

# Mineralogie sulfidických rud z Měděné štoly ve zlatohorském rudním revíru

Mineralogy of sulfide ores from the Měděná Adit in the Zlaté Hory Ore District

STANISLAV STANĚK<sup>1</sup> – JIŘÍ ZIMÁK<sup>2</sup>

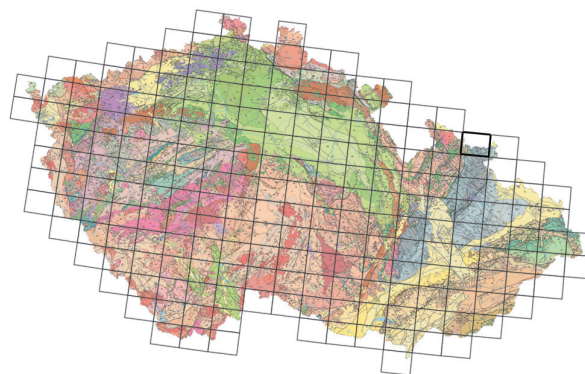
<sup>1</sup> Posidonía, a. s., Na Sídlišti 820, 793 76 Zlaté Hory v Jeseníkách

<sup>2</sup> Katedra biologie, Pedagogická fakulta, Univerzita Palackého, Purkrabská 2, 771 46 Olomouc; jiri.zimak@upol.cz

Please cite this article as: Staněk, S. – Zimák, J. (2023): Mineralogy of sulfide ores from the Měděná Adit in the Zlaté Hory Ore District. – Geoscience Research Reports, 2023, 56, 1, 47–58. (in Czech)

**Key words:** Silesicum, Vrbno Group, VHM deposits, sulphides, barian micas, carbonates

**Summary:** Until 1993, sulfide ores of copper, lead and zinc, as well as native gold were mined in the Zlaté Hory ore district in the Jeseníky Mountains. These deposits occur in the Devonian volcano-sedimentary complex of the Vrbno Group, which consists of quartzites, phyllites, limestones and metamorphic igneous rocks of intrusive and extrusive nature. The main ore bodies are located in a quartzite horizon containing lenses of felsic metavolcanic rocks or in the underlying and overlying rocks (mainly phyllites). Sulfide mineralization of the Měděná Adit in the Zlaté Hory ore district concentrated in greenschists containing three mineral assemblages: i) chlorite + quartz + albite + barian feldspar + siderite + dolomite (ankerite) ± ilmenite, ii) chlorite + phlogopite + quartz + albite + siderite + dolomite (ankerite) ± magnetite ± ilmenite, iii) chlorite + muscovite + quartz + albite + ilmenite ± siderite ± magnetite. Micas have elevated barium contents (2.2 to 5.5 wt. % BaO in phlogopite, 2.6 to 4.6 wt. % BaO in muscovite) and represent the dominant carrier of this element in the rock. In the case that mica is absent in the rock, barium is bound in barian feldspar. When content of quartz



