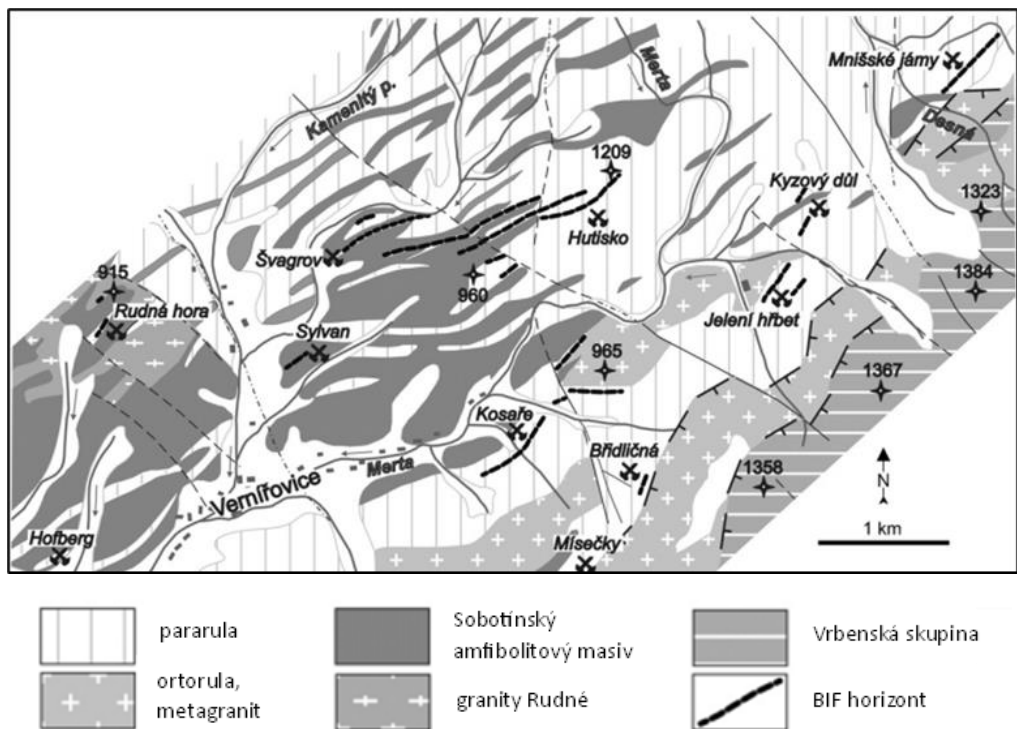
Páskované železné rudy v českém masivu jsou unikátním typem metamorfitu a jejich existence nebyla dlouho známa. První podrobný průzkum těchto rud provedl až Sellner (1930), jež tyto rudy zařadil ke krystalinickému jádru tzv. desenské klenby (Pouba 1970). Výše zmíněný autor také pokládá tyto rudy za metasomatické (Bernard-Pouba a kol. 1986). Geneze a zařazení páskovaných železných rud na Jesenicku není zcela jednoznačné. Např. Pouba (1970) interpretoval tyto rudy jako metamorfované sedimentární nebo vulkanosedimentární rudy předdevonského stáří, a připodobňuje je k rudám typu Sydvaranger (též Bernard-Pouba a kol. 1986), jenž je pojmenován podle ložiska metamorfovaných železných rud v Norsku (obr. 6). Tyto norské rudy se liší od jesenických rud především v mocnosti rudního horizontu a v množství rudních zásob (Pouba 1970). Autoři Mücke a Losos (2000, 2007) interpretují tento typ rudy jako metamorfované a silicifikované ekvivalenty na železo bohatých bazických hornin, a řadí je k nově vyčleněnému typu Itakpe v Nigerii.



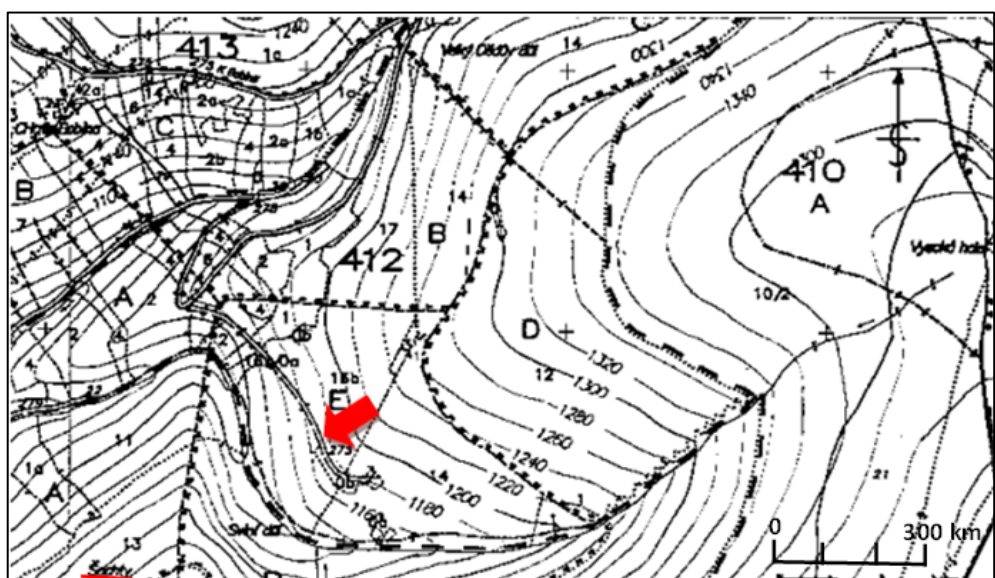
Obr. 6. Srovnání páskované křemen-magnetitové rudy z Norska (obr. A) a páskované křemen-magnetitové rudy z lokality Jelení bouda (obr. B) v údolí řeky Merty (Pouba 1970)

Páskované železné rudy v okolí Vernířovic vytváří zvrásněný horizont v biotitických rulách desenské skupiny (obr. 7). Po jejím rozvinutí by její délka činila cca 15 km (Bernard-Pouba a kol. 1986, Bernard 1991). Detail této rudní vrásové struktury byl zaznamenán při důlních pracích v oblasti Švagrova a Hutiska (Pouba 1970). V dílčích částech tohoto horizontu byla těžena malá železnorudná ložiska. Směrná délka segmentů jednotlivých ložisek se pohybuje 100 m do 300 m (Pouba 1970, Bernard 1991). Dle Pouby (1970) by mohly být tyto segmenty sekundárním fenoménem způsobeným tektonikou, ovšem nevyvrací ani možnost primárního rozdělení těchto rudních segmentů.

Akumulace Fe-rud na Rudné hoře (obr. 7) patří k nejzápadnějším ložiskům této oblasti, která jsou oddělena systémem zlomů od východněji ležících ložisek Švagrov a Hutisko (např. Pouba 1970). Dalším pokračováním železnorudného horizontu jsou pak ložiska Sylvani, Františkova myslivna a Mnišské jámy (obr. 7) (Bernard-Pouba a kol. 1986, Bernard 1991). Mnišské jámy byli považovány za nejvzdálenější sv. ložisko až do objevení nové lokality, kterou ve svém článku popsali autoři Kopa a Fojt (2003). Daní autoři považují tuto lokalitu za sv. pokračování lokality Mnišské jámy (obr. 8). Segment rudního horizontu dále pokračuje jv. od Mnišských jam, a to lokalitou Jelení hřbet a Kosaře (Bernard-Pouba a kol. 1986, Bernard 1991). Za nejvzdálenější z ložisek rudního horizontu je považováno ložisko Stupný. Od tohoto ložiska pokračuje rudní horizont až za klepáčovský zlom směrem k Rudolticím (Pouba 1970). Jihojihovýchodně od Rudoltic se nachází velmi malé ložisko Skelný vrch (Skácel a kol. 1968). Toto konkrétní ložisko v minulosti nebylo předmětem podrobnějšího mineralogického či petrografického výzkumu, zabývá se jím až Janků (2020).



Obr 7. Geologická mapa jižnější části desenské skupiny se studovanými lokalitami (Kropáč a kol. 2012).



Obr. 8. Výšeč lesní mapy s lokalizací nového výskytu páskovaných magnetitových rud (silná červená šipka). Staré důlní dílo „Mníší jámy“ je na mapce označeno jako „Šachty“ (červeně podtrženo) (Kopa a Fojt 2003).

Páskované železné rudy na Sobotínsku byly v minulosti hojně těženy pro železářský průmysl. Počátky těžby jsou odhadovány na začátek 13. století díky zmínce o tzv. „dolech ve vernířovickém pohoří“ z roku 1467. První písemná zmínka o železářské činnosti na Sobotínsku je z roku 1496, kde se zápis v zemských deskách zmiňuje o železném hamru (Spurný 1974). Intenzivnější dolování železné rudy je možné datovat až z konce 17. století (Skácel a kol. 1968), kdy po třicetileté válce Žerotínové obnovili výrobu železa (Spurný 1974). V průběhu 40. až 80. let 19. století byly sobotínské železárny považovány za centrum rakouského železářství (Nepejchal a Zimák 2004). V tomto slavném období vlastnil sobotínské železárny hrabě Mitrovský a po něm bratři Kleinové (Spurný 1974). Kolem roku 1885 však těžba železné rudy na Sobotínsku upadla (Skácel a kol. 1968, Gába a Tempírová-Kotrlá 2000) a v roce 1910 byla výroba surového železa kompletně zastavena (Spurný 1974).

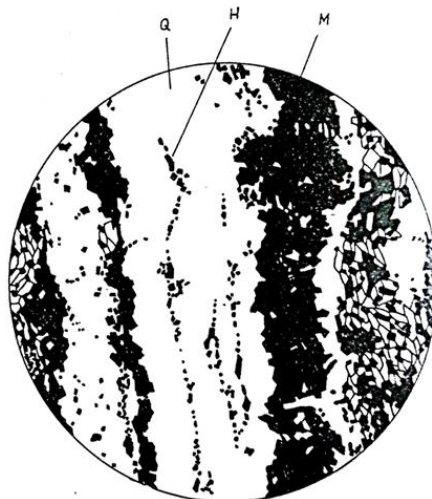
Bratři Kleinové, kteří v minulosti vlastnili sobotínské železárny, byli velkým přínosem pro rozvoj silnic a železnic na území Rakousko-uherské monarchie (Gába a Tempírová-Kotrlá 2000). Kromě těchto děl se zabývali také výrobou mostů, věnovali se úpravám parků i vodním stavbám. Mezi jejich práce patřila např. Šumperská silnice z Opavy přes Šumperk na české hranice v Červenovodském sedle. Mezi stavby, které vydržely dodnes, patří např. Kleinův palác v Brně, silniční mosty přes Opavu v Krnově, anebo zámky a zámecké parky v Loučné nad Desnou a v Sobotíně (Gába a Tempírová-Kotrlá 2000).

5.1. Variabilita (typologie) rud

Nejběžnějším typem rud, který je popisován mnoha autory na lokalitách v okolí Vernířovic, jsou páskované křemen-magnetitové rudy (obr. 9) (např. Zimák 2001, Losos a Princová 2002, Zimák 2002a, 2002b, Zimák a Fojt 2002, Kopa a Fojt 2003, Zimák a Novotný 2009, Iršová a Zimák 2012, Kropáč 2012). Typické pro tento typ rud je střídání tmavých magnetitových pásků a světlých křemenných pásků (Pouba 1970). Vzhledem k nízkému obsahu magnetitu (20-45 hm. %), Pouba (1970) tyto rudy označuje jako páskovaný magnetitový kvarcit. Kromě magnetitu mohou mafické pásy rudy obsahovat chlorit (biotit) nebo amfibol, kdy při vyšším obsahu chloritu je nízký obsah amfibolu. V závislosti na jejich obsahu se liší struktura pásků magnetitu, která může být granoblastická, případně lepidogranoblastická nebo nematogranoblastická (Mücke a Losos 2000). Ve světlých páscích se, kromě křemene, mohou vyskytovat různé typy

akcesorických minerálů, jako např. biotit, granáty, amfibol, pyroxen, apatit, chlorit, titanit a další (Pouba 1970). Samotný křemen se v jednotlivých rudních vzorcích může vyskytovat v proměnlivém množství (Mücke a Losos 2000).

Naproti většině rud desenské skupiny, které jsou vcelku chudé na magnetit, rudní horniny v oblastech Rudné hory, Vernířovic a Švagrova jsou značně obohaceny nejen o železitou komponentu. Toto obohacení je patrné na kontaktu mezi apofýzami bazických hornin sobotínského masivu a rudami těchto lokalit (Bernard-Pouba a kol. 1986). Podle Pouby (1951) je možné, díky intruzi sobotínských bazických těles do desenských rul, rozdělit magnetitová ložiska na ložiska trojího typu a trojího stáří. Nejstaršími jsou páskované křemen-magnetitové rudy v pararulách desenského „jádra“, magmatické vyloučeniny v bazických horninách sobotínského masivu jsou mladšího typu, a mezi nejmladší řadí devonská ložiska v plášti desenské klenby.

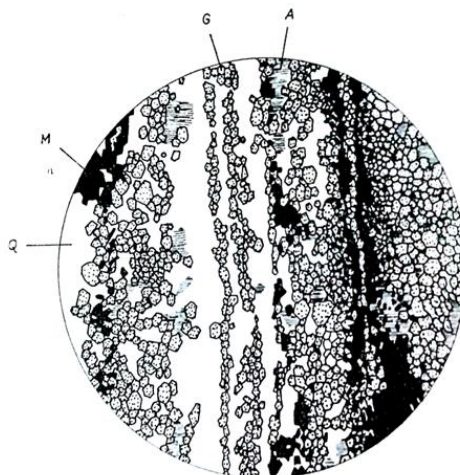


Obr. 9. Křemen-magnetitová ruda s pásy křemene (Q), ojediněle s hematitovými vločkami (H) a hojně se vyskytujícím magnetitem (M). Ložisko Švagrov, štola Jaroslav (Pouba 1970).

Dle autorů Mücke a Losos (2000, 2007), kteří považují tyto rudy za heterogenní, jsou druhým typem rudnin Mn-rudy s křemenem, téměř bez magnetitu. Tento typ rud byl popsán v haldách ložisek Zadní Hutisko a Švagrov. Výše zmínění autoři je přiřazují k tzv „gonditům“ (silikátové facii páskované železnorudné formace). Pouba (1970) naopak dělí rudy dle minerální asociace, a to, kromě již zmíněných křemen-magnetitových rud, na granát-magnetitové, amfibol-magnetitové, karbonát-magnetitové a sulfidické.

Granát-magnetitové rudy (v literaturách také popisovány jako granátovec či metamanganolit) jsou Poubou (1970) popisovány jako křemen-granátické rudy s nízkým, nebo žádným obsahem magnetitu a vysokým podílem spessartinové komponenty (obr.

10). U těchto rud je také viditelné střídání vrstev křemene s vrstvami granátu. Fragmenty této rudy nalezeny na lokalitě Zadní Hutisko, byly tvořeny granátovými pásy nápadně růžové barvy. Granát je zde provázen křemenem a v menším množství i biotitem a amfibolem (Zimák a Fojt 2002). Další záznamy těchto hornin jsou z lokalit Jelení hřbet a Zadní Hutisko. Mají makroskopicky velmi zřetelnou páskovanou texturu a pásy růžovohnědých granátů se střídají s pásy šedého křemene, popřípadě s tmavými pásy, obsahující rudní komponenty (Buriánek a Kropáč 2009). Ojedinelým případem jsou metamanganolity zdokumentované na lokalitě Mísečky u Vernířovic. Byly zde popsány dva typy. Prvním z nich (typ A) je již více popsán typ, běžně doprovázející BIF rudy. Druhý typ (typ B) je tvořen izometrickými zrny granátu, která jsou zastoupena v menším množství než v typu A. Tento typ je znám pouze z lokalit Pod Břidličnou a Jelení hřbet (Zimák a Novotný 2009). Podrobnější dokumentaci granátovců lze nalézt v pracích Žák (1973), Zimák a Reif (1991), Novotný a Zimák (1998), Žáček (2000), Buriánek a Kropáč (2009), Zimák a Novotný (2009), Kropáč (2012).

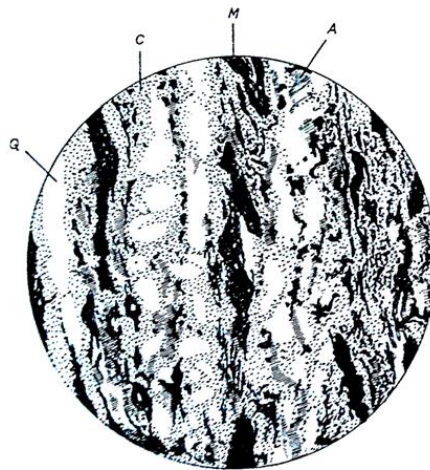


Obr. 10. Granát-magnetitová ruda s granátem (G), magnetitem (M) křemenem (Q), amfibolem a biotitem (A) v páscích. Ložisko Švagrov, štola Václav (Pouba 1970).

Amfibol-magnetitové rudy jsou členěny Poubou (1970) na páskovanou rudu se zřetelnou primární sedimentární stavbou a na masivní rudu vzniklou díky mobilizaci rudy v místech mladších bazických intruzí. Dle zmiňovaného autora by mohl jejich původ souviset s primárním složením rud, jelikož se amfibol často nachází v asociaci s karbonáty. Mücke a Losos (2000, 2007) ve svých pracích dělí minerální paragenézi magnetitových rud na paragenéze s dominantním amfibolem a paragenéze bez amfibolu. Na lokalitách Sylvani a Rudná hora byly zdokumentovány magnetitové rudy

s podstatným množstvím amfibolu, složený v podstatě jen z amfibolu s magnetitem. Vyšší obsah amfibolu vykazovali také rudy popsány na lokalitách Zadní Hurisko, Švagrov a Kosaře. V rudách na lokalitách z Břidličné, Mnišských jam a Kyzového dolu nebyl amfibol zdokumentován.

Poubou (1970) jsou karbonát-magnetitové rudy zdokumentovány z ložisek Švagrov a pod Františkovou myslivnou (obr. 11). Pro první lokalitu jsou specifické malým obsahem magnetitu, nebo může být celý rudní horizont transformován do karbonátové vrstvy. V rudách pod Františkovou myslivnou se magnetit koncentruje do šmouh, díky čemuž je páskovaná textura často potlačena. Podle autorů Mückeho a Lososa (2000, 2007) je karbonát v křemen-magnetitových páskovaných rudách pravidelnou komponentou, zastoupen v podobě kalcitu.



Obr. 11. Karbonát-magnetitová ruda s vločkovým magnetitem (M), hojným karbonátem (C) křemenem (Q) a agregáty amfibolitu a chloritu (A). Ložisko Pod Františkovou myslivnou (Pouba 1970).

Sulfidické rudy tvoří dle Pouby (1970) v rulách jeden až dva horizonty. Tyto pyritové koncentrace považuje za projev faciální změny oxidických Fe-rud v rudy sulfidické. Dále jsou popsány dvě drobné pyritové impregnace mezi Františkovou myslivnou a Mnišskými jámami, a mezi Františkovou myslivnou a údolím Merty (Pouba 1954, Bernard – Pouba a kol. 1986).

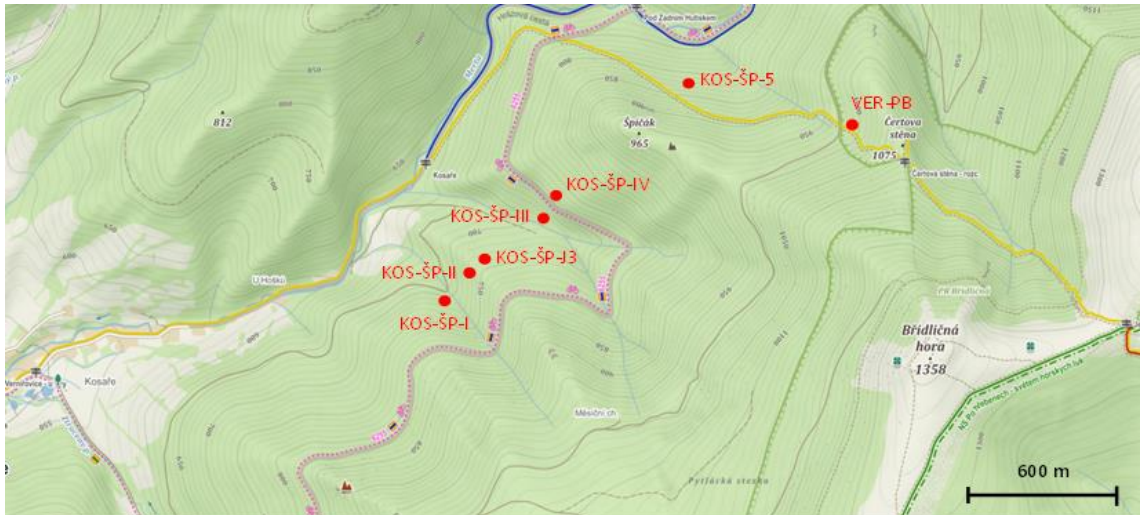
5.2. Ložiska Pod Břidličnou a Kosaře v literatuře

Oblast ložiska Pod Břidličnou se nachází zhruba 1 km ssz. směrem od vrcholu Břidličné hory. Haldy a staré dobovky jsou snadno zahlédnutelné po levé straně žluté turistické stezky, vedoucí na Jelení studánku (Zimák 2001, Zimák 2002b). Vzoroky popsané z této lokality vykazují výraznou páskovanou texturu. V magnetitových páscích, opomineme-li magnetit a křemen, se v podstatném množství nachází fylosilikáty, konkrétně biotit a chlorit, který je patrně vždy produktem přeměny biotitu. Jako akcesorie zde může být přítomen např. kalcit, epidot či ilmenit (Zimák 2001, Zimák 2002b, Mücke a Losos 2007).

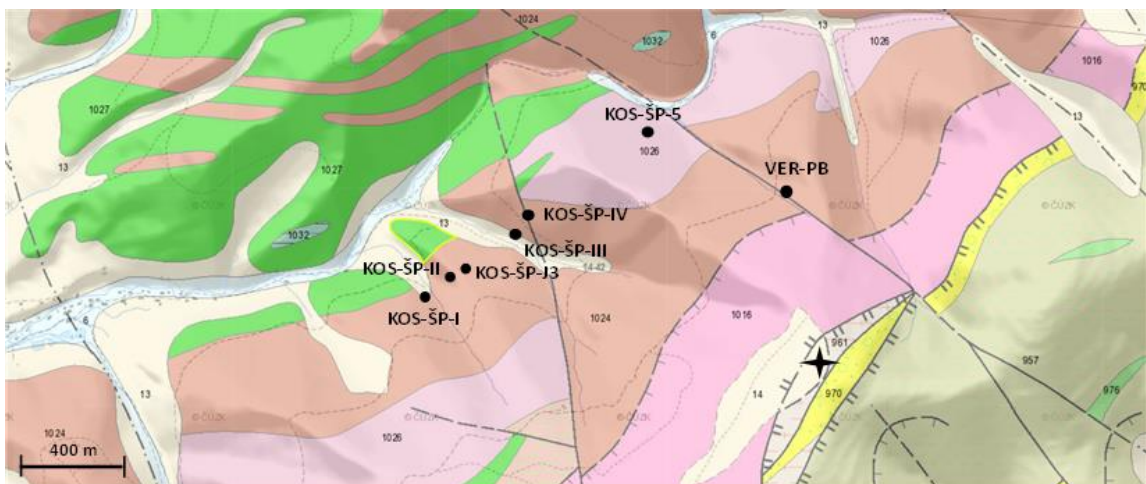
Ložiskový pruh na lokalitě Kosaře se nachází v údolí Mertvy, jv. od bývalé osady Kosaře (obr. 12). Orientační průzkum ložisek zde byl prováděn v roce 1958 (Skácel a kol. 1968). Minerální kompozice rudních vzorků z těchto ložisek je odlišná od výše zmíněných rud. V tmavých páscích je přítomen kromě magnetitu také amfibol, který v některých místech může být nahrazen epidotem. Byly zde popsány i metamanganolity, obsahující jemnozrný granát (Mücke a Losos 2007).

6. Výsledky terénních prací

Terénní průzkum lokalit Pod Břidličnou a Kosaře-Špičák proběhl v červnu 2022. Jednotlivé oblasti, které byly předmětem terénních prací, jsou zaznačeny v obr. 12 a 13. Stará důlní díla, která byla zkoumána již v minulosti, jsou pro porovnání vyobrazena na obr. 14. Poloha zkoumaných lokalit byla zaměřena pomocí GPS. Charakteristika a lokace těžebních pozůstatků bude konkretizována v následujících kapitolách. V okolí starých dobovek a hald nebylo již v současném stavu možno nalézt reprezentativní vzorky, proto nebudou v následujících odstavcích zmíněny.

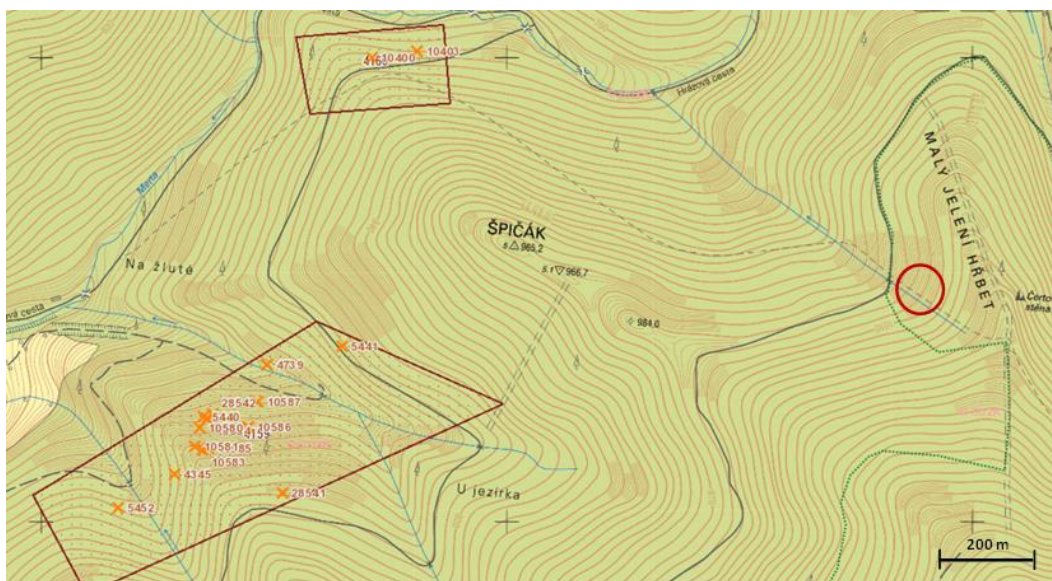


Obr. 12. Zaznačené navštívené lokality v okolí Vernířovic. Vernířovice – Pod Břidličnou (VER-PB), Kosaře – Špičák – štola 5 (KOS-ŠP-5), Kosaře – Špičák – štola IV (KOS-ŠP-IV), Kosaře – Špičák – štola III (KOS-ŠP-III), Kosaře – Špičák – jáma 3 (KOS-ŠP-J3), Kosaře – Špičák – štola II (KOS-ŠP-II), Kosaře – Špičák – štola I (KOS-ŠP-I). Zdroj: Mapy.cz (<https://mapy.cz/turisticka?l=0&x=17.1667264&y=50.0359057&z=15>).



- | | | | |
|---|---|---|--|
|  | muskovitický a biotit-chlorit-muskovitický metagranit |  | amfibolit |
|  | biotitická a muskovit-biotitická rula ('drobová, hustá') |  | metadolerit |
|  | muskovitický, biotit-muskovitický, až biotit-chlorit-muskovitický metagranitoid, místy s blastomylonity |  | krupnik |
|  | fyllonizovaná biotit-chlorit-muskovitická rula |  | biotitický a chlorit-muskovitický a biotit-muskovitický fyllit až svor místy s grafitem, místy vložky zel. břidlic |
|  | biotit-muskovitický fyllit, fyllit a svor s granátem, případně s chloritoidem |  | kamenitý až hlinito-kamenitý sediment |
|  | kvarcit, kr. metakonglomerát hl. drakovský, místy s ložkami fyllitu až ruly |  | nivní sediment |

Obr. 13. Vyobrazení studovaných lokalit na geologické mapě. Černý hvězdicovitý bod vyznačuje přibližné umístění vrcholu Břidličné hory. Zdroj: Česká geologická služba – geovědní mapy 1:50 000 (<https://mapy.geology.cz/geocr50/>).



Obr. 14. Zaznačení důlních děl v okolí oblasti Kosaře-Špičák. Výskyt ložiska Pod Břidličnou je zde zaznačen červeným kroužkem. Zdroj: Česká geologická služba – důlní díla a poddolování (https://mapy.geology.cz/dulni_dila_poddolovani/).

6.1. Lokalita Pod Břidličnou

Lokalita Pod Břidličnou je reprezentována několika menšími starými haldami a velmi špatně patrnými dobývkami, pokrytými lesním porostem. Nacházejí se ve svahu asi 300 metrů pod rozcestníkem Čertova stěna, směr Kosaře (obr. 15).



Obr. 15. Pod Břidličnou, jen málo zřetelná dobývka (VER-PB). Foto: Karolína Janků, červen 2022.

6.2. Lokalita Kosaře-Špičák

Lokalita Kosaře-Špičák je rozsáhlá oblast, pokryta starými pozůstatky z důlní těžby, haldami a dobývkami. Jednotlivé těžební pozůstatky jsou rozmístěny nad údolím Merty, přístupné po nedaleké pěší cestě. Stručný popis zdokumentovaných ložisek je uveden v následujících odstavcích.

Štola 5 (N 50°02,670', E 17°10,021', označení SD podle ČGS: 10403)

Pozůstatky štoly 5 (obr. 16) byly v terénu velmi špatně zřetelné. Nalezená dobývka, která byla jediným zřetelným důkazem o bývalé těžbě, byla hustě porostlá lesním porostem.



Obr. 16. Kosaře-Špičák, velmi málo zřetelná dobývka (KOS-ŠP-5). Foto: Karolína Janků, červen 2022.

Štola IV (N 50°02,326', E 17°09,945', označení SD podle ČGS: 5441)

Hlubší dobývka na této lokalitě, pokryta suchým listovým (obr. 17), byla velmi zřetelná již od okraje cesty. Kousek od ní se nachází pozůstatek cesty směrem k ústí štoly, které je v současné době již kompletně nepřístupné (obr. 18).



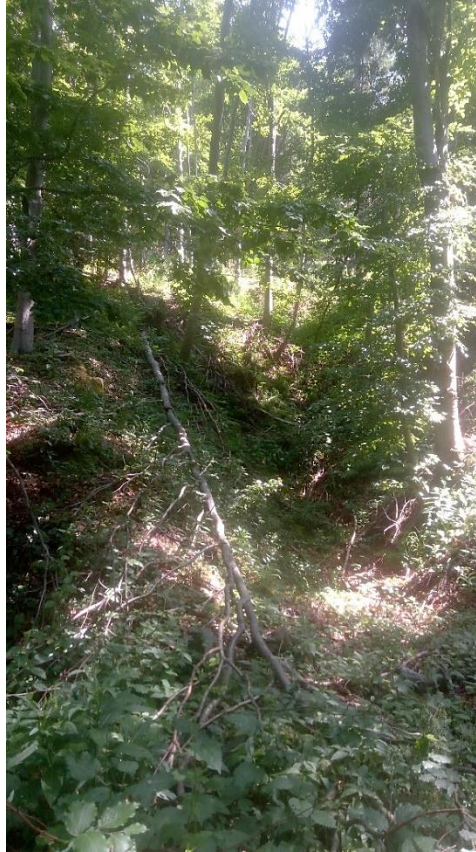
Obr. 17. Kosaře-Špičák, hlubší dobývka u kraje cesty (KOS-ŠP-IV). Foto: Karolína Janků, červen 2022.



Obr. 18. Kosaře-Špičák, zavalené ústí štoly (KOS-ŠP-IV). Foto: Karolína Janků, červen 2022.

Štola III (N 50°02,304', E 17°09,802', označení SD podle ČGS: 4739)

Tato lokalita se nachází nedaleko jednoho z přítoků řeky Merty. Celé okolí štoly je dnes již kompletně nepřístupné (obr. 19).



Obr. 19. Kosaře-Špičák, okolí štoly III (KOS-ŠP-III). Foto: Karolína Janků, červen 2022.

Jáma 3 (N 50°02,189', E 17°09,690', označení SD podle ČGS: 10581)

Tato jáma, se současným průměrem 6 metrů a hloubkou 3,5 metru, zde začala vznikat v roce 1983. Byla zde vybudována, jako jiné jámy a štoly, pro dolování železné rudy. Od roku 2008 je toto důlní dílo zpřístupněno a obeháno oplocením z bezpečnostních důvodů (obr. 20).



Obr. 20. Kosaře-Špičák, měření jámy 3 (KOS-ŠP-J3). Foto: Karolína Janků, červen 2022.

Štola II (N 50°02,154', E 17°09,662', označení SD podle ČGS: 4345)

Ústí štoly II je zřetelně viditelné, částečně pokryté listovím a zeminou. Vchod do ní je uzavřen. Vznikla v roce 1984 a zajištěna byla až v roce 2009 (obr. 21).



Obr. 21. Kosaře-Špičák, přístup ke štole II (KOS-ŠP-II). Foto: Karolína Janků, červen 2022.

Štola I (N 50°02,103', E 17°09,556', označení SD podle ČGS: 5452)

Štola I je umístěna v kopci kousek nad cestou. Její ústí je značně porostlé lesním porostem, ovšem stále viditelné. Vchod do štoly je téměř kompletně zavalen (obr. 22). Naproti zavalenému ústí se nachází velká halda, ovšem reprezentativní vzorky zde nebyly nalezeny.



Obr. 22. Kosaře-Špičák, štola I téměř skryta pod lesním porostem (KOS-ŠP-I). Foto: Karolína Janků, červen 2022.

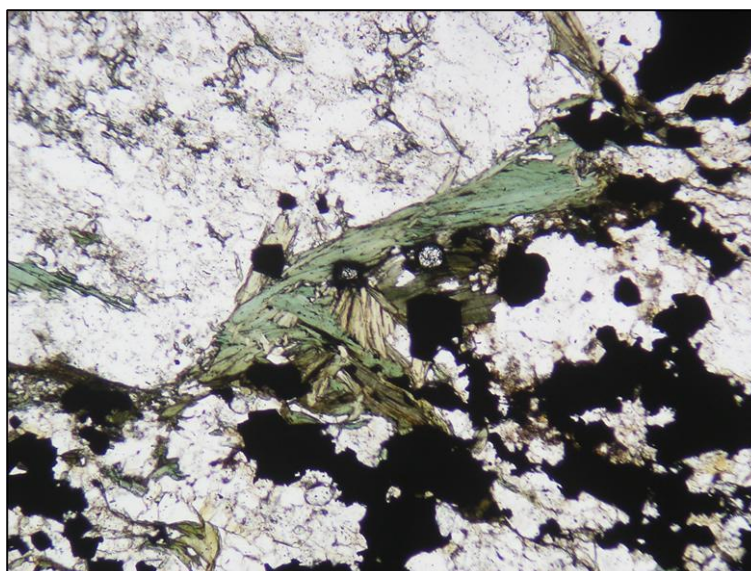
7. Laboratorní výsledky

7.1. Nerostné složení rudních vzorků

V následujících kapitolách bude proveden detailnější popis rudních vzorků odebraných z jednotlivých lokalit. Tyto vzorky byly odebrány z dřívějších terénních průzkumů těchto lokalit a poskytnuty pro tuto práci panem doc. Zimákem. Jejich charakteristika vychází především z hodnocení výbrusů v procházejícím světle v kombinaci s informacemi získanými při pozorování ve zpětně odražených elektronech.

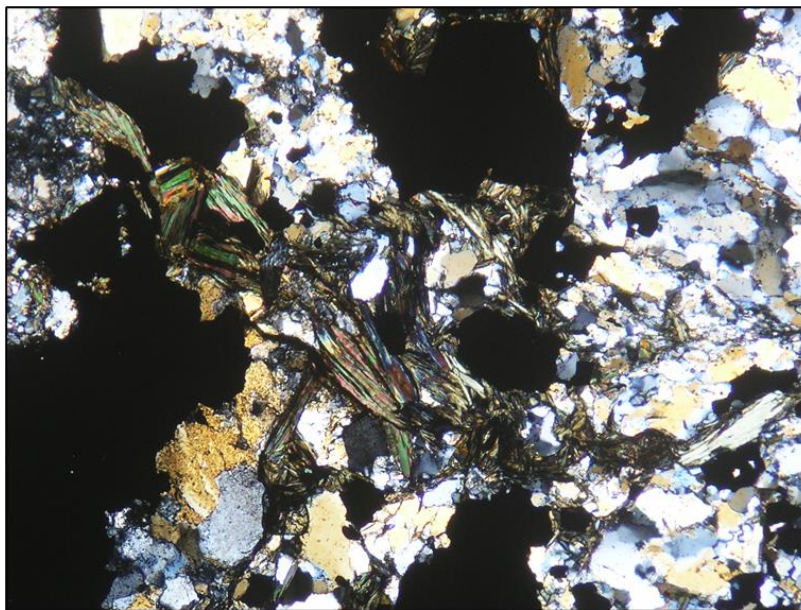
7.1.1. Rudní vzorky z lokality Pod Břidličnou

Rudní vzorky z lokality Pod Břidličnou se vyznačují páskovanou texturou. Pásky jsou silné v rámci několika milimetrů. Hlavním minerálem tmavých rudních pásků je magnetit, který lze bezpečně rozpoznat i makroskopicky (obr. 23). Vyskytuje se ve formě nepravidelných zrnitých agregátů i ojedinělých hypautomorfních zrn o velikosti do 2 mm. V mikroskopické podobě se magnetit může objevovat jako xenomorfně, výjimečně hypautomorfně, omezená individua. Jsou uspořádaná souhlasně s foliací rudních vzorků. Křemen, tvořící hlavní minerál ve světlých páscích, je také podstatnou součástí rudních pásků. Křemenná zrna jsou xenomorfní, undulózně zhášející. V akcesorickém množství lze v nerudních páscích nalézt zrna živců, kalcitu, epidotu, allanitu, ilmenitu a titanitu.

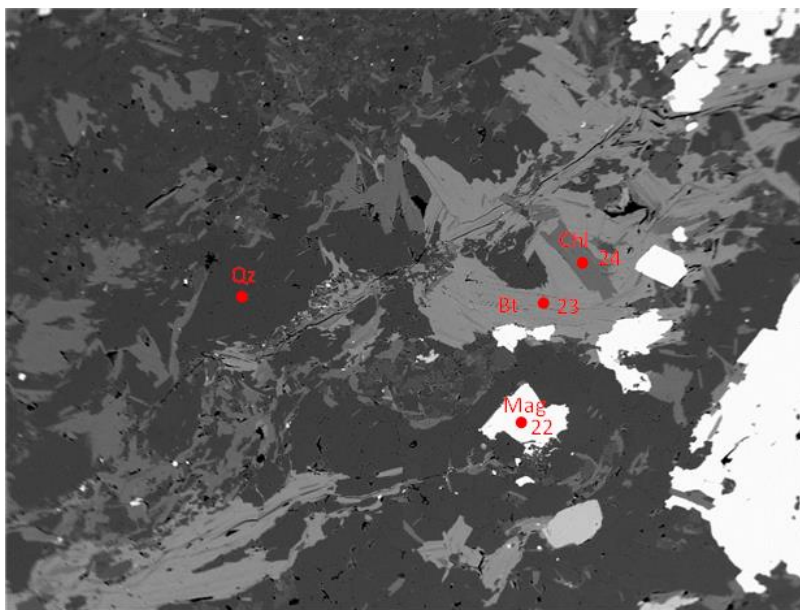


Obr. 23. Šupinky chloritu (chloritizovaného biotitu) v křemen-magnetitové rudě. V centru obrázku jsou viditelná dvě zrna apatitu s pleochroickými dvůrky v okolním chloritu i biotitu. Vzorek VER-PB-25. Leštěný výbrus, PPL. Šířka snímku 2 mm.

Další velmi běžnou součástí páskovaných křemen-magnetitových rud jsou fylosilikáty, konkrétně biotity a chlority. Biotity se vyskytují v těchto rudách jako hypautomorfně omezené šupiny s výrazným pleochroismem ($X =$ béžová, $Y = Z =$ brčálově hnědá). Běžně viditelným jevem u biotitu v těchto vzorcích je chloritizace (obr. 24). Ta může být důvodem pro menší zastoupení biotitu v těchto horninách. Chlorit, který je většinou pravděpodobně produktem chloritizace biotitu, je v rule přítomen v podobě šupin kopírujících tvar i omezení biotitu (obr. 25). Chlorit má výrazný pleochroismus ($X = Y =$ béžová, $Z =$ světle modrozelená) a anomální interferenční barvy v hnědých odstínech. Některé šupiny chloritu mohou vykazovat i anomální modré interferenční barvy.

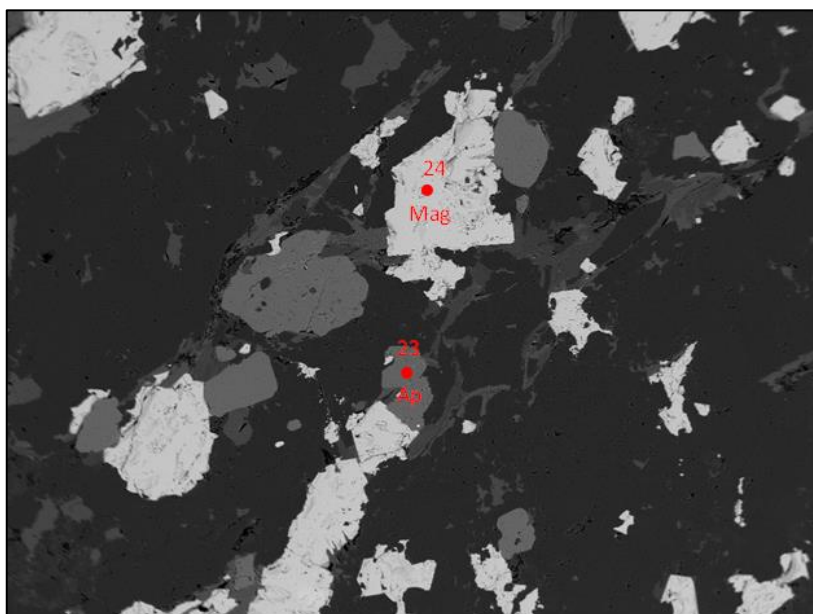


Obr. 24. Detail šupinek biotitu, v některých partiích již plně chloritizovaného, což lze vidět ve středu snímku (anomálně modrá, jindy hnědá interferenční barva). Vzorek VER-PB-25. Leštěný výbrus, XPL. Šířka snímku 2 mm.

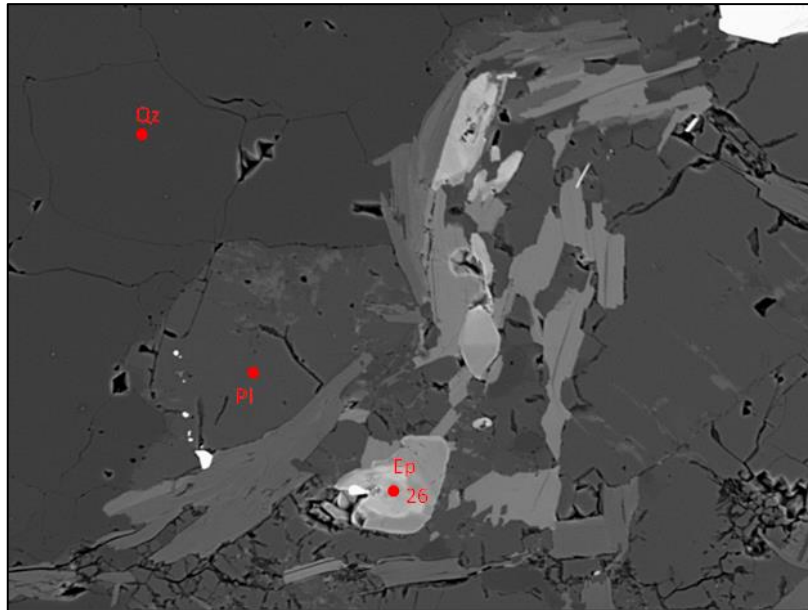


Obr. 25. Biotit obklopující šupinu chloritu v křemen-magnetitové rudě. Vzorek VER-PB-19. BSE snímek. Šířka snímku 2,2 mm. Foto: P. Gadas

Jako akcesorické minerály v tmavých rudních páscích jsou přítomny apatit, epidot, allanit, ilmenit a titanit. Apatit se objevuje ve vzorcích většinou ve formě zaoblených zrn, méně často pak ve formě hypautomorfních individuí (obr. 26). Pokud je apatit uzavřený v biotitu (potencionálně v chloritizovaném biotitu), může kolem sebe utvářet pleochroické dvůrky (obr. 23). Individua epidotu se mohou vyskytovat ve vzorcích ve formě hypautomorfních zrn (obr. 27).

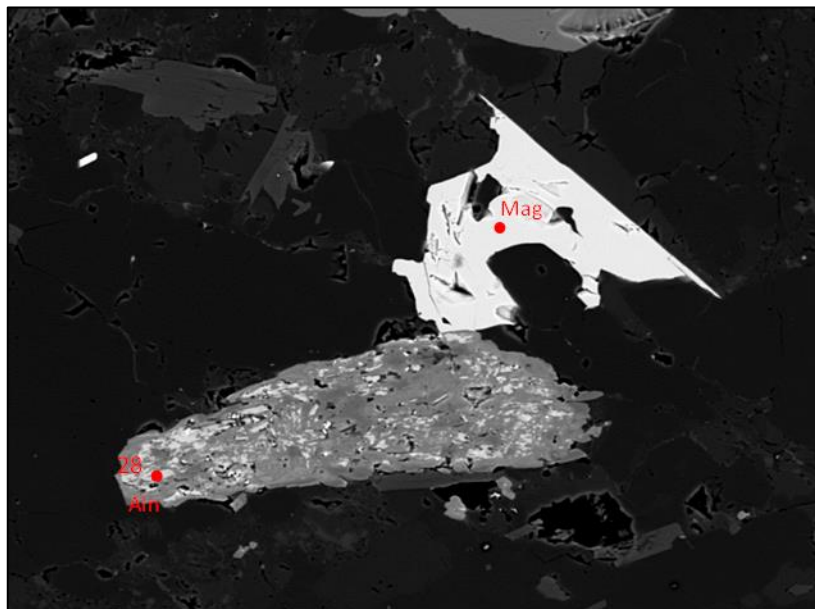


Obr. 26. Detailní snímek zrn apatitu nacházejících se v přímém kontaktu s magnetem. Vzorek VER-PB-25. BSE snímek. Šířka snímku 1,7 mm. Foto: P. Gadas

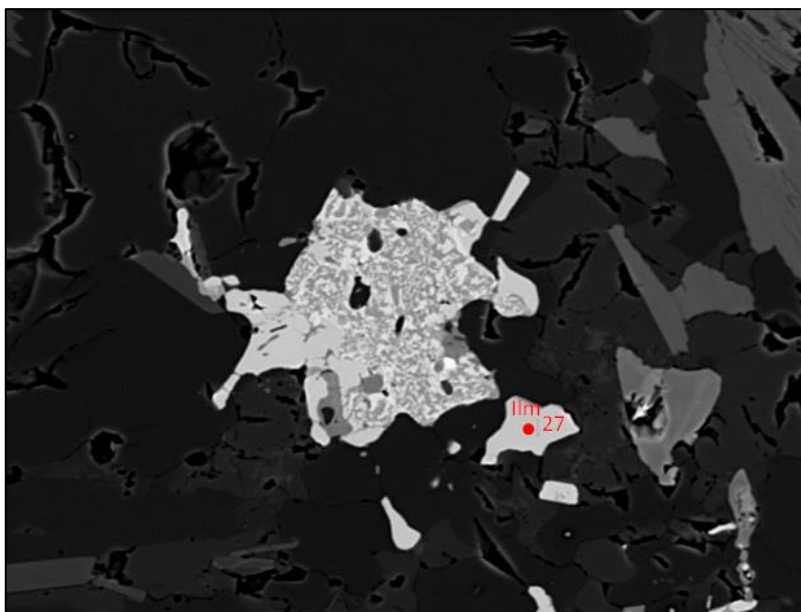


Obr. 27. Epidotové zrno v křemen-magnetitové rudě. Na snímku je viditelné také akcesoricky se vyskytující plagioklas. Vzorek VER-PB-19. BSE snímek. Šířka snímku 0,25 mm. Foto: P. Gadas

Allanit se ve vzorcích může vyskytovat jako jádro v epidotu nebo ve formě reliktů. Konkrétně na obr. 28 je viditelné metamiktně přeměněné zrno allanitu s jeho reliktů. Ilmenit může v rudě tvořit xenomorfně omezená zrníčka, ojediněle i hypautomorně omezená krátce sloupcovitá zrna. V jednom ze studovaných vzorků bylo nalezeno zrno hematitu a titanitu přeměněné po ilmenitu (obr. 29).



Obr. 28. Metamiktně přeměněné zrno allanitu. Bíle zbarvené partie odpovídají složením allanitu-(Ce), tmavší partie jsou produkty jeho metamiktní přeměny. Vzorek VER-PB-19. BSE snímek. Šířka snímku 0,22 mm. Foto: P. Gadas



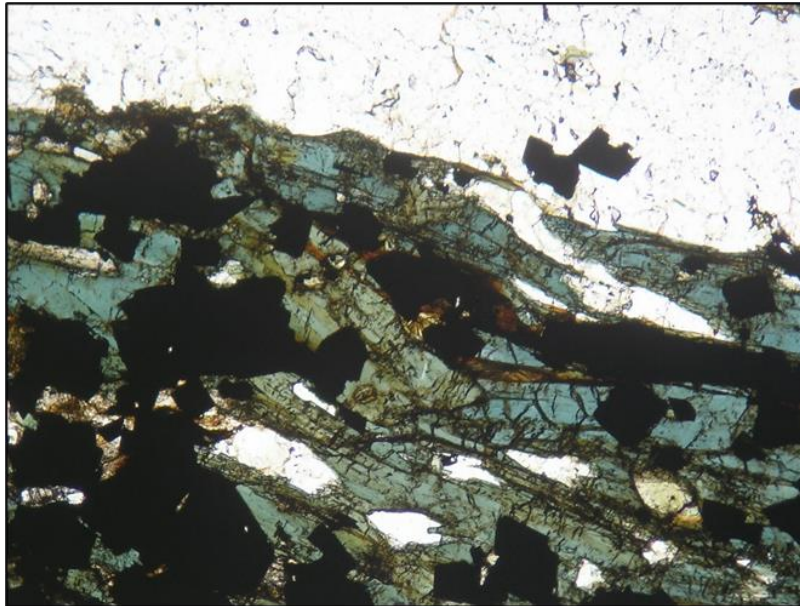
Obr. 29. Uprostřed snímku, vedle malých ilmenitových zrn, je agregát složený z TiO_2 -minerálu (tmavý) a Fe-oxidu (téměř bílý). Patrně jde o výsledek rozpadu pevného roztoku (titanomagnetit nebo ilmenoheematit). Z analýzy vyplývá, že tento agregát nemůže být výsledkem přeměny titanitu, jelikož nebyla nalezena přítomnost Ca. Vzorek VER-PB-19. BSE snímek. Šířka snímku 0,15 mm. Foto: P. Gadas

7.1.2. Rudní vzorky z lokality Kosaře-Špičák

Vzorky rudních hornin, odebrané z těchto lokalit, již na první pohled vykazují výraznou páskovanou texturu. Nerudní pásy nebývají příliš silné (v rámci mm škály), zatím co pásy obsahující rudu (magnetit) bývají až několik centimetrů široké. Většinou v těch nejsilnějších rudních páscích můžeme pozorovat magnetit ve formě protáhlých čočkovitých individuí. Na rozdíl od křemen-magnetitových rud z lokality Pod Břidličnou je významnou součástí rudních pásků také amfibol, který může být pozorován v některých případech i makroskopicky.

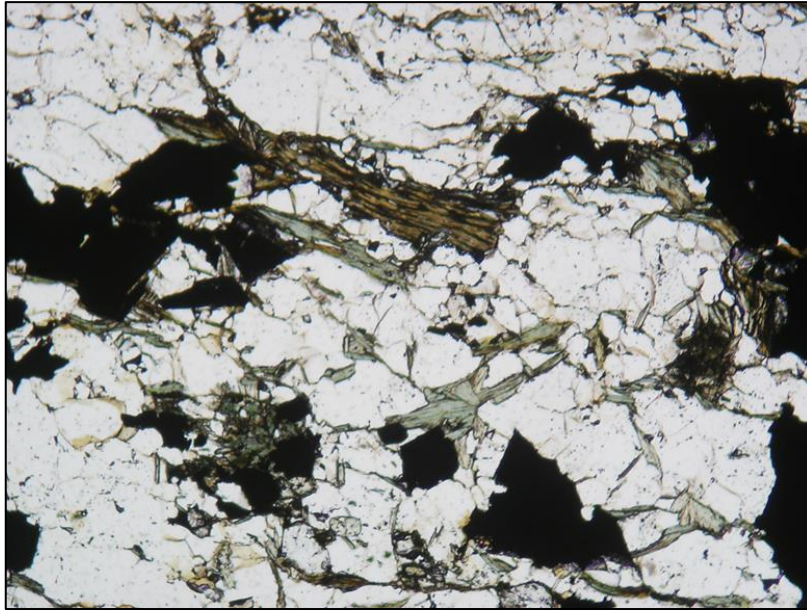
Mikroskopicky se hlavní minerál rudních pásků, magnetit, vyskytuje ve formě anizometrických agregátů, které jsou zploštělé shodně s foliací rudy. Vedle magnetitu je zde hojně přítomný amfibol. Rozpraskaná zrna amfibolu jsou xenomorfního, výjimečně hypautomorfního, omezení. Jejich protažení je souhlasné s foliací. Pleochroismus amfibolu je relativně slabý (světle zelený až světle modrozelený). Poslední podstatnou součástí rudních pásků je křemen, který figuruje jako hlavní komponenta v nerudních páscích. V obou případech se vyskytuje v podobě undulózně zhášejších, xenomorfně

omezených zrn. V nerudných páscích se také vyskytují v akcesorickém množství minerály jako je plagioklas, epidot, allanit, apatit, ilmenit a titanit.



Obr. 30. Rozpraskaná zrna amfibolu a individua magnetitu, sloupečky až jehlice amfibolu leží v plochách foliace křemen-magnetitové rudy. Vzorek KOS-ŠP-22. Leštěný výbrus, PPL. Šířka snímku 2 mm.

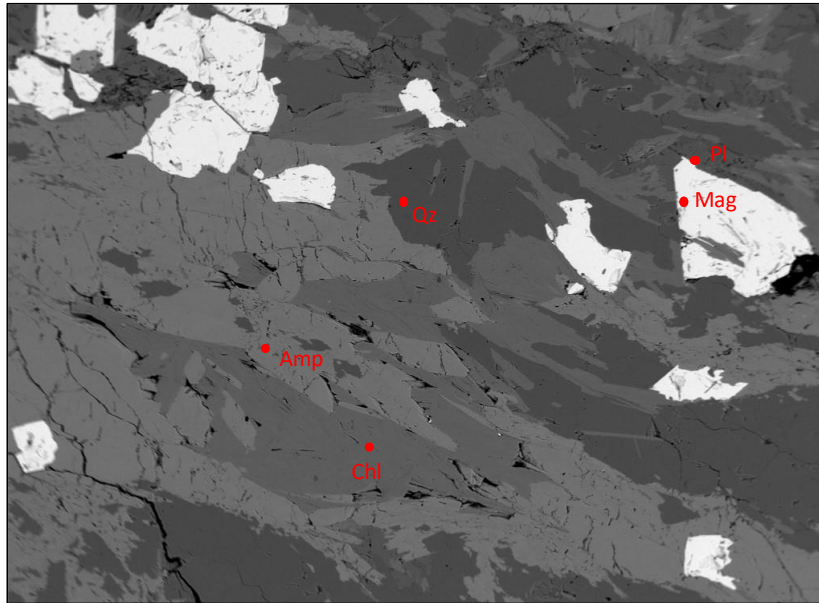
Fylosilikáty jsou v rudních vzorcích také zastoupeny biotitem a chloritem. Na rozdíl od vzorků z předešlé lokality, biotit zde není přítomen v příliš hojném množství. Individua biotitu jsou převážně xenomorfního, výjimečně hypautomorfního omezení, kdy tvoří tabulkovitá (šupinovitá) zrna (obr. 31). Pleochroismus biotitu je výrazný (X = světle oranžovo-hnědá, $Y = Z$ = sytě oranžovo-hnědá). Biotit podléhá ve většině případů chloritizaci, díky čemuž je jeho přítomnost ve vzorcích tak nízká. Chlorit, vzniklý chloritizací biotitu, je xenomorfního až hypautomorfního omezení. Minerál tvoří tenké šupinkovitá individua. Pleochroismus chloritu je slabý ($X = Y$ = béžová, Z = světle zelená). V XPL vykazuje chlorit anomální interferenční barvy šedého či modrého odstínu (obr. 32). Chlorit se velmi často vyskytuje v blízkosti amfibolu (obr. 33).



Obr. 31. Detail hypautomorfního zrna biotitu (horní část fotografie) v části křemen-magnetitové rudy. V okolí jsou viditelné šupinky chloritu a chloritizovaného biotitu. Vzorek KOS-ŠP-23. Leštěný výbrus, PPL. Šířka snímku 2 mm.

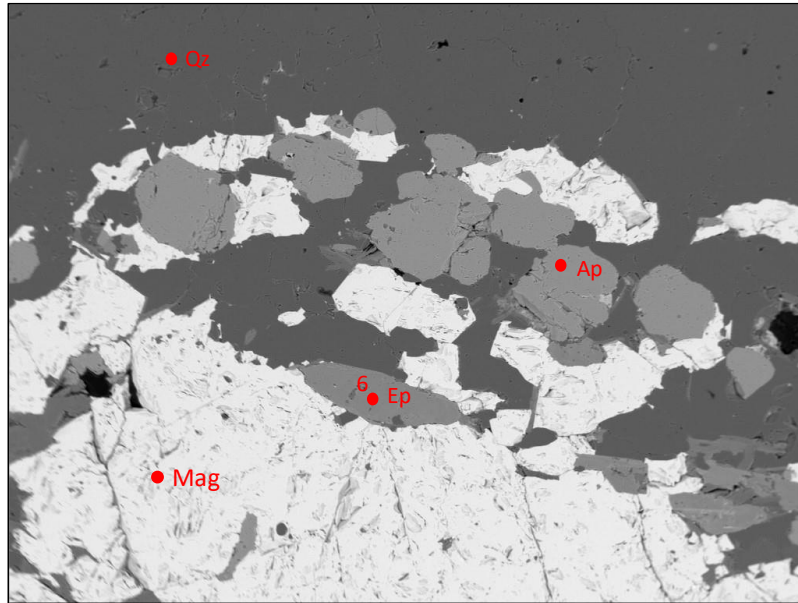


Obr. 32. Šupinky chloritu šedé interferenční barvy a zrna amfibolu v křemen-magnetitové rudě. Vzorek KOS-ŠP-23. Leštěný výbrus, XPL. Šířka snímku 2 mm.

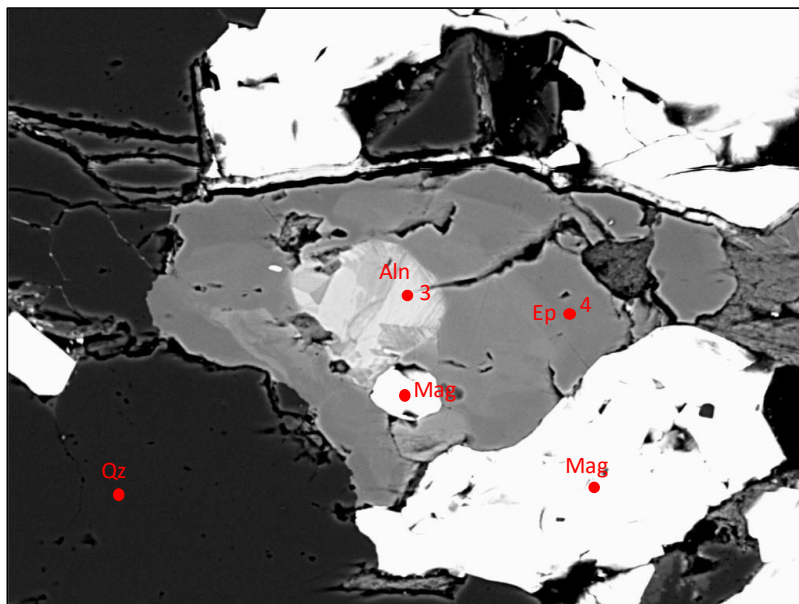


Obr. 33. Prorůstání chloritu a amfibolu, místy patrně dochází k zatláčování amfibolu chloritem. Vzorek KOS-ŠP-23. BSE snímek. Šířka snímku 1,5 mm. Foto: P. Gadas

V akcesorickém množství se ve vzorcích nacházejí minerály jako je apatit, epidot, allanit, ilmenit a zirkon. Apatit vytváří xenomorfní zrna s izometrickým (okrouhlým) průřezem (obr. 34). Epidot, jakožto další akcesorický minerál, vytváří xenomorfní anizometrické průřezy (sloupečky), často též jemnozrnnou hmotu tvořenou jemnozrnnými xenomorfními individui. Někdy se mohou objevovat větší hypautomorfní individua. Často může obsahovat uzavřeniny např. magnetitu. Jádro epidotových krystalů je v některých případech tvořeno allanitem (obr. 35). V BSE obrazu je často patrná i chemická zonálnost epidotu (obr. 38 a 39).



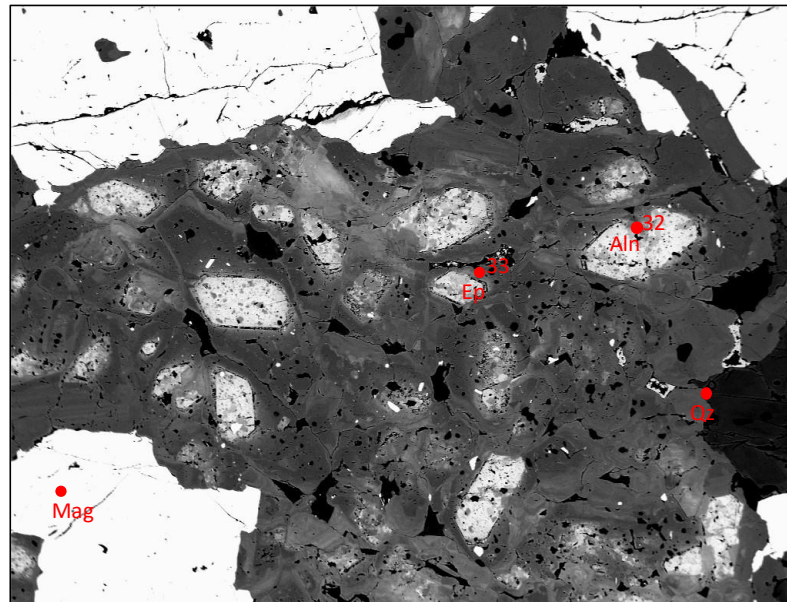
Obrázek 34. Xenomorfní zrna apatitu a epidotu v křemen-magnetitové rudě. Vzorek KOS-ŠP-21. BSE snímek. Šířka snímku 1,5 mm. Foto: P. Gadas



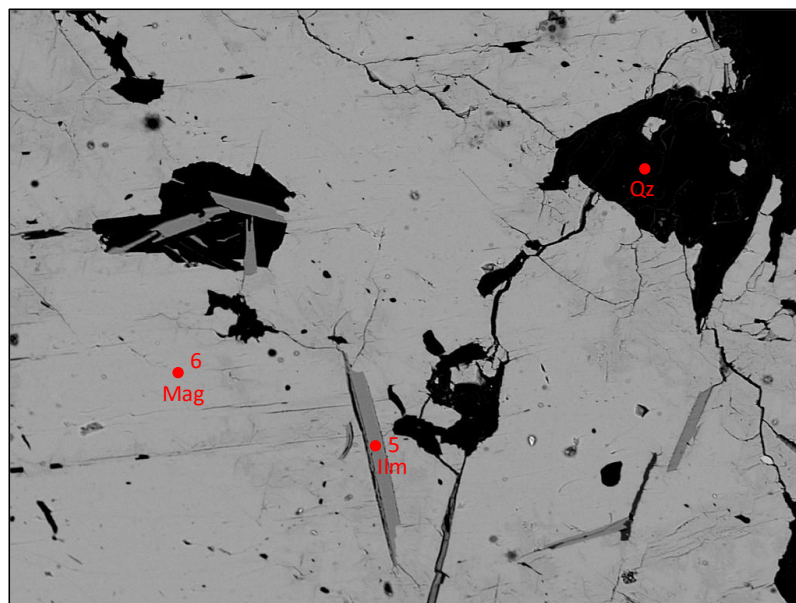
Obr. 35. Detail zrna epidotu s allanitovým jádrem a uzavřeninou magnetitu. Vzorek KOS-ŠP-III-3. BSE snímek. Šířka snímku 0,15 mm. Foto: P. Gadas

Allanit se vyskytuje ve formě xenomorfních až automorfních zrn tabulkovitého tvaru. Na obrázku 36 je allanit přítomen v jádrech krystalu epidotu, vytvářejících poměrně velký, téměř monominerální agregát. Jinak může být přítomen jako jádro jednotlivých zrn epidotu roztroušených v křemen-magnetitové rudě (obr. 35). Dalším akcesorickým minerálem, vyskytujícím se buď jako uzavřeniny v magnetitu (obr. 37), nebo volná individua, je ilmenit. Tento minerál se nachází ve studovaných vzorcích ve

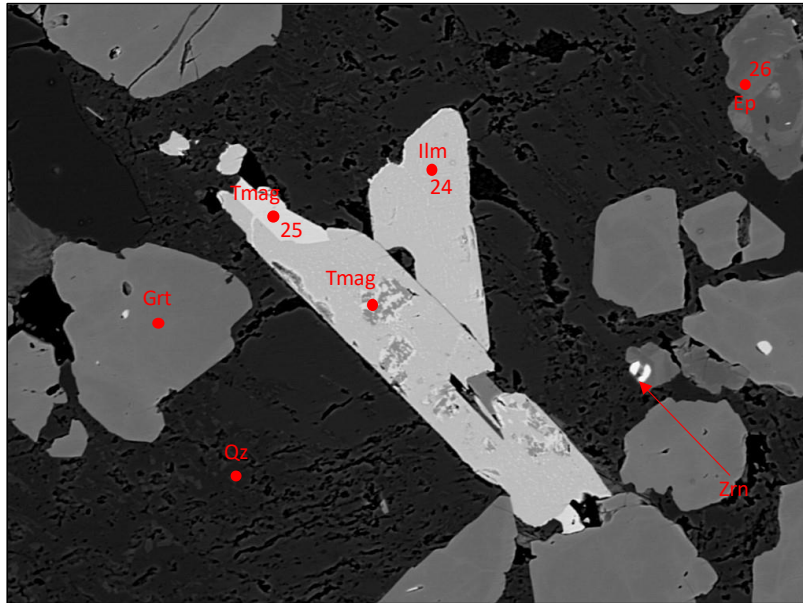
formě hypautomorfních až automorfních tabulek (ve výbrusech jde o lištovité průřezy). V jednom případě zde byl nalezen ilmenit s uzavřeními titanomagnetitu (ilmenoheMATITU), někdy rozpadlými na TiO_2 (rutil?) minerál a Fe-oxid (obr. 38). V několika málo případech byla nalezena ve vzorcích velmi drobná zrníčka zirkonu (obr. 38 a 39).



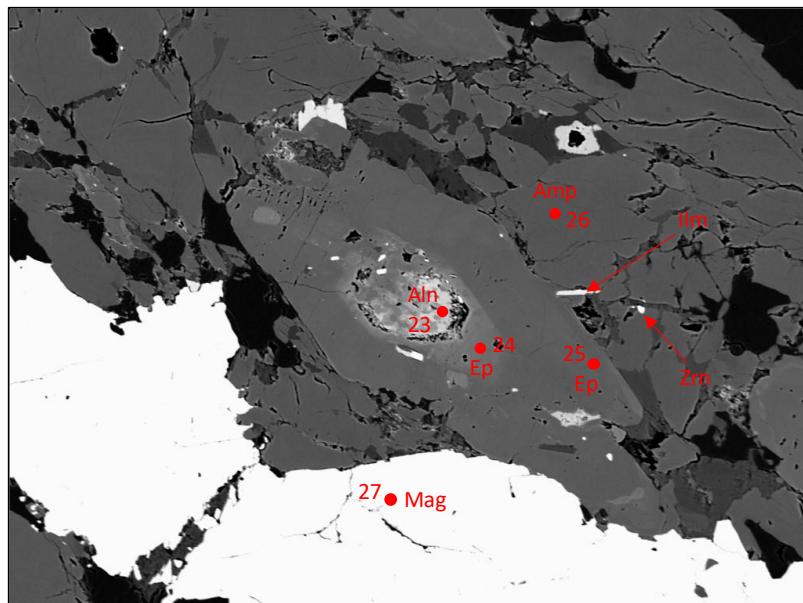
Obr. 36. Automorfní allanitová zrna tabulkovitého tvaru obklopena anizometrickými individuálními zrnky epidotu. Vzorek KOS-ŠP-II-4. BSE snímek. Šířka snímku 1,6 mm. Foto: P. Gadas



Obr. 37. Lištovitý průřez tabulkami ilmenitu uzavřenými v magnetitu. Vzorek KOS-ŠP-II-1. BSE snímek. Šířka snímku 0,42 mm, Foto: P. Gadas

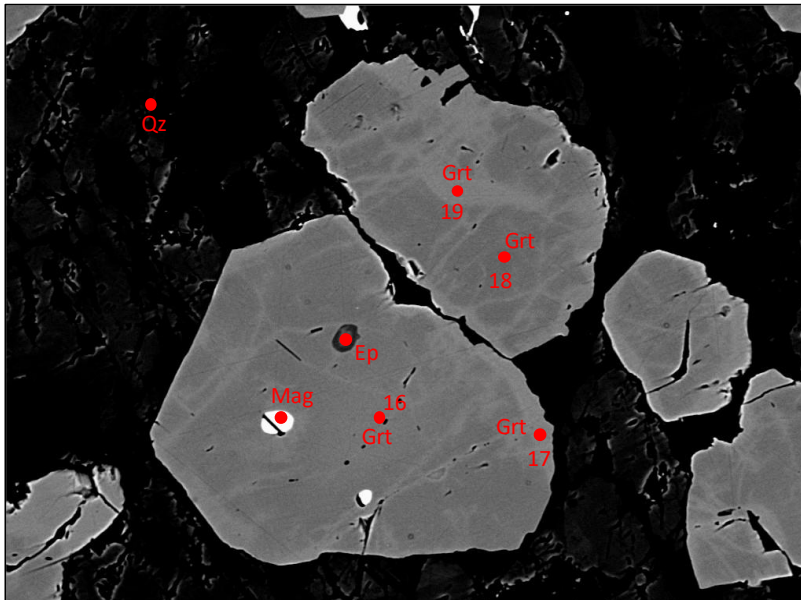


Obr. 38. Lištovité průřezy dvěma tabulkami ilmenitu obsahujícími uzavřeniny titanomagnetitu (ilmenoheematitu) místy s odmíšeninami TiO_2 . V okolí je viditelné i drobné zrno zirkonu a zrno chemicky zonálního epidotu. Vzorek KOS-ŠP-II-5. BSE snímek. Šířka snímku 0,3 mm. Foto: P. Gadas



Obr. 39. Detail epidotového zrna s chemickou zonálností a allanitovým jádrem. V okolí jsou přítomna malá zrníčka ilmenitu a zirkonu. Vzorek KOS-ŠP-II-4. BSE snímek. Šířka snímku 0,42 mm. Foto: P. Gadas

V několika odebraných vzorcích byla nalezena granátová zrna (obr. 40). Jde o granát almandin-spessartinové řady. Zrna vykazují chemickou zonálnost, kdy jednotlivé zóny se liší poměrem Fe a Mn. Kulovitá zrna mohou obsahovat uzavřeniny magnetitu či epidotu. Některá granátová zrna mohou být lehce rozpraskaná.



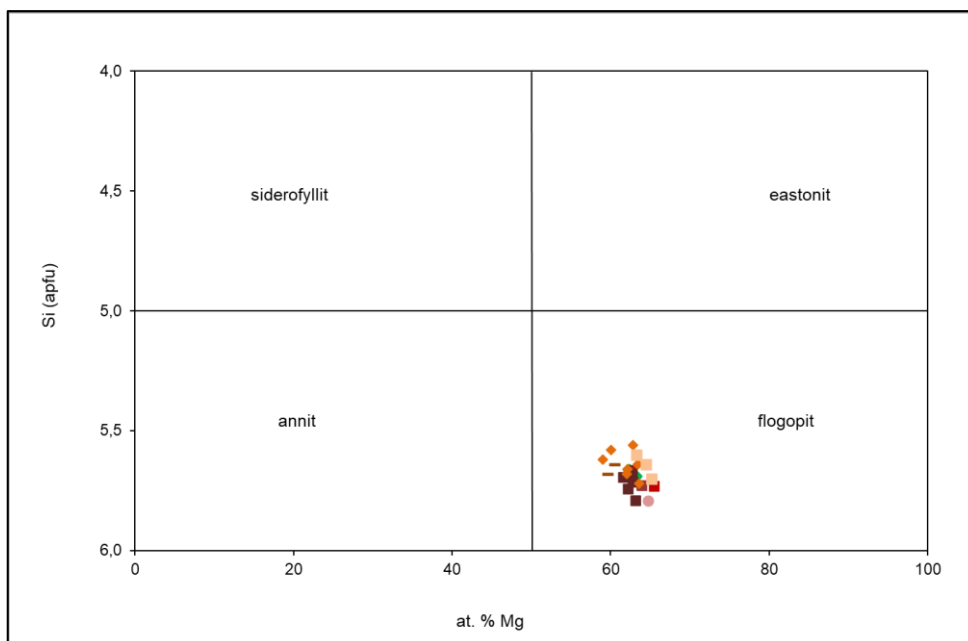
Obr. 40. Detail zrn granátu s výraznou chemickou zonálností (světlejší oblasti obsahují více Fe, zatímco tmavší obsahují více Mn) a uzavřeninami magnetitu a epidotu. Vzorek KOS-ŠP-II-5. BSE snímek. Šířka snímku 0,3 m. Foto: P. Gadas

7.2. Chemismus minerálů

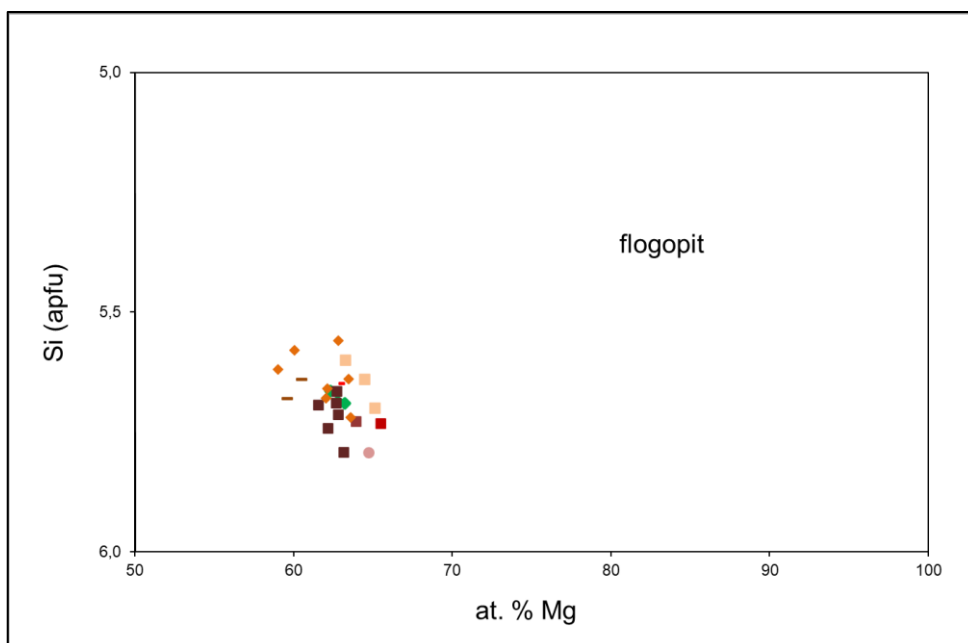
V následujících kapitolách budou stručně okomentovány výsledky reprezentativních WDX analýz jednotlivých minerálů, které jsou uvedeny v příloze v tabulkách I. až XVIII.

Živce v rudních vzorcích byly přítomny velmi zřídka. Analýza nalezených zrn ve vzorcích prokázala převážnou přítomnost plagioklasu, konkrétně albitu.

Variabilita biotitu v případech obou lokalit je zcela zanedbatelná. Ač v případě lokality Kosaře-Špičák nebylo provedeno mnoho analýz, jelikož většina biotitu byla již chloritizována, všechny výsledky provedených analýz poukazují na flogopit (obr. 41 a 42).

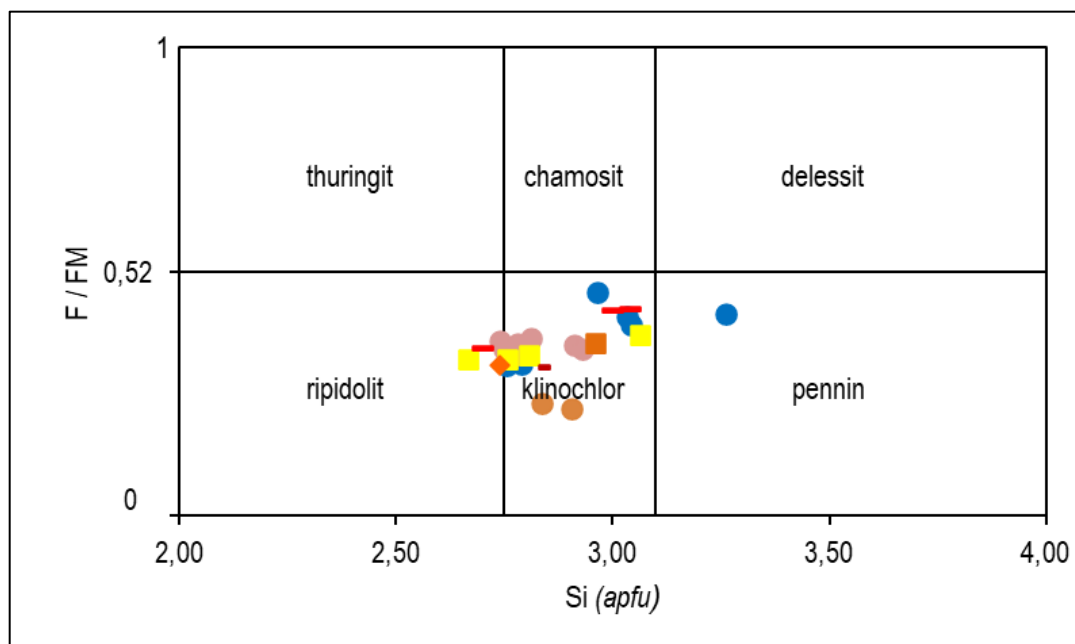


Obr. 41. Klasifikace biotitu studovaných vzorků v diagramu siderofyllit – eastonit – annit – flogopit. Všechny označené body teplých odstínů pochází ze vzorků z lokality Pod Břidličnou. Jediný bod zelené barvy je analyzovaný vzorek z lokality Kosaře-Špičák.

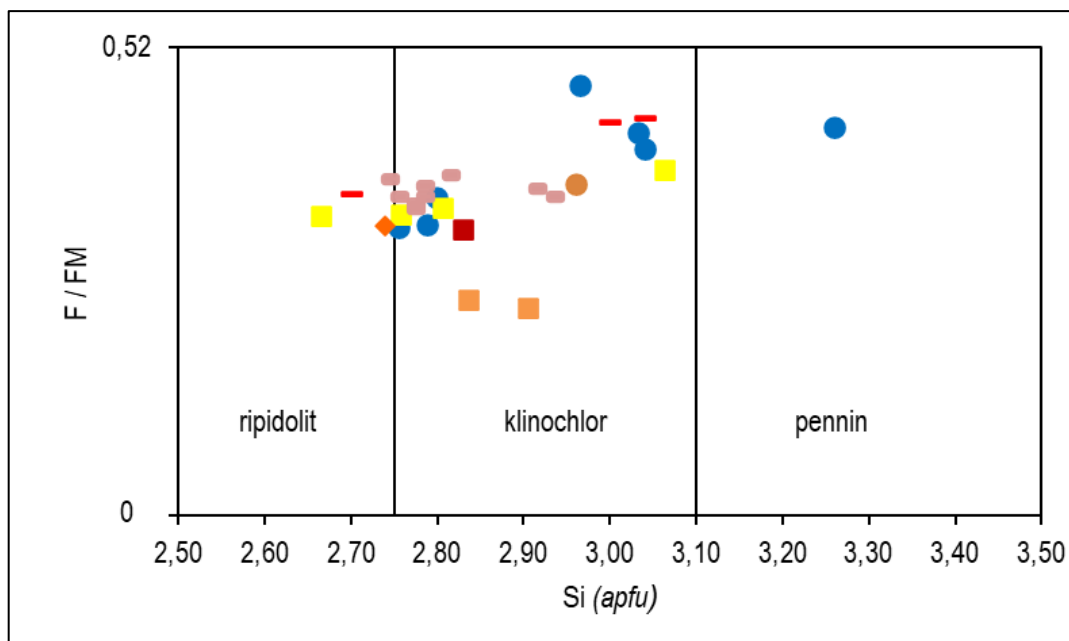


Obr. 42. Detail obrázku 41.

Výsledky chemismu chloritu jsou značně pestřejší. Klasifikační diagramu podle Melky (1965) potvrzuje přítomnost tří různých chloritů: ripidolitu, klinochloru a peninu (obr. 43 a 44), kdy klinochlor a ripidolit je obsažen v rudninách z lokality Pod Břidličnou, zatímco klinochlor a pennin jsou součástí rudních vzorků z lokality Kosaře-Špičák. Jejich chemismus tedy odpovídá chloritům klinochlor-chamositové řady s malým obsahem pennantitové složky.

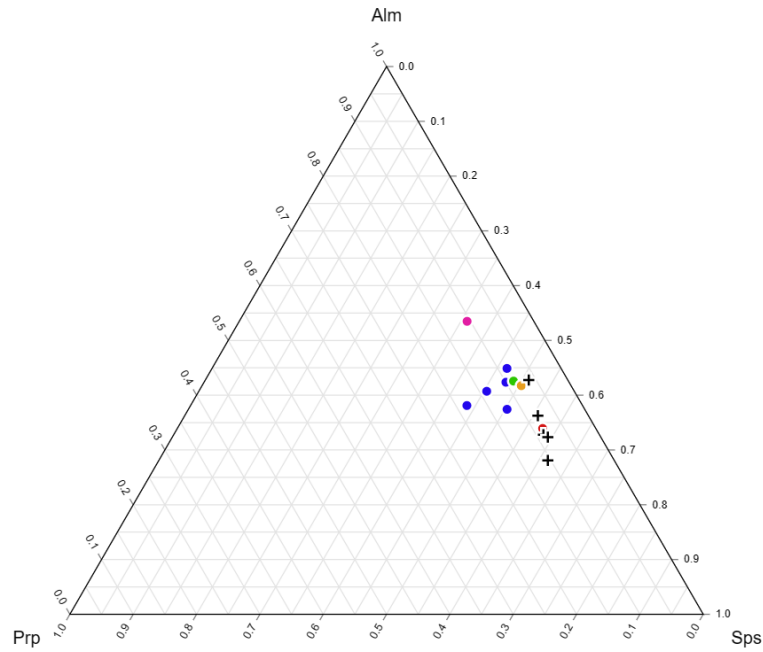


Obr. 43. Výsledky analýzy chloritů zaznačené v diagramu podle Melky (1965). Chlority zaznačené modrou barvou jsou vzorky pocházející z lokality Kosaře-Špičák, ostatní body odpovídají chloritům ze vzorků z lokality Pod Břidličnou.

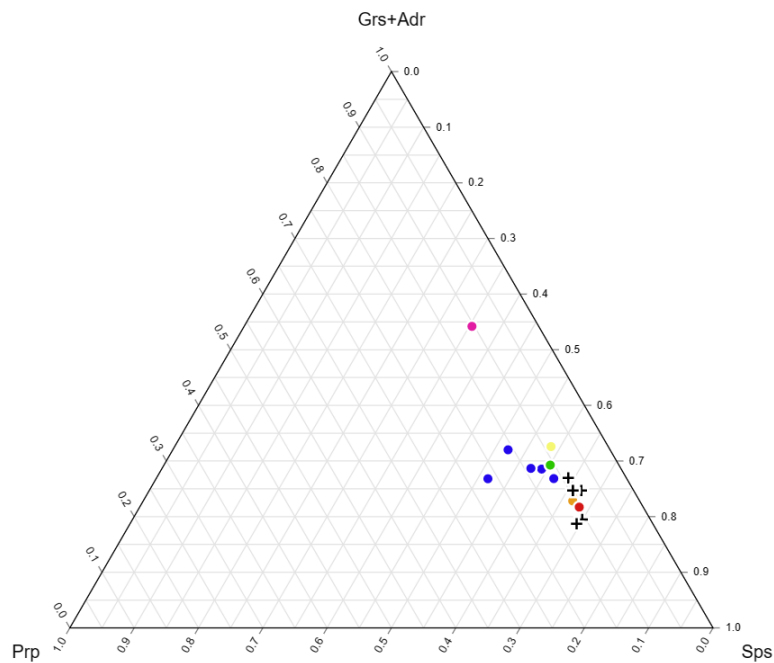


Obr. 44. Detail obrázku 43.

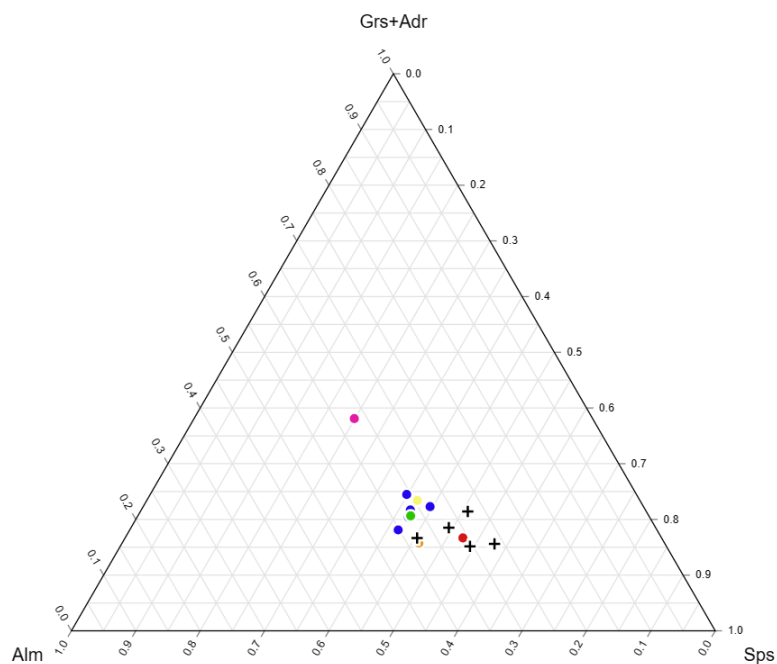
WDX analýzy granátů odhalily velmi podobné složení zrn v případě rudnin obou studovaných lokalit. I když obecně můžeme rozdělit granáty na pyralspity a ugrandity, mezi nimiž existuje jen omezená mísitelnost, analyzované granáty z lokality Špičák a Pod Břidličnou obsahují tyto dominantní složky: Sps, Alm a Grs+Adr. Složení analyzovaných granátů vyjadřují grafy na obr. 45, 46 a obr. 47 (data uvedena v příloze v tabulkách VI. – VII.). U většiny analyzovaných zrn převažuje složka Sps, kdy u vzorků z lokality Kosaře-Špičák se hodnoty Sps pohybují od 35 % do 48 %, zatím co ve vzorcích z lokality Pod Břidličnou se hodnoty Sps pohybují od 43 % až do 52 %. Na BSE snímku je viditelná chemická zonálnost granátu, která, v našem případě, může být spíše způsobena rozdílnými obsahy Mg, tj. rozdílným obsahem složky Prp (viz obr. 40, analýzy č. 16, 17, 18 a 19), než rozdílným poměrem Fe/Mn. Světlejší okrajové zóny granátu mají nižší obsah Mg než zóny tmavší.



Obr. 45. Pozice granátů v trojkomponentním systému Prp – Sps – Alm. Černé křížky zobrazují pozice analyzovaných granátů z lokality Pod Břidličnou. Barevná kolečka jsou analyzované granáty z lokality Kosare-Špičák.



Obr. 46. Pozice granátů v systému Prp – Sps – Grs+Adr. Černé křížky zobrazují pozice analyzovaných granátů z lokality Pod Břidličnou. Barevná kolečka jsou analyzované granáty z lokality Kosare-Špičák.



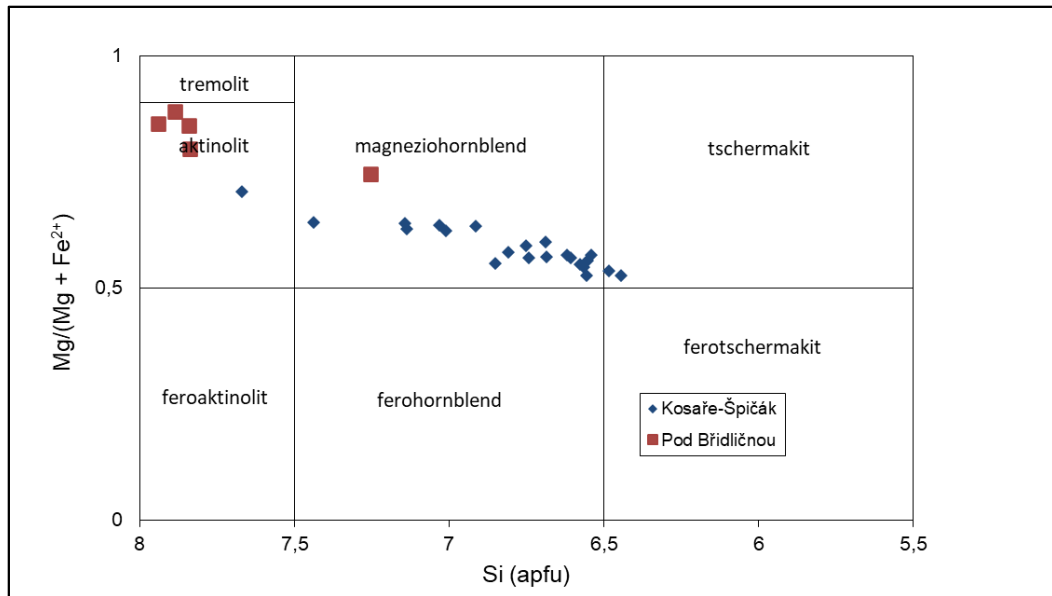
Obr. 47. Pozice granátů v systému Alm – Sps – Grs+Adr. Černé křížky zobrazují pozice analyzovaných granátů z lokality Pod Břidličnou. Barevná kolečka jsou analyzované granáty z lokality Kosare-Špičák.

Minerály epidotové skupiny odpovídají v tomto případě převážně epidotu, nebo REE bohatému epidotu. Analýzy č. 23 se sumou REE = 0,574 a č. 32 se sumou REE = 0,823 ve vzorku ŠP-II-4 ovšem také potvrdili přítomnost allanitu-(Ce), který se také objevuje ve vzorcích z lokality Pod Břidličnou (analýza 55/A, vzorek PB-1, suma REE = 0,774, analýza 28, vzorek PB-19, suma REE = 0,555). V popisech výbrusů je termínem allanit označován jak allanit, tak i epidot, který vykazuje znaky metamiktní přeměny (zakalení), tedy epidot se zvýšenými obsahy REE. Dle sdělení vedoucího práce jde o běžnou praxi, jelikož rozlišení REE relativně bohatého epidotu od allanitu není na základě optických vlastností možné.

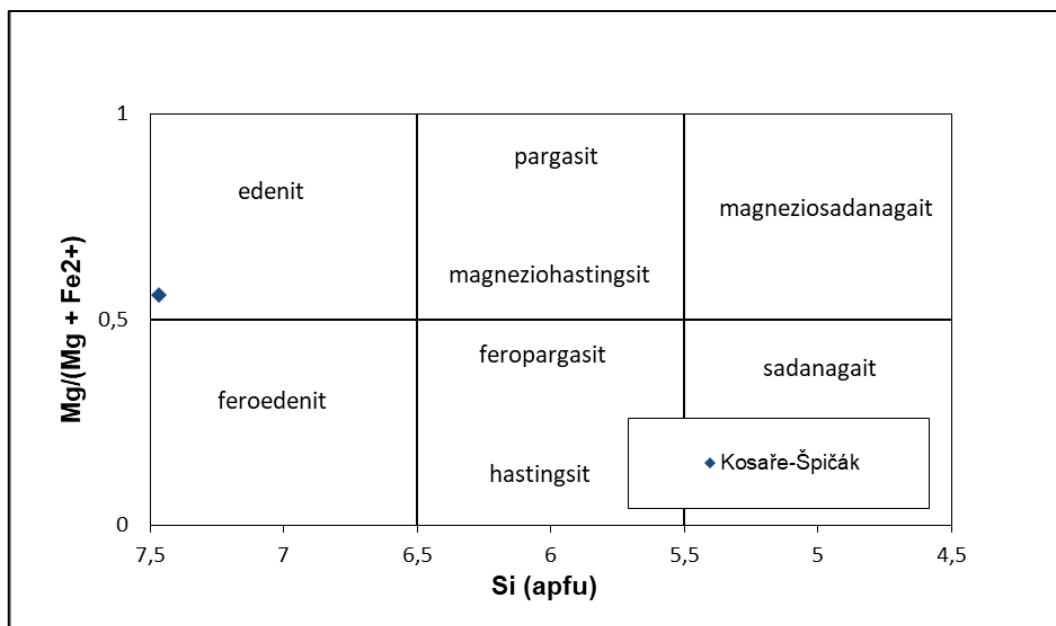
Z analýz apatitu můžeme zřetelně vyvodit, že se jedná o fluoroapatit díky výrazně převažujícímu množství fluoru nad chlorem.

Magnetit v jednotlivých vzorcích z obou lokalit nevykazoval žádné zvláštní odchylky či zvýšené obsahy prvků. Obsahy TiO_2 byly v rozpětí 0,03-0,17 hm. %. Za zmínku ovšem stojí analyzované zrno titanomagnetitu (ilmenoematitu) (viz obr. 38), které je uzavřené v zrně ilmenitu. Obsah TiO_2 zde činí 14,54 hm. %.

Minerály skupiny amfibolů byly přítomny v páskovaných křemen-magnetitových rudách na obou lokalitách. Na lokalitě Pod Břidličnou analýzy potvrdily přítomnost velmi hořčnatého aktinolitů a magneziohornblendu. Rudy na lokalitě Kosaře-Špičák obsahují aktinolit, magneziohornblend a tschermakit (obr. 48). Jedna analýza dokonce potvrdila přítomnost edenitu (obr. 49).



Obr. 48. Diagram podle Leakeho a kol. (1997) zobrazující výsledné analýzy amfibolů z lokality Kosaře-Špičák (modré body) a z lokality Pod Břidličnou (červené body). Parametry diagramu: $(Na+K)_A < 0,50$.

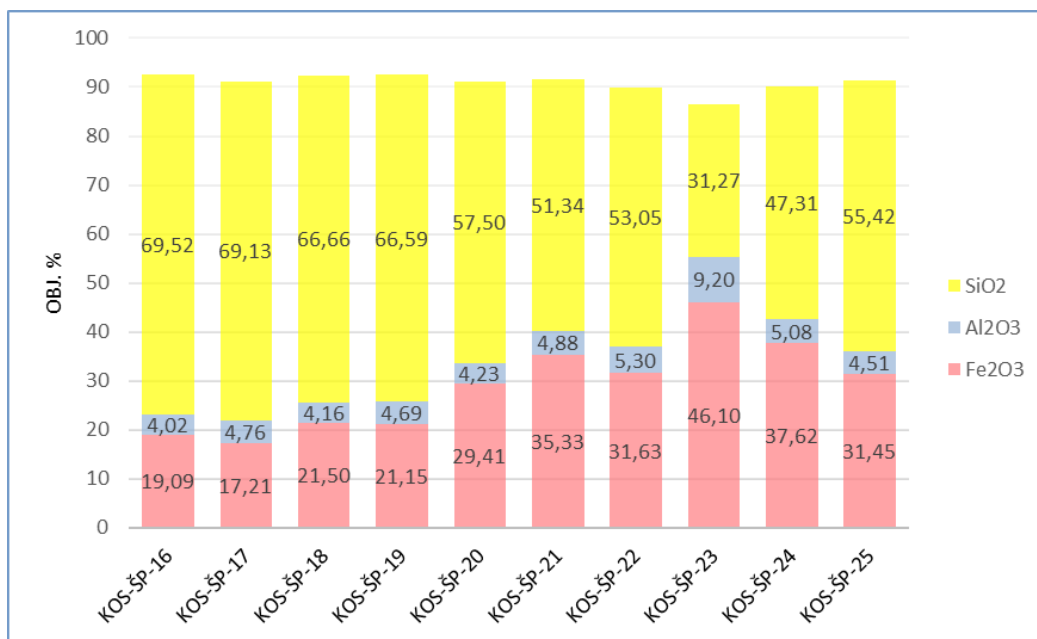


Obr. 49. Diagram podle Leakeho a kol. (1997) zobrazující výsledné analýzy amfibolů z lokality Kosaře-Špičák. Parametry diagramu: $(Na+K)_A \geq 0,50$.

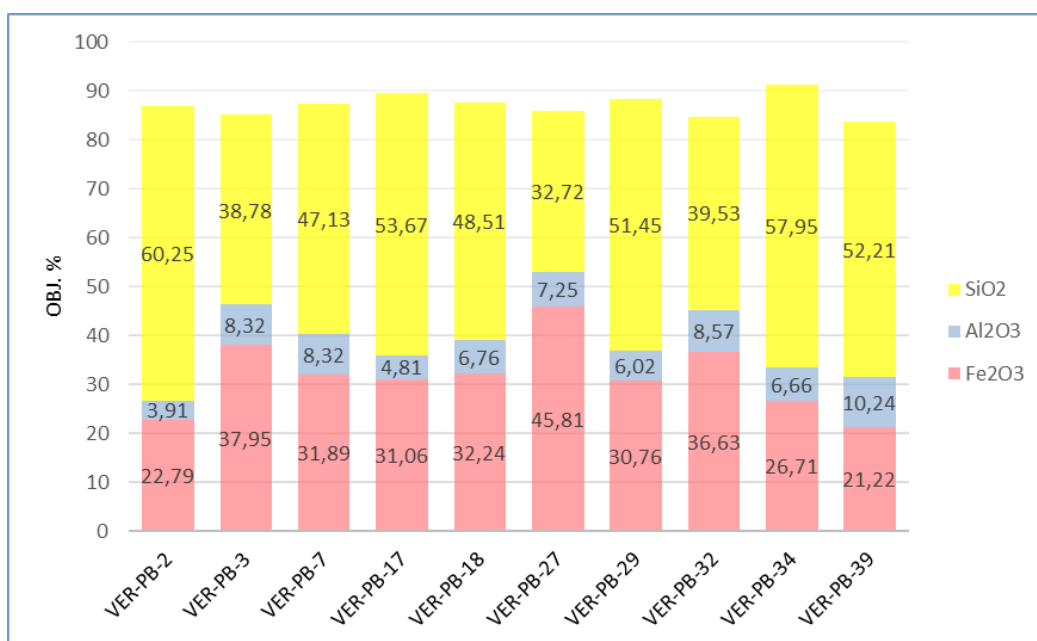
Při analýzách ilmenitu ve vzorcích z lokality Kosaře-Špičák byla zjištěna převaha železa nad manganem, který je typickou příměsí ilmenitu, tudíž se v tomto případě jedná o ilmenit, nikoliv pyrofanit. Ve vzorcích odebraných z lokality Pod Břidličnou však analýza ilmenitu odhalila převahu manganu nad železem ve dvou analýzách (76/K a 77/M vzorku PB-7, tab. č. XVII), což by mohlo poukazovat na přítomnost pyrofanitu.

7.3. Chemismus rud

Z grafů na obrázcích 50 a 51 je viditelné procentuální zastoupení hlavních chemických složek (SiO_2 , Al_2O_3 a celkové Fe jako Fe_2O_3) ve vzorcích odebraných z lokality Kosaře-Špičák (obr. 50) a z lokality Pod Břidličnou (obr. 51). Z výsledků můžeme jasně vidět, že obsahy železa jsou nízké, což naznačuje, že v haldovém materiálu na obou lokalitách jsou již spíše chudší rudní vzorky.



Obr. 50. Graf znázorňující poměry složek SiO₂, Al₂O₃ a Fe₂O₃ v jednotlivých analyzovaných vzorcích z lokality Kosaře-Špičák.



Obr. 51. Graf znázorňující poměry složek SiO₂, Al₂O₃ a Fe₂O₃ v jednotlivých analyzovaných vzorcích z lokality Pod Břidličnou.

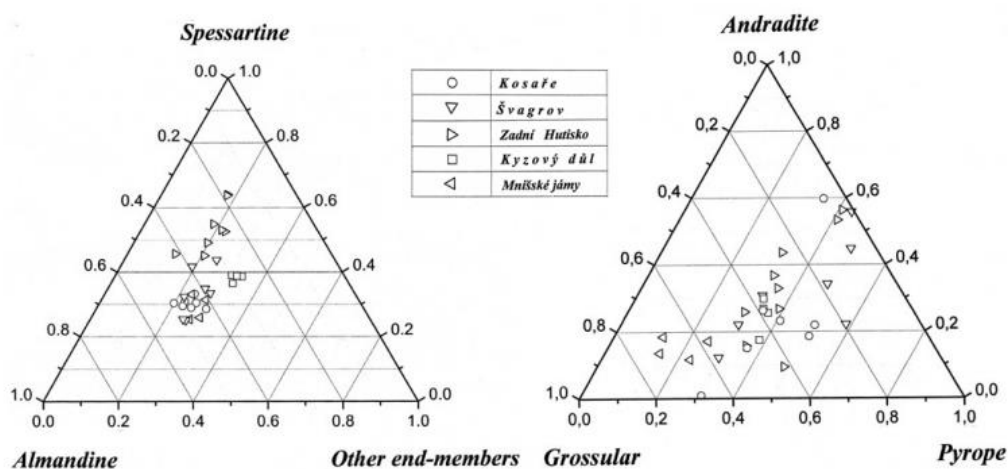
8. Diskuze

Analyzované vzorky z lokalit Kosaře-Špičák a Pod Břidličnou vykazují jisté rozdíly mezi minerální (a chemickou) skladbou rud, ovšem při srovnání těchto výsledků s již publikovanými údaji v mnoha publikacích (např. Pouba 1951, Mücke a Losos 2000, Zimák 2001, Mücke a Losos 2007, Zimák 2008, Iršová a Zimák 2012, Kropáč 2012, Mücke a Losos 2015) můžeme zkonstatovat, že jejich nerostné složení a stavba je obdobná páskovaným křemenným rudám z okolních velmi dobře známých ložisek z okolí Vernířovic. Zaznamenané odlišnosti a další poznatky budou prodiskutovány v následujících odstavcích.

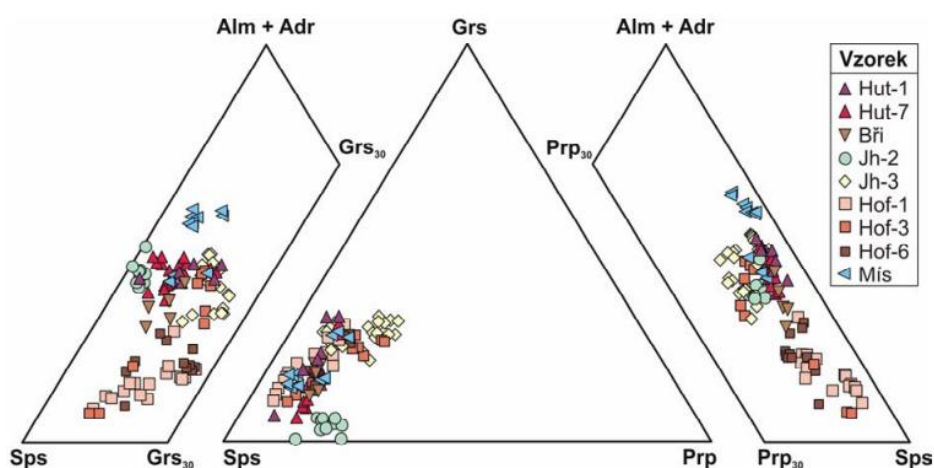
V případě fylosilikátů zde nenajdeme přílišné odlišnosti. Biotit, který v případě křemen-magnetitových rud na lokalitě Kosaře byl přítomen ve velmi malém množství, byl vyhodnocen v případě obou lokalit jako flogopit (viz obr. 41). Tyto výsledky jsou shodné s analýzami uváděnými v pracích Kropáče (2012), Mückeho a Lossosa (2000, 2007 a 2015) nebo Zimáka (2001). Chemismus chloritů dle zmíněných autorů se pohybuje nejvíce v polích klinochloru a ripidolitu, méně pak v poli penninu (hodnocení dle Melky 1965) s hodnotami Si v rozpětí 2,5-3,0 apfu, což je více méně shodné s výsledky z této práce, kdy hodnoty Si se pohybují v rozmezí 2,65-3,25 apfu. Chlorit tedy spadá do polí ripidolitu, klinochloru a penninu (viz obr. 42 a 43). Rozdílné hodnoty byly naměřeny na Skelném vrchu, kde biotity a chlority obsahují vyšší množství železa, než je to v případě těchto minerálů z okolních ložisek na Sobotínsku (Janků 2020). Mezi lokalitami, které jsou předmětem této práce, nebyly v případě fylosilikátů nalezeny žádné markantní rozdíly, pouze biotit byl na lokalitě Kosaře-Špičák přítomen ve velmi malém množství, a to pravděpodobně z důvodů chloritizace.

Granáty v obou případech studovaných lokalit vykazují značně podobné výsledky. Co je ovšem zajímavé, jsou anomálně vysoké obsahy Grs+Adr složky, která na většině lokalitách v okolí Vernířovic nebyla zaznamenána v příliš vysokých hodnotách. Granáty Grs-Adr řady jsou známy např. z mineralizací alpského typu (Zimák 2008). Stručně se také o granátech Grs-Adr řady zmiňuje Mücke a Losos (2000, 2007), kteří grosulár uvádějí jako akcesorii rozptýlenou v magnetitových rudninách. Kropáč (2012) uvádí také přítomnost grosuláru i andraditu v rudninách studovaných lokalit, ovšem ani zde nejsou jejich obsahy příliš vysoké. Na obrázcích 52, 53 a 54 jsou ternární diagramy, zobrazující výsledné obsahy analyzovaných granátů z výše zmíněných prací, s grafem analyzovaných granátů z lokalit Kosaře-Špičák a Pod Břidličnou. Nejvyšší obsahy

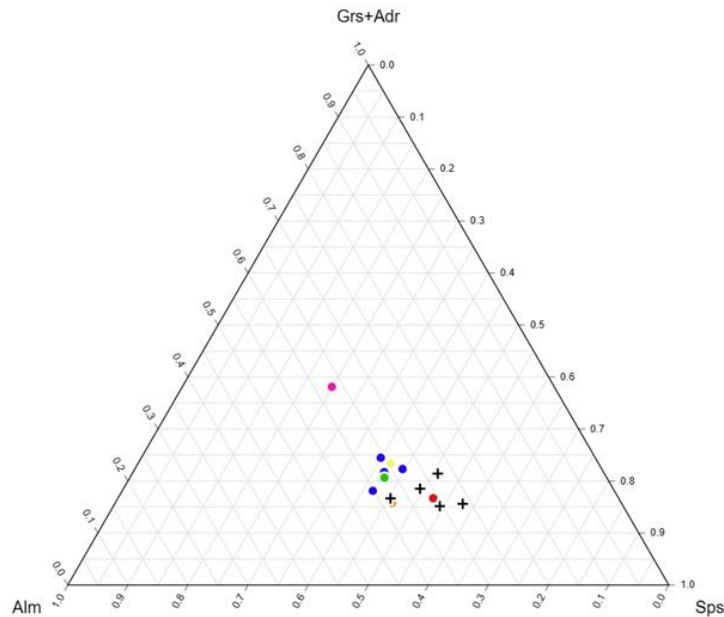
granátů Grs-Adr řady (až 99% složky granátu) byly naměřeny na ložisku Skelný Vrch, kde vytvářejí lemy kolem granátů Alm-Sps řady (Janků 2020). Podobné je to i se zonálností granátů. Kropáč (2012) zmiňuje zonálnost granátů např. na lokalitě Jelení hřbet, ovšem ne na lokalitě Pod Břidličnou. Mücke a Losos (2007) se při analýze studované lokality Kosaře o zonálnosti granátů nezmiňují. Zonálnost je velmi dobře zřetelná z lokality Skelný Vrch u Rudoltic (Janků 2020), kde je pravděpodobně způsobena rozdílným obsahem Prp složky, stejně tak jako v případě granátů studovaných lokalit v této práci.



Obr. 52. Pozice granátů z vybraných lokalit na Sobotínsku v ternárních diagramech almandin-spessartin-ostatní koncové členy (vlevo) a grosulár, andradit a pyrop (vpravo) (Mücke a Losos 2007).



Obr. 53. Zastoupení jednotlivých komponent v granátech z granátovců a páskovaných železných rud z lokalit Hutisko, Jelení hřbet, Břidličná, Hofberg a Míšečky, vyjádřené v ternárních diagramech Sps–Alm+Adr–Grs₃₀; Sps–Grs–Prp; Sps–Alm+Adr–Prp₃₀ (Kropáč 2012).



Obr. 54. Pozice granátů v systému Alm – Sps – Grs+Adr. Černé křížky zobrazují pozice analyzovaných granátů z lokality Pod Břidličnou. Barevná kolečka jsou analyzované granáty z lokality Kosaře-Špičák.

Minerály amfibolu jsou běžnou složkou páskovaných křemen-magnetitových rud na lokalitě Kosaře-Špičák. Již v minulosti byl tento minerál popsán např. v práci Mückeho a Lososa (2000, 2007), kde analýza amfibolů z lokality Kosaře přináší velmi podobné výsledky. Dalšími ložisky s výskytem amfibolu jsou např. Rudná hora, Zadní Hutisko, Sylvani a Švagrov. Iršová a Zimák (2012) ve své práci, kromě často přítomných typů amfibolů (aktinolit, magneziohornblend, tschermakit a ferohornblend), uvádějí i výskyt amfibolů typu magneziohastingsit a hastingsit v rulách na ložisku Rudná hora. Amfiboly z rudních hornin Zadního Hutiska, Sylvani a Švagrova studovaných v práci Mückeho a Lososa (2000, 2007) spadají taktéž do polí aktinolit, magneziohornblend a tschermakit. Kropáč (2012) popisuje amfiboly pouze z granátovců z lokality Hofberg, ovšem i zde jsou hodnoty velmi podobné amfibolům z rudnin ostatních ložisek z okolí Vernířovic. Jediným drobným rozdílem mezi analýzami výše zmíněných autorů a hodnotami, naměřených v amfibolech na ložisku Kosaře-Špičák, je vyšší obsah železa.

Ojedinelý případ, v našem případě, zde tvoří výskyt amfibolů v rudách na lokalitě Pod Břidličnou. Na této lokalitě dosud žádnými autory nebyla jeho přítomnost potvrzena. Srovnáme-li hodnoty analýz amfibolů z obou studovaných lokalit (viz tab. X. – XI.), zjistíme, že obsahy hořčíku (3,48-4,29 apfu) a křemíku (7,25-7,94 apfu) jsou vyšší na lokalitě Pod Břidličnou, naopak obsahy manganu (0,017-0,021 apfu), sodíku (0,087-

0,197 apfu) a zejména železa (0,57-1,19 apfu) jsou nižší než na lokalitě Kosaře-Špičák. Obsahy hořčíku, naměřené na lokalitě Pod Břidličnou, jsou zvýšené i oproti hodnotám naměřeným na ostatních lokalitách v okolí Vernířovic. Přítomnost amfibolů na světových ložiskách formace BIF není běžná (viz např. Mücke a Losos 2000). Naopak pro ložiska páskovaných křemen-magnetitových rud na Sobotínsku lze Ca-amfiboly bohaté hořčíkem (magnezihornblend apod.) a produkty jejich retrogradní přeměny (reprezentované aktinolitem) považovat za typické. Pokud na některých lokalitách tyto amfiboly přítomny nejsou, nebo jsou jen zcela vedlejší složkou rud, pak, dle mého názoru, to může být způsobeno jejich retrogradní přeměnou na chlorit.

Otázkou tedy zůstává geneze amfibolů, jelikož se vyskytují jen na určitých ložiskách. Mücke a Losos (2000, 2007) jsou toho názoru, že amfiboly v okolí Vernířovic intrudovali ve formě apofýz do okolních rud a hornin. To podkládají argumentem ohledně stejného složení amfibolů sobotínského amfibolitového masivu, tudíž předpokládají stejný původ. Mohlo by to vysvětlovat i absenci amfibolu na některých ložiskách. Kropáč (2012) vysvětluje přítomnost amfibolů díky příměsi bazických tufů v původním protolitu rudnin. Jeho poznámka o chloritizaci amfibolů v metamorfním vývoji by mohla v jeho případě vysvětlovat absenci amfibolů na některých rudních ložiskách, kdy snižováním množství amfibolu se zvyšuje množství chloritu. Přesnou genezi amfibolů ovšem nelze s jistotou určit. Je možné že do určité míry za výskyt amfibolů v křemen-magnetitových rudách mohou oba výše zmíněné procesy. Pokud bychom porovnali hodnoty z analýz amfibolů na lokalitě Kosaře-Špičák (viz tab. č. X) zjistíme, že zde nenalezneme žádné abnormálně se lišící hodnoty, i když vzdálenost od amfibolitového tělesa se u každého ložiska liší. Rozdílné jsou pak hodnoty, porovnáme-li analýzy amfibolů z ložiska Kosaře a ložiska Pod Břidličnou, které byly popsány v předchozím odstavci. Pouba (1971) popisuje ve své práci reakci intrudujícího magmatu s okolní horninou, kdy se zvětšující se vzdálenosti od kontaktu se mění celková skladba okolních hornin. To by mohlo v našem případě naznačovat, že by složení amfibolů na některých lokalitách mělo být odlišné právě díky rozdílné vzdálenosti od kontaktu intruze. Pouba (1971) ovšem zmiňuje i velikost intruze jako faktor ovlivnění reakce s okolní horninou; čím větší intruze je, tím více může okolní horninu ovlivnit na větší vzdálenost.

Výrazný rozdíl v chemickém složení mezi amfiboly z obou mnou studovaných lokalit může souviset s tím, že všechny analyzované amfiboly z lokality Pod Břidličnou jsou sekundární v tom smyslu, že jsou výsledkem retrogradní přeměny. Chemismus amfibolů z páskovaných železných rud na lokalitě Kosaře rámcově odpovídá chemismu

amfibolů sobotínského amfibolitového masivu a také granátovců v této oblasti (např. Mücke a Losos 2000 a Kropáč 2012). Domnívám se, že rozdíl v chemickém složení amfibolů z obou lokalit nesouvisí s jejich vzdáleností od apofýz sobotínského masivu, ale z již výše zmíněnou vyšší intenzitou retrográdně metamorfních procesů na lokalitě Pod Břidličnou. Vyšší intenzita retrográdních procesů na lokalitě Pod Břidličnou se projevuje i výraznou chloritizací biotitu.

Na obou studovaných ložiskách je v křemen-magnetitových rudách přítomen fluorapatit, který se běžně vyskytuje i na jiných akumulacích železných rud v okolí Vernířovic (Mücke a Losos 2000, 2007, Kropáč a Zimák 2006, Zimák a Kropáč 2006, Kropáč 2012, Janků 2020). Nutno poznamenat, že Mücke a Losos (2000) prezentují analýzy apatitu bez stanoveného obsahu fluoru a chlóru. Z práce Kropáče a Zimáka (2006) je zřejmé, že výsledky všech WDX analýz apatitů z páskovaných železných rud na Sobotínsku odpovídají fluorapatitu. Přítomnost apatitu ve studovaných rudách může být zajímavá z genetického hlediska. Mücke a Losos (2000) předkládají model geneze těchto ložisek, který předpokládá akumulaci rudní hmoty při gravitační diferenciaci (citovaní autoři tato ložiska považují za segregáční). Nutno poznamenat, že gravitační diferenciaci při vývoji magmatické taveniny je sice významným procesem při vzniku některých světových ložisek apatitu a magnetitu (viz např. Dill 2010), avšak v případě rudních akumulací v sedimentárních komplexech a jejich metamorfních ekvivalentech (v našem případě v desenských pararulách) nelze o tomto způsobu vzniku uvažovat. Jak v souvislosti s genezí BIF ložisek na Sobotínsku uvádí Kropáč (2012), Ca-fosfáty mohou vznikat vysrážením na šelfu v důsledku pronikání chladné fosforem bohaté mořské vody do relativně teplých mělkých vod, a současně může docházet k ukládání sedimentů bohatých železem, případně i manganem, jejichž metamorfní přeměnou se vytvořila ložiska páskovaných železných rud a tělesa granátovců, bohatých manganem. Kropáč (2012) na základě neoproterozoického stáří protolitu desenských rul přirovnává železnorudná ložiska na Sobotínsku k železnorudným akumulacím typu Rapitan v Kanadě.

Ilmenit je taktéž běžnou akcesorickou komponentou přítomnou v křemen-magnetitových rudách na Sobotínsku. Na mnou studovaných lokalitách v ilmenitu je často zvýšený obsah manganu, výjimečně složení „ilmenitu“ odpovídá pyrofanitu (převaha Mn nad Fe). Zajímavostí v našem případě je ilmenit, který obsahuje uzavřeniny titanomagnetitu (ilmenohematitu) místy s odměšeninami TiO_2 (obr. 38) a také agregát složený z TiO_2 -minerálu a Fe-oxidu. Tento agregát pravděpodobně vznikl rozpadem

pevného roztoku (titanomagnetit nebo ilmenohematit) (obr. 29). Tyto úkazy nejsou v rudách na Sobotínsku běžné. Podobným zajímavým případem byl magnetit s odmíšeninami ilmenitu v křemen-magnetitové rudě na ložisku Skelný vrch (Janků 2020).

9. Závěr

Páskované křemen-magnetitové rudy jsou známé ze Sobotínska již řadu let. V dnešní době jsou k nalezení jen velmi chudé rudy na bývalých ložiskách z důvodů jejich těžby v dobách sobotínských železáren, proslavených hlavně díky bratrům Kleinovým. Otázka jejich geneze však zůstává dále nezodpovězena, jelikož se lehce odlišují i od BIF rud známých ze světa, u kterých je otázka geneze taktéž stále předmětem mnoha diskuzí.

V této práci byly prozkoumány vzorky křemen-magnetitových rud ze dvou lokalit v okolí Vernířovic: Kosaře-Špičák a Pod Břidličnou. Poskytnuté analýzy hornin a minerálů byly porovnány s lokalitami vyskytujícími se v okolí Sobotínska. Zjištěné výsledky ukazují na značnou podobnost s hodnotami prezentovanými ostatními autory. Odlišnosti byly nalezeny v granátech, které měly, kromě vysokých obsahů Alm a Sps složky, také nezvykle zvýšené hodnoty Grs+Adr složky. Vysoké obsahy Grs+Adr složky byly naměřeny pouze na ložisku Skelný vrch u Rudoltic.

Neobjasněným tématem jsou i amfiboly, které se v našem případě podařilo nalézt nejen na lokalitě Kosaře-Špičák, ale i na lokalitě Pod Břidličnou. Přítomnosti amfibolů na této lokalitě nebyla dosud žádným autorem potvrzena. Amfiboly v rudách na ložisku Kosaře se od ostatních amfibolů popsanych ostatními autory liší pouze hodnotami železa, které jsou v některých případech vyšší. Amfiboly z lokality Pod Břidličnou obsahují velmi vysoké hodnoty hořčíku, oproti jiným amfibolům z ostatních lokalit Sobotínska, naopak hodnoty manganu jsou zde nejnižší. Hodnoty jsou ovšem podobné amfibolům hornin sobotínského amfibolitového masivu. Díky tomu je jejich geneze taktéž předmětem diskuzí. Teorie ohledně jejich vzniku začleněním bazických tufů do protolitu se zdá být díky mnohým argumentům přijatelnější, ovšem nelze vyvrátit ani možnost jejich vzniku díky intruzím bazického magmatu, jelikož většina ložisek rud obsahujících amfibol se nachází poblíž sobotínského amfibolitového masivu.

Zajímavostí ve studovaných křemen-magnetitových rudách v této práci je ilmenit, který obsahuje uzavřeniny titanomagnetitu (ilmenohematitu) místy s odmíšeninami TiO_2

a agregát složený z TiO₂-minerálu a železitého oxidu. Tyto úkazy jsou pro Sobotínsko zatím neobvyklé, jelikož podobný úkaz byl popsán pouze na ložisku Skelný vrch.

10. Literatura

- Bekker A., Slack J. F., Planavsky N., Krapež B., Hofmann A., Konhauser K. O., Rouxel O. L. (2010): Iron Formation: The Sedimentary Product of a Complex Interplay among Mantle, Tectonic, Oceanic, and Biospheric Processes. – Society of Economic Geologists, Inc., Economic Geology, v.105, pp. 467-508.
- Bekker A., Planavsky N. J., Krapež B., Rasmussen B., Hofmann A., Slack J. F., Rouxel O. J., Konhauser K. O. (2014): Iron Formation: Their Origins and Implications for Ancient Seawater Chemistry. – Elsevier, Treatise on Geochemistry (Second Edition), Volume 9, pages 561-628
- Bernard J. H. (1991): Empirical types of ore mineralizations in the bohemian massif. – Geological Survey, Praha.
- Bernard J. H., Pouba Z. a kol. (1986): Rudní ložiska a metalogeneze československé části Českého masívu. – Ústřední ústav geologický v Akademii, nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Broska, I., Petřík, I., Uher, P. (2012): Akcesorické minerály granitických hornin Západných Karpát. – Veda, Bratislava.
- Buriánek D., Kropáč K. (2009): Vznik metamorfní minerální asociace granátovců z desenské jednotky silesika. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 16(2009), 100–108.
- Dill H.G. (2010): The „chessboard“ classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminium to zirconium. – Earth-Science Reviews, 100, 1-420.
- Gába Z., Tempírová-Kotrlá D. (2000): Bratři Kleinové, stavitelé silnic a železnic. – Okresní Vlastivědné muzeum, Šumperk.
- Gaucher C., Sial A. N., Frei R. (2015): Chapter 17 - Chemostratigraphy of neoproterozoic banded iron formation (BIF): types, age and origin. – Chemostratigraphy, Concepts, Techniques, and Applications, 433–449.
- Hagemann S. G., Angerer T., Düring P., Rosière C. A., Figueiredo e Silva R. C., Sobato L., Hensler A. S., Walde D. H. G. (2016): BIF-hosted iron mineral system: A review. – Ore Geology Reviews, 76, 317–359.
- Cháb J. Fišera M., Fediuková E., Novotný P., Opletal M., Skácelová D. (1984): Problémy tektonického a metamorfního vývoje východní části Hrubého Jeseníku. – Sborník geologických věd, řada G, 39(1984), 27–72.
- Cháb J., Fediuková E., Fišera M., Novotný P., Opletal M. (1990): Variská orogeneze v silesiku. – Sborník geologických věd, řada LGM, 29(1990), 9–39.
- Cháb J., Breitr K., Fatka O., Hladil J., Kalvoda J., Šimůnek Z., Štorch P., Vašíček Z., Zajíc J., Zapletal J. (2008): Stručná geologie základu Českého masívu a jeho karbonského a permského pokryvu. – Vydavatelství České geologické služby, Praha.

- Iršová B., Zimák J. (2012): Mineralogie dvou typů železných rud z historických ložisek na Rudné hoře u Vernířovic v Hrubém Jeseníku. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 19(2012), No. 1–2, 150–153.
- Janků K. (2020): Mineralogie železnorudného ložiska Skelný vrch u Rudoltic. MS. Bakalářská práce. PřF, UP Olomouc.
- Klein C. (2005): Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. – *American Mineralogist*, 90, 1473–1499.
- Klemm D. D. (2000): The formation of Paleoproterozoic banded iron formations and their associated Fe and Mn deposits, with reference to the Grinqualand West deposits, South Africa. – *Journal of African Earth Science*, 30, 1–24.
- Kopa D., Fojt B. (2003): Nová lokalita páskovaných železných rud v rulách desenské skupiny silezika. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 2002*, 74–76.
- Košuličová M., Štípská P. (2007): Variations in the transient prograde geothermal gradient from chloritoid-staurolite equilibria: a case study from the Barrovian and Buchan-type domains in the Bohemian Massif. – *J. metamorphic Geol.*, 25, 19–35.
- Kropáč K. (2012): Mineralogie a geneze páskovaných železných rud desenského krystalinika. MS. Disertační práce. PřF MU Brno.
- Kropáč K., Zimák J. (2006): Fluorapatit páskovaných magnetitových rud desenského krystalinika. – *Sborník „Mineralogie Českého masivu a Západních Karpat 2006“*, 31–37. Olomouc 2006.
- Kropáč K., Buriánek D., Zimák J. (2012): Origin and metamorphic evolution of Fe-Mn-rich garnetites (coticules) in the Desná Unit (Silesicum, NE Bohemian Massif). – *Chemie der Erde*, 72 (2012), 219–236.
- Leake B. E., Woolley A. R., Arps Ch. E.S., Birch W. D., Gilbert M. Ch., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H. J., Krivovichev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J. A., Maresch W. V., Nickel E. H., Rock N. M.S., Schumacher J. C., Smith D. C., Stephenson N. C.N., Ungaretti L., Whittaker E. J.W., Youzhi G. (1997): Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. – *The Canadian Mineralogist*, Vol. 35, pp. 219-246.
- Li H., Zhang Z., Li L., Zhang Z., Chen J., Yao T. (2014a): Types and general characteristics of the BIF-related iron deposits in China. – *Ore Geology Reviews*, 57, 264–287.
- Li H., Zhai M., Zhang L., Yang Z., Kapsiotis A., Zhou Y., He J., Wang Ch., Liang J. (2014b): Mineralogical and microfabric characteristics of magnetite in the Wuyang Precambrian BIFs, southern North China Craton: Implications for genesis and depositional processes of the associated BIFs. – *Journal of Asian Earth Sciences*, 94, 267–281.
- Li Z., Zhang L., Xue Ch., Zhu M., Zheng M., Robbins L. J., Konhauser K. O. (2019): Genesis of the Neoproterozoic-Early Cambrian banded iron ore-bearing sedimentary rocks in the Jierteike-Zankan iron ore belt, West Kunlun Orogenic Belt, Xinjiang (NW China). – *Elsevier, Journal of Asian Earth Science*, 173 (2019), 143-160.

- Lin Y., Tang D., Shi X., Zhou X., Huang K. (2019): Shallow-marine ironstones formed by microaerophilic iron-oxidizing bacteria in terminal Paleoproterozoic. – Elsevier, *Gondwana research*, 79 (2019), 1–18.
- Losos Z., Princová E. (2002): Lokalita č. 21. Rejhotice – Mnišské jámy. Železné rudy typu BIF v desenských rulách. In Zimák J., Novotný P., Fojt B., Novák M., Vávra V., Kopa D., Losos Z., Prinzová E., Skácel J. (2002): Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách na Sobotínsku, 80–83. UP Olomouc.
- Melka K. (1965): Návrh na klasifikaci chloritových minerálů. – *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 40 (1965), str. 23-27, Praha.
- Mísař Z., Dudek A., Havlena V., Weiss J. (1983): *Geologie ČSSR I., Český masív.* – Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- Mücke A., Losos Z. (2000): Polymetamorfně přepracované, páskované a silicifikované magnetitové rudy v desenských rulách (silesikum, Česká republika). – *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 85(2000), 47–80.
- Mücke A., Losos Z. (2007): The magnetite mineralizations of the Desná Group in the Silesicum, Czech Republic: petrographic, mineralogical, and geochemical studies and their genetic implications. – *Journal of Geosciences*, 52, 227–270.
- Mücke A., Losos Z. (2015): The iron/manganese occurrences of the Desná Unit NE of the Sobotín Amphibolite Massif, Silesicum, Czech Republic: A reply to the paper of Kropáč et al. (2012). – *Chemie der Erde*, 75 (2015), 51-54.
- Nepejchal M., Zimák J. (2004): Železnorudné ložisko Franziskazeche u Šumperka. – Městský úřad Šumperk a Vlastivědné muzeum v Šumperku.
- Novotný P., Zimák J. (1998): Granátem bohaté pásy v amfibolické rule u Sobotína. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 1997*, 85–88.
- Posth N. R., Köhler I., Swanner E. D., Schröder Ch., Wellemann E., Binder B., Konhauser K. O., Neumann U., Berthold Ch., Nowak M., Kappler A. (2013): Simulating Precambrian banded iron formation diagenesis. – *Chemical Geology*, 362, 66–73.
- Pouba Z. (1951): Zpráva o výzkumu železných rud v jádru desenské klenby. – *Věst. Ústř. Úst. Geol.*, 27, 227-231, Praha.
- Pouba Z. (1954): Zpráva o geologickém mapování okolí ložisek železných rud u Vernířovic v Hrubém Jeseníku. – *Zpr. geol. Výzk. v r. 1953*, 161–166.
- Pouba Z. (1970): Pre-Cambrian banded magnetite ores of the Desná Dome. – *Sborník geologických Věd, Řada LG*, 12(1970), 7–64.
- Pouba Z. (1971): Acid rocks at the contacts of basic and ultrabasic intrusions with biotite gneisses (Vysoký Jeseník Mts., Czechoslovakia). – *Acta Universitatis Carolinae – Geologica, Hejtman Vol. No. 1,2, Pag. 123-139.*
- Pouba Z., Dvořák J., Kužvart M., Mísař Z., Musilová L., Prosová M., Röhlich P., Skácel J., Unzeitg M. (1962): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000, M – 33 – XVIII, Jeseník. – Ústřední ústav geologický v Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Rasmussen B., Fletcher I. R., Bekker A., Muhling J. R., Gregory C. J., Thorne A. M. (2012): Deposition of 1.88-billion-year-old iron formations as a consequence of rapid crustal growth. – *Nature*, 484, 498–501.

- Sellner F. (1930): Die Magnetitlagerstätten der tschecho-slowakischen Republik. III. Die Vorkommen im Altvatergebirge: a/Mönchsächte bei Winkelsdorf. – Ztschr. Prakt. Geol., 38(1930), Heft 7, 97–104.
- Skácel J. (1968): Oblastní surovinová studie Jeseníky. MS Geologický průzkum Ostrava.
- Souček J. (1978): Metamorphic zones of the Vrbno and Rejvíz series, the Hrubý Jeseník Mountains, Czechoslovakia. – Tschermaks mineralogische und petrographische Mitteilungen, 25(1978), No. 3, 195–217.
- Spurný F. (1974): Sobotínské železářny. – Vlastivědný ústav v Šumperku.
- Svoboda J., Beneš K., Dudek A., Holubec J., Chaloupský J., Kodým ml. O., Malkovský M., Odehnal L., Polák A., Pouba Z., Sattran V., Škvor V., Weiss J. (1964): Regionální geologie ČSSR, díl 1., Český masív, svazek 1, krystalinikum. – Ústřední ústav geologický v Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Warr L. N. (2021): IMA-CNMNC approved mineral symbols. – Mineralogical Magazine, 85, 291-320.
- Wu H., Niu X., Zhang L., Pirajno F., Luo H., Qin F., Cui M., Wang Ch., Qi M. (2015): Geology and geochemistry of the Macheng Algoma-type banded iron-formation, North China Craton: Constraints on mineralization events and genesis of high-grade iron ores. – Elsevier, Journal of Asian Earth Science, 113 (2015), 1179-1196.
- Zimák J. (2001): Mineralogie páskovaných magnetitových rud na ložisku „Pod Břidličnou“ u Vernířovic, Hrubý Jeseník. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 2000, 89–91.
- Zimák J. (2002a): Lokalita č. 17. Vernířovice - Jelení hřbet. Železné rudy typu BIF v desenských rulách. In Zimák J., Novotný P., Fojt B., Novák M., Vávra V., Kopa D., Losos Z., Prinzová E., Skácel J. (2002): Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách na Sobotínsku, 65–68. UP Olomouc.
- Zimák J. (2002b): Lokalita č. 18. Vernířovice - Pod Břidličnou. Železné rudy typu BIF v desenských rulách. In Zimák J., Novotný P., Fojt B., Novák M., Vávra V., Kopa D., Losos Z., Prinzová E., Skácel J. (2002): Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách na Sobotínsku, 69–71. UP Olomouc.
- Zimák J. (2008): Grossular v mineralizaci alpského typu na Sobotínsku. – Minerál, 16(2008), 4, 310–312.
- Zimák J., Kropáč K. (2006): Mineralogy of metamanganolites in BIF of the Desná Group. – Mineralogia Polonica, Special Papers, 28(2006), 245–247.
- Zimák J., Novotný P. (2009): Mineralogie metamanganolitu z lokality Mísečky u Vernířovic (Česká republika). – Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz., 17(2009), No. 1, 69–72.
- Zimák J., Novotný P., Fojt B., Novák M., Vávra V., Kopa D., Losos Z., Prinzová E., Skácel J. (2002): Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách na Sobotínsku. UP Olomouc.
- Zimák J., Reif J. (1991): Mineralogie manganem bohatého skarnu z Vernířovic. – Acta Univ. Palacki. Olomuc., Fac. Rer. Nat., Vol. 103, Geographica-Geologica 30, 1991, 43–62.
- Žáček V. (2000): Granátovec ze Smrčiny u Sobotína. – Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz., 8(2000), 259–260.

Žák L. (1973): Srovnání Mn-granátů z desenské klenby od Vernířovic a chvaletického ložiska v Železných horách. – Korelace proterozoických a paleozoických stratiformních ložisek (I), 31–34.

Internetové zdroje

Důlní díla a poddolování, In: důlní díla a poddolovaná území [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 10. 11. 2022].

Dostupné z: https://mapy.geology.cz/dulni_dila_poddolovani/

Geovědní mapa, In: Geovědní mapy 1:50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 10. 11. 2022].

Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>

Mapa lokalit, In: Mapy.cz [online]. [cit. 10. 11. 2022].

Dostupné z: <https://mapy.cz/turisticka?l=0&x=17.1667264&y=50.0359057&z=15>

Přílohy

Tab. I. Výsledky reprezentativních WDX analýz plagioklasu z lokality Kosáře-Špičák

lok.	KOS ŠP-23	KOS ŠP-III-3
anal.č.	15	4
datum	23.9.21	14.6.12
	WDX	WDX
SiO ₂	62,41	68,54
Al ₂ O ₃	23,64	19,94
FeO	0,10	0,06
CaO	5,61	0,44
SrO	0,11	b.d.
Na ₂ O	8,54	11,59
K ₂ O	b.d.	0,09
suma	100,41	100,66
apfu na 8 atomů kyslíku:		
Si ⁴⁺	2,759	2,978
Al ³⁺	1,232	1,021
Fe ²⁺	0,004	0,002
Ca ²⁺	0,266	0,020
Sr ²⁺	0,003	0
Na ⁺	0,732	0,976
K ⁺	0	0,005
O ²⁻	8,000	8,000

Tab. II. Výsledky reprezentativních WDX analýz plagioklasu z lokality Pod Břidličnou

lok.	PB-24	PB-24	PB-24	PB-19
anal.č.	19	20	21	25
datum	23.9.2021	23.9.2021	23.9.2021	15.3.2022
	WDX	WDX	WDX	WDX
SiO ₂	68,22	68,46	64,28	61,40
Al ₂ O ₃	19,54	19,24	17,79	23,54
FeO	0,13	b.d.	b.d.	0,14
CaO	0,49	0,21	0,94	5,64
Na ₂ O	10,94	11,41	0,14	8,30
K ₂ O	0,07	0,10	16,84	0,08
F	b.d.	b.d.	b.d.	0,07
Cl	b.d.	b.d.	b.d.	0,03
-O=F	0	0	0	0,03
-O=Cl	0	0	0	0,01
suma	99,39	99,42	99,99	99,16
apfu na 8 atomů kyslíku:				
Si ⁴⁺	2,994	3,005	2,992	2,749
Al ³⁺	1,011	0,995	0,976	1,242
Fe ²⁺	0,005	0	0	0,005
Ca ²⁺	0,023	0,010	0,047	0,271
Na ⁺	0,931	0,971	0,013	0,721
K ⁺	0,004	0,006	1,000	0,005
F ⁻	0	0	0	0,010
Cl ⁻	0	0	0	0,002
O ²⁻	8,000	8,000	8,000	7,988

Tab. III. Výsledky reprezentativních WDX analýz fylosilikátů z lokality Kosaře-Špičák

lok.	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP
	21	22	23	II-4	II-1	III-4	III-3	III-6	III-6
anal.č.	1	10	12	31	8	9	2	15	16
datum	23.9.21	23.9.21	23.9.21	23.9.21	19.12.11	14.6.12	14.6.12	14.6.12	14.6.12
	chl	chl	chl	chl	chl	chl	chl	bi	bi
	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX
SiO ₂	27,10	32,02	29,05	27,56	27,72	27,40	29,13	37,78	37,51
TiO ₂	b.d.	0,22	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	1,48	1,48
Al ₂ O ₃	21,37	16,95	17,15	16,79	21,93	20,59	16,67	15,74	16,09
FeO	16,95	20,79	20,97	24,42	16,94	18,51	22,32	14,91	15,08
MnO	0,54	1,03	1,01	1,48	0,40	0,80	1,37	0,48	0,45
NiO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,15	0,14	0,16	0,16
MgO	20,87	16,11	17,96	15,86	20,33	19,80	17,90	14,38	13,99
CaO	b.d.	0,39	0,13	b.d.	0,08	0,06	0,06	b.d.	b.d.
BaO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,16	0,17
Na ₂ O	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,21	b.d.
K ₂ O	0,01	0,78	0,03	0,04	0,12	0,02	0,10	9,14	9,46
F	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,41	0,40
Cl	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,04	b.d.
-O=F	0	0	0	0	0	0	0	0,17	0,17
-O=Cl	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0
suma	86,84	88,29	86,3	86,15	87,52	87,33	87,69	94,71	94,62
apfu na 14 atomů kyslíku:							apfu na 11 atomů kyslíku:		
Si ⁴⁺	2,755	3,260	3,041	2,965	2,788	2,799	3,033	2,845	2,832
Ti ⁴⁺	0	0,017	0	0	0	0	0	0,084	0,084
Al ³⁺	2,560	2,034	2,116	2,129	2,600	2,479	2,045	1,397	1,432
Fe ²⁺	1,441	1,770	1,836	2,197	1,425	1,581	1,943	0,939	0,952
Mn ²⁺	0,046	0,089	0,090	0,135	0,034	0,069	0,121	0,031	0,029
Ni ²⁺	0	0	0	0	0	0,012	0,012	0,010	0,010
Mg ²⁺	3,163	2,445	2,803	2,543	3,048	3,015	2,778	1,614	1,575
Ca ²⁺	0	0,043	0,015	0	0,009	0,007	0,007	0	0
Ba ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na ⁺	0	0	0	0	0	0	0	0,031	0
K ⁺	0,001	0,101	0,004	0,005	0,015	0,003	0,013	0,878	0,911
F ⁻	0	0	0	0	0	0	0	0,098	0,096
Cl ⁻	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0
O ²⁻	14	14	14	14	14	14	14	10,89	10,90

Tab. IV. Výsledky reprezentativních WDX analýz biotitu z lokality Pod Břidličnou

lok. anal.č. datum	PB-1 57/C 7.2.2006	PB-1 58/C 7.2.2006	PB-1 60/D 7.2.2006	PB-1 61/D 7.2.2006	PB-1 63/E 7.2.2006	PB-1 70/J 7.2.2006	PB-24 16 23.9.2021	PB-25 25 23.9.2021	PB-27 28 23.9.2021	PB-19 23 15.3.2022
	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX
SiO ₂	38,27	38,42	38,36	38,24	38,11	39,18	38,75	39,37	38,89	37,79
TiO ₂	1,44	1,44	1,13	1,57	1,45	1,56	1,96	1,43	1,23	1,69
Al ₂ O ₃	16,19	17,13	16,78	16,68	16,39	16,58	15,93	16,33	16,14	16,02
FeO	14,38	14,82	15,18	15,19	14,69	15,26	14,56	13,91	14,23	15,22
MnO	0,44	0,45	0,47	0,46	0,44	0,55	0,26	0,51	0,61	0,23
ZnO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,27	b.d.	b.d.
MgO	13,83	14,00	14,32	13,65	13,93	14,06	14,48	14,33	15,16	14,44
CaO	0,40	0,09	0,28	0,14	0,26	b.d.	b.d.	b.d.	0,09	b.d.
CuO	0,35	b.d.	0,42	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
BaO	0,14	0,14	0,09	0,14	0,10	0,13	0,12	0,11	0,11	0,12
Na ₂ O	0,08	0,13	0,08	0,07	0,11	0,06	b.d.	b.d.	b.d.	0,08
K ₂ O	6,99	9,34	8,46	8,91	8,12	9,09	9,69	9,62	9,35	9,69
F	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,36	0,43	0,76	0,39
Cl	0,03	0,03	0,02	b.d.	0,03	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
-O=F	0	0	0	0	0	0	0,15	0,18	0,32	0,16
-O=Cl	0,01	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0
suma	92,53	95,98	95,59	95,05	93,81	96,47	95,96	96,13	96,25	95,51
apfu na 11 atomů kyslíku:										
Si ⁴⁺	2,896	2,833	2,845	2,847	2,857	2,871	2,864	2,896	2,866	2,824
Ti ⁴⁺	0,082	0,080	0,063	0,088	0,082	0,086	0,109	0,079	0,068	0,095
Al ³⁺	1,444	1,489	1,467	1,464	1,465	1,432	1,388	1,415	1,402	1,411
Fe ²⁺	0,910	0,914	0,941	0,946	0,921	0,935	0,900	0,856	0,877	0,951
Mn ²⁺	0,028	0,028	0,030	0,029	0,028	0,034	0,016	0,032	0,038	0,015
Zn ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	0,015	0	0
Mg ²⁺	1,560	1,539	1,583	1,515	1,557	1,536	1,596	1,571	1,665	1,609
Ca ²⁺	0,032	0,007	0,022	0,011	0,021	0	0	0	0,007	0
Cu ²⁺	0,020	0	0,024	0	0	0	0	0	0	0
Ba ²⁺	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004
Na ⁺	0,012	0,019	0,012	0,010	0,016	0,009	0	0	0	0,012
K ⁺	0,675	0,879	0,800	0,846	0,777	0,850	0,914	0,903	0,879	0,924
F ⁻	0	0	0	0	0	0	0,084	0,100	0,177	0,092
Cl ⁻	0,004	0,004	0,003	0	0,004	0	0	0	0	0
O ²⁻	10,996	10,996	10,997	11	10,996	11	10,916	10,900	10,823	10,908

Tab. VI. Výsledky reprezentativních WDX analýz granátů z lokality Kosaře-Špičák

lok.	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP
anal.č.	II-5	II-5	II-5	II-5	II-5	III-3	III-4	III-6	III-6	III-7	III-5
datum	16	17	18	19	22	6	10	13-s	14-o	22	26
	11.11.0	11.11.0	11.11.0	11.11.0	11.11.0	14.6.12	14.6.12	14.6.12	14.6.12	14.6.12	14.6.12
	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX
SiO ₂	37,82	37,49	37,92	37,39	37,59	37,64	37,50	37,21	37,56	37,17	37,67
TiO ₂	0,09	0,04	b.d.	b.d.	0,13	b.d.	b.d.	0,17	b.d.	0,09	b.d.
Al ₂ O ₃	20,67	20,55	20,83	20,64	20,37	19,96	19,80	19,56	20,11	20,00	19,68
Fe ₂ O ₃	1,33	1,24	1,16	0,87	1,59	1,89	2,06	2,39	1,56	1,65	2,63
FeO	14,60	15,68	14,32	16,84	13,62	15,22	14,41	15,66	15,66	12,76	15,57
MnO	16,06	17,42	16,18	17,25	18,06	17,20	17,26	18,82	18,70	21,43	10,35
MgO	2,79	2,08	3,84	1,79	2,49	1,74	1,50	1,62	1,65	1,76	1,71
CaO	7,82	6,67	6,64	5,93	7,13	6,62	7,60	5,22	5,05	5,37	12,50
F	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,14	b.d.	b.d.	0,06
-O=F	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,06	b.d.	b.d.	0,03
suma	101,2	101,2	100,8	100,7	100,9	100,2	100,1	100,7	100,2	100,2	100,1
apfu na 12 atomů kyslíku:											
Si ⁴⁺	2,981	2,980	2,982	2,989	2,982	3,017	3,010	2,991	3,017	2,994	2,994
Ti ⁴⁺	0,005	0,002	0,001	0,002	0,008	0	0,001	0,010	0,001	0,005	0,001
Al ³⁺	1,920	1,925	1,931	1,945	1,904	1,885	1,874	1,853	1,904	1,899	1,843
Fe ³⁺	0,079	0,074	0,069	0,052	0,095	0,114	0,124	0,145	0,094	0,100	0,157
Fe ²⁺	0,963	1,043	0	1,126	0,903	1,020	0,967	1,053	1,052	0,860	1,035
Mn ²⁺	1,072	1,173	1,078	1,168	1,213	1,168	1,173	1,281	1,272	1,462	0,697
Mg ²⁺	0,328	0,246	0,450	0,213	0,294	0,208	0,179	0,194	0,198	0,211	0,203
Ca ²⁺	0,660	0,568	0,560	0,508	0,606	0,568	0,654	0,450	0,435	0,463	1,064
F ⁻	0	0	0	0	0	0	0	0,036	0	0	0,015
O ²⁻	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	11,99	11,96	11,99	11,99	11,98
Sps	35,5	38,7	35,6	38,7	40,2	39,4	39,5	43,0	43,0	48,8	23,2
Alm	31,8	34,4	31,1	37,3	29,9	34,4	32,5	35,4	35,6	28,7	34,5
Prp	10,8	8,1	14,9	7,1	9,8	7,0	6,0	6,5	6,7	7,1	6,8
Grs+Adr	21,8	18,7	18,5	16,8	20,1	19,2	22,0	15,1	14,7	15,5	35,5

Tab. VII. Výsledky reprezentativních WDX analýz granátů z lokality Pod Břidličnou

lok.	PB-1	PB-1	PB-1	PB-1	PB-1
anal.č.	56/B	67/H	68/I-s	69/I-o	72/J
datum	7.2.2006	7.2.2006	7.2.2006	7.2.2006	7.2.2006
	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX
SiO ₂	36,49	37,16	37,28	37,35	37,10
Al ₂ O ₃	20,23	20,12	19,94	20,24	20,33
Fe ₂ O ₃	0,92	1,69	2,04	1,69	1,27
FeO	16,06	12,86	11,79	13,76	10,92
MnO	18,93	22,59	21,35	20,85	23,57
MgO	1,30	1,93	1,71	1,70	2,30
CaO	5,52	4,98	7,11	6,20	5,02
suma	99,45	101,33	101,22	101,79	100,51
apfu na 12 atomů kyslíku:					
Si ⁴⁺	2,974	2,974	2,977	2,973	2,978
Al ³⁺	1,943	1,897	1,877	1,899	1,923
Fe ³⁺	0,056	0,102	0,122	0,101	0,077
Fe ²⁺	1,095	0,861	0,787	0,916	0,733
Mn ²⁺	1,307	1,531	1,444	1,406	1,602
Mg ²⁺	0,158	0,230	0,204	0,202	0,275
Ca ²⁺	0,482	0,427	0,608	0,529	0,275
O ²⁻	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Sps	43,0	50,2	47,5	46,1	52,7
Alm	36,0	28,2	25,9	30,0	24,1
Prp	5,2	7,6	6,7	6,6	9,0
Grs+Adr	15,8	14,0	20,0	17,3	14,2

Tab. VIII. Výsledky reprezentativních WDX analýz minerálů epidotové skupiny z lokality Kosaře-Špičák (2. část)

lok.	KOS ŠP-21	KOS ŠP-23	KOS ŠP-II-4	KOS ŠP-II-4	KOS ŠP-II-5	KOS ŠTII-1	KOS ŠP-III-3	KOS ŠP-III-3
anal.č.	6	11	32	33	26	7	3	4
datum	23.9.21	23.9.21	23.10.09	23.10.09	11.11.09	19.12.11	14.6.12	14.6.12
	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX
SiO ₂	37,21	37,26	32,51	37,58	37,52	35,48	34,87	37,67
ThO ₂	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,17	0,17	0,17	b.d.
Al ₂ O ₃	22,71	23,11	15,87	22,11	23,00	21,03	20,79	23,02
Y ₂ O ₃	b.d.	b.d.	0,35	0,15	b.d.	0,29	0,25	b.d.
La ₂ O ₃	b.d.	0,15	4,15	0,09	0,66	1,14	2,23	b.d.
Ce ₂ O ₃	b.d.	0,34	9,32	0,19	1,14	2,55	5,19	b.d.
Pr ₂ O ₃	b.d.	b.d.	0,98	b.d.	b.d.	0,37	0,75	b.d.
Nd ₂ O ₃	b.d.	b.d.	3,79	0,31	0,66	1,56	3,59	b.d.
Sm ₂ O ₃	b.d.	b.d.	0,63	b.d.	0,13	0,26	0,74	b.d.
Gd ₂ O ₃	b.d.	b.d.	0,34	b.d.	b.d.	b.d.	0,62	b.d.
Fe ₂ O ₃	14,24	13,83	16,69	16,72	13,49	12,96	12,28	14,55
MnO	1,32	0,59	1,41	0,49	0,81	0,29	1,32	0,80
ZnO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,05
MgO	0,08	b.d.	1,25	0,07	0,30	0,51	0,67	0,08
CaO	23,00	23,71	11,74	22,77	21,57	18,90	15,31	21,67
SrO	1,57	0,38	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Na ₂ O	b.d.	b.d.	0,16	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
K ₂ O	b.d.	b.d.	0	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02
F	b.d.	b.d.	0,16	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,10
-O=F	0	0	0,07	0	0	0	0	0,04
suma	100,13	99,25	99,28	100,52	99,47	95,52	98,79	97,92
apfu na 12,5 atomů kyslíku:								
Si ⁴⁺	3,312	3,297	3,733	3,375	3,351	3,427	3,486	3,361
Th ⁴⁺	0	0	0	0	0,003	0,004	0,004	0
Al ³⁺	2,382	2,410	2,148	2,340	2,421	2,394	2,450	2,421
Y ³⁺	0	0	0,021	0,007	0	0,015	0,013	0
La ³⁺	0	0,005	0,176	0,003	0,022	0,041	0,082	0
Ce ³⁺	0	0,011	0,392	0,006	0,037	0,090	0,190	0
Pr ³⁺	0	0	0,041	0	0	0,013	0,027	0
Nd ³⁺	0	0	0,155	0,010	0,021	0,054	0,128	0
Sm ³⁺	0	0	0,025	0	0,004	0,009	0,025	0
Gd ³⁺	0	0	0,013	0	0	0	0,021	0
Fe ³⁺	0,954	0,913	1,442	1,130	0,907	0,942	0,924	0,977
Mn ²⁺	0,100	0,044	0,137	0,037	0,061	0,024	0,112	0,060
Zn ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	0,003
Mg ²⁺	0,011	0	0,214	0,009	0,040	0,073	0,100	0,011
Ca ²⁺	2,193	2,248	1,444	2,191	2,064	1,956	1,640	2,072
Sr ²⁺	0,081	0,019	0	0	0	0	0	0
Na ⁺	0	0	0,036	0	0	0	0	0
K ⁺	0	0	0	0,005	0,002	0,001	0,001	0,002
F ⁻	0	0	0,058	0	0	0	0	0,028
O ²⁻	12,500	12,500	12,442	12,500	12,500	12,500	12,500	12,472

Tab. IX. Výsledky reprezentativních WDX analýz minerálů epidotové skupiny z lokality Pod Břidličnou

lok. anal.č. datum	PB-1 55/A 7.2.2006	PB-7 66/G 7.2.2006	PB-19 26 15.3.2022	PB-19 28 15.3.2022
	WDX	WDX	WDX	WDX
SiO ₂	32,16	37,54	35,05	29,31
TiO ₂	0,12	0,05	b.d.	0,10
ThO ₂	b.d.	b.d.	0,42	0,48
Al ₂ O ₃	16,36	22,71	20,34	16,26
Sc ₂ O ₃	0,18	b.d.	0,18	b.d.
Y ₂ O ₃	0,32	b.d.	b.d.	0,43
La ₂ O ₃	3,84	b.d.	1,31	1,62
Ce ₂ O ₃	7,74	b.d.	3,08	5,40
Pr ₂ O ₃	0,97	b.d.	b.d.	0,58
Nd ₂ O ₃	3,59	b.d.	1,43	3,11
Sm ₂ O ₃	0,82	b.d.	b.d.	0,64
Gd ₂ O ₃	0,64	b.d.	b.d.	b.d.
Fe ₂ O ₃	15,02	14,09	13,50	28,86
MnO	1,33	0,81	0,45	0,59
MgO	0,17	b.d.	0,16	0,16
CaO	12,32	22,21	20,12	8,86
BaO	b.d.	0,06	b.d.	b.d.
Na ₂ O	0,36	b.d.	b.d.	b.d.
K ₂ O	0,14	b.d.	b.d.	b.d.
F	0,16	b.d.	0,19	0,19
-O=F	0,07	0	0,08	0,08
suma	96,17	97,47	96,15	96,51
apfu na 12,5 atomů kyslíku:				
Si ⁴⁺	3,707	3,356	3,417	3,748
Ti ⁴⁺	0,010	0,003	0	0,010
Th ⁴⁺	0	0	0,009	0,014
Al ³⁺	2,223	2,393	2,337	2,451
Sc ³⁺	0,018	0	0,015	0
Y ³⁺	0,020	0	0	0,029
La ³⁺	0,163	0	0,047	0,076
Ce ³⁺	0,327	0	0,110	0,253
Pr ³⁺	0,041	0	0	0,027
Nd ³⁺	0,148	0	0,050	0,142
Sm ³⁺	0,033	0	0	0,028
Gd ³⁺	0,024	0	0	0
Fe ³⁺	1,303	0,948	0,990	2,777
Mn ²⁺	0,130	0,061	0,037	0,064
Mg ²⁺	0,029	0	0,023	0,031
Ca ²⁺	1,522	2,128	2,101	1,214
Ba ²⁺	0	0,002	0	0
Na ⁺	0,080	0	0	0
K ⁺	0,021	0	0	0
F ⁻	0,058	0	0,059	0,077
O ²⁻	12,442	12,500	12,441	12,423

Tab. X. Výsledky reprezentativních WDX analýz amfibolu z lokality Kosare-Špičák (1. část)

lok.	KOS	KOS	KOS	KOS	KOS	KOS	KOS	KOS
anal.č.	ŠP-8	ŠP-8	ŠP-21	ŠP-21	ŠP-21	ŠP-22	ŠP-22	ŠP-23
datum			23.9.21	23.9.21	23.9.21	23.9.21	23.9.21	23.9.21
	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX
SiO ₂	44,30	44,22	47,72	49,19	46,50	49,07	45,84	48,55
TiO ₂	0,40	0,45	0,28	0,26	0,29	0,15	0,36	0,16
Al ₂ O ₃	11,52	11,65	9,89	8,13	11,49	7,68	11,57	8,94
FeO	15,74	15,08	13,70	14,52	14,62	13,60	15,22	13,62
MnO	0,81	0,75	0,88	1,46	0,90	0,89	0,74	1,33
ZnO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,24	b.d.	b.d.	b.d.
MgO	11,15	11,26	13,29	13,76	11,87	13,50	11,07	13,36
CaO	11,77	11,48	11,37	9,75	11,74	12,15	11,74	11,33
Na ₂ O	1,43	1,51	1,17	1,00	1,13	0,77	1,18	1,08
K ₂ O	0,21	0,19	0,11	0,08	0,16	0,11	0,15	0,10
F	0,14	0,12	0,13	0,10	0,12	0,15	0,16	0,12
-O=F	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,07	0,05
suma	87,41	96,66	98,49	98,21	99,01	98,01	97,96	98,54
apfu na 23 atomů kyslíku:								
Si ⁴⁺	7,465	6,620	6,914	7,138	6,752	7,142	6,743	7,031
Ti ⁴⁺	0,051	0,051	0,031	0,028	0,032	0,016	0,040	0,017
Al ³⁺	0,302	2,056	1,689	1,390	1,966	1,317	2,006	1,526
Fe ²⁺	2,218	1,888	1,660	1,762	1,775	1,655	1,872	1,649
Mn ²⁺	0,116	0,095	0,108	0,179	0,111	0,110	0,092	0,163
Zn ²⁺	0	0	0	0	0,026	0	0	0
Mg ²⁺	2,801	2,513	2,871	2,977	2,570	2,929	2,428	2,884
Ca ²⁺	2,125	1,841	1,765	1,516	1,827	1,895	1,850	1,758
Na ⁺	0,467	0,438	0,329	0,281	0,318	0,217	0,337	0,303
K ⁺	0,045	0,036	0,020	0,015	0,030	0,020	0,028	0,018
F ⁻	0,075	0,057	0,060	0,046	0,055	0,069	0,074	0,055
O ²⁻	22,925	22,943	22,940	22,954	22,945	22,931	22,926	22,945

Tab. X. Výsledky reprezentativních WDX analýz amfibolu z lokality Kosare-Špičák (2. část)

lok.	KOS	KOS	KOS	KOS	KOS	KOS	KOS	KOS
anal.č.	ŠP-II-2	ŠP-II-2	ŠP-II-2	ŠP-II-2	ŠP-II-4	ŠP-II-4	ŠP-II-5	ŠP-II-5
datum	23	24	27	30	26	28	20	23
					23.10.09	23.10.09	11.11.09	11.11.09
	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX
SiO ₂	45,31	44,07	43,94	44,71	43,32	44,25	47,58	46,02
TiO ₂	0,24	0,32	0,45	0,18	0,57	0,52	0,31	0,17
Al ₂ O ₃	11,53	12,82	12,55	12,44	13,31	12,62	8,45	9,95
FeO	14,35	15,40	14,91	15,18	16,16	15,67	13,86	15,61
MnO	0,72	0,80	0,82	0,79	0,76	0,79	1,09	1,08
MgO	12,07	10,94	11,12	11,12	10,16	10,55	12,92	12,01
CaO	11,85	11,45	11,81	11,89	11,93	11,70	11,82	11,54
Na ₂ O	1,07	1,21	1,25	1,18	1,35	1,34	0,99	1,25
K ₂ O	0,17	0,21	0,25	0,22	0,28	0,22	0,19	0,20
F	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	0,16	0,16
-O=F	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,07	0,07
suma	97,39	97,30	97,18	97,78	97,92	97,74	97,30	97,92
apfu na 23 atomů kyslíku:								
Si ⁴⁺	6,688	6,551	6,541	6,606	6,445	6,563	7,011	6,808
Ti ⁴⁺	0,027	0,036	0,050	0,020	0,064	0,058	0,034	0,019
Al ³⁺	2,006	2,246	2,202	2,167	2,334	2,206	1,468	1,735
Fe ²⁺	1,772	1,914	1,856	1,876	2,011	1,944	1,708	1,931
Mn ²⁺	0,090	0,101	0,103	0,099	0,096	0,099	0,136	0,135
Mg ²⁺	2,656	2,424	2,468	2,450	2,253	2,333	2,838	2,649
Ca ²⁺	1,874	1,824	1,884	1,883	1,902	1,859	1,866	1,829
Na ⁺	0,306	0,349	0,361	0,338	0,389	0,385	0,283	0,359
K ⁺	0,032	0,040	0,047	0,041	0,053	0,042	0,036	0,038
F ⁻	0,065	0,066	0,066	0,065	0,061	0,066	0,075	0,075
O ²⁻	22,935	22,934	22,934	22,935	22,939	22,934	22,925	22,925

Tab. X. Výsledky reprezentativních WDX analýz amfibolu z lokality Kosaře-Špičák (3. část)

lok.	KOS	KOS	KOS	KOS	KOS	KOS	KOS
	ŠP-II-1	ŠP-III-3	ŠP-III-4	ŠP-IV-1	ŠP-III-6	ŠP-III-7	ŠP-III-5
anal.č.	2	1	8	11	12	23	27
datum	19.12.11	14.6.12	14.6.12	14.6.12	14.6.12	14.6.12	14.6.12
	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX
SiO ₂	45,69	44,44	43,81	45,76	43,61	53,83	51,46
TiO ₂	0,39	0,37	0,27	0,17	0,30	0,08	0,09
Al ₂ O ₃	11,81	12,40	12,51	10,57	13,18	3,12	4,70
FeO	15,57	15,87	16,46	15,72	16,14	11,88	14,42
MnO	0,50	0,85	0,93	0,39	0,78	1,14	0,98
MgO	11,48	10,98	10,31	10,91	10,54	16,17	14,51
CaO	11,57	11,37	11,40	11,53	11,54	11,90	11,81
Na ₂ O	1,34	1,40	1,34	0,94	1,37	0,33	0,51
K ₂ O	0,21	0,22	0,25	0,24	0,30	0,05	0,16
F	0,17	0,23	0,13	0,09	0,20	0,17	0,16
-O=F	0,07	0,10	0,05	0,04	0,08	0,07	0,07
suma	98,66	98,03	97,36	96,28	97,88	98,60	98,73
apfu na 23 atomů kyslíku:							
Si ⁴⁺	6,684	6,577	6,554	6,851	6,483	7,671	7,438
Ti ⁴⁺	0,043	0,041	0,030	0,019	0,034	0,009	0,010
Al ³⁺	2,036	2,163	2,206	1,865	2,309	0,524	0,801
Fe ²⁺	1,905	1,964	2,059	1,968	2,006	1,416	1,743
Mn ²⁺	0,062	0,107	0,118	0,049	0,098	0,138	0,120
Mg ²⁺	2,503	2,423	2,299	2,435	2,336	3,435	3,126
Ca ²⁺	1,813	1,803	1,827	1,850	1,838	1,817	1,829
Na ⁺	0,380	0,402	0,389	0,273	0,395	0,091	0,143
K ⁺	0,039	0,042	0,048	0,046	0,057	0,009	0,030
F ⁻	0,079	0,108	0,062	0,043	0,094	0,077	0,073
O ²⁻	22,921	22,892	22,938	22,957	22,906	22,923	22,927

Tab. XI. Výsledky reprezentativních WDX analýz amfibolu z lokality Pod Břidličnou

lok.	PB-41	PB-41	PB-41	PB-41	PB-41
anal.č.	73/C-s	74/C-o	75/D	76/B	78A
datum	28.2.2007	28.2.2007	28.2.2007	28.2.2007	28.2.2007
	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX
SiO ₂	55,71	50,74	56,84	55,98	56,34
TiO ₂	b.d.	0,22	b.d.	b.d.	b.d.
Al ₂ O ₃	1,41	6,78	0,68	1,83	1,47
FeO	8,57	10,01	6,21	6,23	4,94
MnO	0,16	0,17	0,15	0,16	0,14
MgO	19,18	16,37	20,40	19,79	20,57
CaO	12,40	12,49	12,80	12,71	12,78
Na ₂ O	0,35	0,71	0,32	0,50	0,41
K ₂ O	0,05	0,12	b.d.	0,07	0,07
suma	97,83	97,61	97,40	97,27	96,72
apfu na 23 atomů kyslíku:					
Si ⁴⁺	7,839	7,255	7,941	7,842	7,886
Ti ⁴⁺	0	0,024	0	0	0
Al ³⁺	0,234	1,143	0,112	0,302	0,242
Fe ²⁺	1,008	1,197	0,726	0,730	0,578
Mn ²⁺	0,019	0,021	0,018	0,019	0,017
Mg ²⁺	4,023	3,489	4,249	4,133	4,292
Ca ²⁺	1,869	1,913	1,916	1,908	1,916
Na ⁺	0,095	0,197	0,087	0,136	0,111
K ⁺	0,009	0,022	0	0,013	0,012
O ²⁻	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000

Tab. XII. Výsledky reprezentativních WDX analýz apatitu z lokality Kosare-Špičák

lok.	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP	KOS ŠP
anal.č.	8	8	21	II-2	II-4	II-4	II-1	II-1	III-3	III-4	III-2
datum	15	19	7	22	29	30	1	10	5	7	25
			23.9.21		23.10.0	23.10.0	19.12.1	19.12.1	14.6.12	14.6.12	14.6.12
	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX
P ₂ O ₅	40,47	40,09	41,89	41,23	41,55	41,12	41,07	42,38	41,42	41,96	42,28
Y ₂ O ₃	b.d.	b.d.	0,11	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
FeO	b.d.	b.d.	b.d.	0,13	b.d.	0,08	b.d.	b.d.	0,08	b.d.	0,08
MnO	0,10	0,09	0,12	0,11	0,09	0,14	b.d.	0,14	0,10	0,16	b.d.
CaO	55,45	55,20	55,97	55,80	56,87	56,38	56,23	54,97	55,39	55,74	55,96
SrO	b.d.	0,11	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,08	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Na ₂ O	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,08	b.d.	b.d.	b.d.
F	2,41	2,58	2,91	2,60	2,68	2,71	2,66	2,43	3,24	3,52	3,42
Cl	0,03	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
O=F	-1,01	-1,08	-1,22	-1,09	-1,13	-1,14	-1,12	-1,02	-1,36	-1,48	-1,44
O=Cl	-0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
suma	97,44	96,99	99,78	98,78	100,0	99,29	98,92	98,98	98,87	99,90	100,3
apfu na 12,5 atomů kyslíku:											
P ⁵⁺	7,199	7,164	7,380	7,274	7,207	7,182	7,214	7,590	7,367	7,419	7,454
Y ³⁺	0	0	0,012	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ²⁺	0	0	0	0,023	0	0,014	0	0	0,014	0	0,014
Mn ²⁺	0,018	0,016	0,021	0,019	0,016	0,024	0	0,025	0,018	0,028	0
Ca ²⁺	12,48	12,48	12,47	12,45	12,48	12,46	12,50	12,45	12,46	12,47	12,48
Sr ²⁺	0	0,013	0	0	0	0	0,010	0	0	0	0
Na ⁺	0	0	0	0	0	0	0	0,033	0	0	0
F ⁻	1,601	1,722	1,915	1,713	1,737	1,768	1,745	1,626	2,153	2,325	2,253
Cl ⁻	0,011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O ²⁻	10,88	10,77	10,58	10,78	10,76	10,73	10,75	10,87	10,34	10,17	10,24

Tab. XIII. Výsledky reprezentativních WDX analýz apatitu z lokality Pod Břidličnou

lok.	PB-1	PB-1	PB-1	PB-7	PB-41	PB-24	PB-25
anal.č.	59/C	62/E	64/F	73/K	72/F	22	23
datum	7.2.2006	7.2.2006	7.2.2006	7.2.2006	28.2.2007	23.9.2021	23.9.2021
	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX	WDX
P ₂ O ₅	42,76	42,13	42,63	42,03	41,35	41,92	42,02
SiO ₂	b.d.	b.d.	b.d.	0,06	b.d.	0,09	b.d.
FeO	0,14	b.d.	b.d.	b.d.	0,28	b.d.	0,17
MnO	0,12	0,20	0,13	0,13	b.d.	b.d.	b.d.
CaO	56,43	55,58	56,03	56,19	56,92	55,53	55,26
SrO	0,07	0,06	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
F	2,69	3,02	2,80	3,08	3,31	3,23	3,75
Cl	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,05	b.d.
-O=F	1,13	1,27	1,18	1,29	1,40	1,36	1,58
-O=Cl	0	0	0	0	0	0,01	0
suma	101,08	99,72	100,41	100,20	100,46	99,45	99,62
apfu na 12,5 atomů kyslíku:							
P ⁵⁺	7,458	7,466	7,501	7,360	7,148	7,434	7,493
Si ⁴⁺	0	0	0	0,012	0	0,019	0
Fe ²⁺	0,024	0	0	0	0,048	0	0,030
Mn ²⁺	0,021	0,035	0,023	0,023	0	0	0
Ca ²⁺	12,455	12,465	12,477	12,452	12,452	12,462	12,470
Sr ²⁺	0,008	0,007	0	0	0	0	0
F ⁻	1,753	1,999	1,841	2,015	2,137	2,140	2,498
Cl ⁻	0	0	0	0	0	0,018	0
O ²⁻	10,747	10,501	10,659	10,485	10,363	10,342	10,002

Tab. XV. Výsledky reprezentativních WDX analýz magnetitu z lokality Pod Břidličnou

lok.	PB-24	PB-25	PB-27	PB-19
anal.č.	17	24	29	22
datum	23.9.2021	23.9.2021	23.9.2021	15.3.2022
	WDX	WDX	WDX	WDX
SiO ₂	0,06	b.d.	0,06	0,11
TiO ₂	0,04	0,05	0,03	0,12
Al ₂ O ₃	0,05	0,06	0,06	0,14
Fe ₂ O ₃	69,78	70,00	69,78	67,82
FeO	31,65	31,55	31,47	30,84
MnO	b.d.	0,07	0,18	0,09
CoO	b.d.	b.d.	b.d.	0,17
suma	94,60	94,73	94,60	92,51
apfu na 4 atomů kyslíku a sumu kationtů 3:				
Si ⁴⁺	0,002	0	0,002	0,004
Ti ⁴⁺	0,001	0,001	0,001	0,003
Al ³⁺	0,002	0,003	0,003	0,006
Fe ³⁺	1,991	1,995	1,991	1,978
Fe ²⁺	1,003	0,999	0,998	1,000
Mn ²⁺	0	0,002	0,006	0,003
Co ²⁺	0	0	0	0,005
catsum	3,000	3,000	3,000	3,000
O ²⁻	4,000	4,000	4,000	4,000

Tab. XVI. Výsledky reprezentativních WDX analýz ilmenitu a titanitu z lokality Kosaře-Špičák (část 2.)

lok.	KOS
	ŠP-III-7
anal.č.	21
datum	14.6.12
	WDX
Nb ₂ O ₃	0,88
SiO ₂	28,33
TiO ₂	37,63
Al ₂ O ₃	1,41
Dy ₂ O ₃	0,44
FeO	2,75
CaO	26,02
F	0,24
-O=F	0,10
suma	97,60
apfu na 5 atomů kyslíku:	
Nb ³⁺	0,021
Si ⁴⁺	0,971
Ti ⁴⁺	0,970
Al ³⁺	0,057
Dy ³⁺	0,005
Fe ²⁺	0,079
Ca ²⁺	0,955
F ⁻	0,026
O ²⁻	4,974

Tab. XVII. Výsledky reprezentativních WDX analýz ilmenitu a titanitu z lokality Pod Břidličnou

lok.	PB-7	PB-7	PB-19	PB-41
anal.č.	76/K	77/M	27	71/F
datum	7.2.2006	7.2.2006	15.3.2022	28.2.2007
	ilm	ilm	ilm	ti
	WDX	WDX	WDX	WDX
Nb ₂ O ₅	0,19	0,16	b.d.	b.d.
Ta ₂ O ₅	0,04	b.d.	b.d.	0,20
SiO ₂	0,06	0,05	0,23	30,22
TiO ₂	50,26	50,61	47,53	37,98
Al ₂ O ₃	b.d.	b.d.	0,34	1,26
Cr ₂ O ₃	b.d.	b.d.	0,04	b.d.
FeO	21,20	21,62	34,00	0,40
MnO	27,64	27,65	14,59	b.d.
MgO	b.d.	b.d.	0,11	b.d.
CaO	0,05	b.d.	0,12	28,98
K ₂ O	b.d.	b.d.	0,09	b.d.
suma	99,44	100,09	97,05	99,04
apfu na 3 atomy kyslíku:			apfu na 5 atomů kyslíku:	
Nb ⁵⁺	0,003	0,003	0	0
Ta ⁵⁺	0	0	0	0,002
Si ⁴⁺	0,002	0,001	0,006	1,000
Ti ⁴⁺	0,970	0,970	0,943	0,945
Al ³⁺	0	0	0,011	0,049
Cr ³⁺	0	0	0,001	0
Fe ²⁺	0,455	0,461	0,750	0,011
Mn ²⁺	0,601	0,597	0,326	0
Mg ²⁺	0	0	0,004	0
Ca ²⁺	0,001	0	0,003	1,027
K ⁺	0	0	0,003	0
Suma	2,032	2,032	2,047	3,034
O ²⁻	3,000	3,000	3,000	5,000

Tab. XVIII. Výsledky reprezentativních WDX analýz kalcitu z lokality Pod Břidličnou

lok.	PB-41	PB-24	PB-27
anal.č.	77/B	18	27
datum	28.2.2007	23.9.2021	23.9.2021
	WDX	WDX	WDX
FeO	0,64	b.d.	1,29
MnO	0,43	0,87	2,87
MgO	1,40	0,02	1,30
CaO	54,73	56,30	51,47
suma	57,20	57,17	56,93
apfu na 3 atomy kyslíku:			
Fe ²⁺	0,026	0	0,053
Mn ²⁺	0,018	0,036	0,120
Mg ²⁺	0,102	0	0,096
Ca ²⁺	2,855	2,964	2,730
O ²⁻	3,000	3,000	3,000