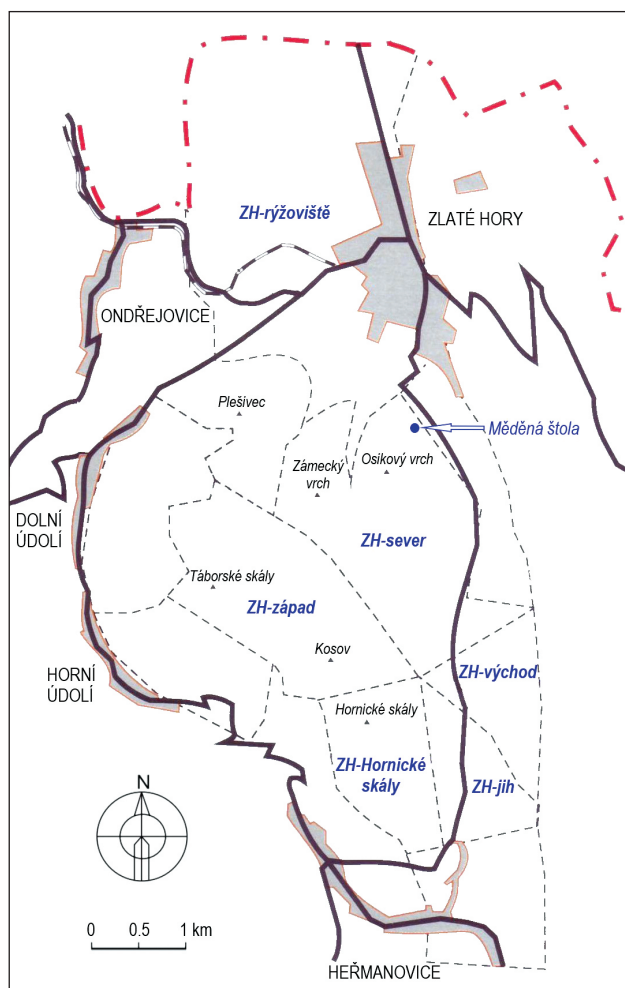
(15-11 Zlaté Hory)

in these greenschists is high, they pass into quartzite. Three types of sulfide ore were found in the Měděná Adit: A) banded copper ore in biotite-chlorite greenschist, which is formed dominantly by disseminated pyrite and pyrrhotite, accompanied by a small amount of chalcopyrite (the ore contains approx. 0.7 wt.% Cu), B) disseminated copper mineralization in quartz-rich bands or quartzite intercalations in chlorite greenschist, consisting mainly of pyrrhotite, less voluminous pyrite, and small amounts of chalcopyrite and galena (the ore contains approx. 0.3 wt.% Cu, the lead content is highly variable, up to 0.15 wt.% Pb), C) vein-like copper ore in greenschist with chalcopyrite dominating over pyrrhotite and pyrite (the ore has a very high copper content, 13.6 and 24.7 wt.% Cu in two analyzed samples). With its mineral composition, structural features and the character of the ore-bearing rocks, disseminated copper mineralization is similar to the Cyprus-type ores (so-called Cu-pyrite ores). The vein copper mineralization is probably a result of copper remobilization during regional metamorphism.

Měděná štola (dříve štola Fanny, někdy též Měděný důl) je jedním ze starých důlních děl zlatohorského rudního revíru. Z ložiskověgeologického hlediska je zlatohorský rudní revír dělen na několik dílčích úseků („ložisek“), z nichž jsou v novodobé historii nejvýznamnější ZH-západ, ZH-jih, ZH-východ a ZH-Hornické skály (jejich charakteristiku uvádí například Fojt a Večeřa 2000, Fojt et al. 2001). Měděná štola je součástí dílčího úseku ZH-sever (obr. 1). Nejvýznamnější rudní akumulací v prostoru ZH-sever je ložisko Marie Pomocná, tvořené křemennými žilami se zlatem, v jejichž okolí je v horninách přítomna sulfidická mineralizace (pyrhotin, chalkopyrit a pyrit), provázená ryzím zlatem (Večeřa – Večeřová 2010). Ústí Měděné štoly je cca 550 m sv. od kóty Osikový vrch (656,4 m); GPS-souřadnice ústí štoly: N50°14,533', E017°23,823'. V registru starých důlních děl spravovaném Českou geologickou službou jde

o objekt ID 10481. Štola pochází zřejmě z 2. poloviny 19. století, založena byla ve starším důlním poli ze 14.–17. století. Celková délka štoly a na ni navazujících chodeb je cca 160 m. Těženy zde byly sulfidické rudy, využívané jako surovina pro výrobu vitriolu (Večeřa 1991, Novotný – Zimák 2003, Morávek et al. 2017). Měděná štola je kulturní památkou (rejst. č. ÚSKP 12900/8-3839, od roku 1994). Díky tomu byl například v roce 2021 vybudován její nový portál (obr. 2).

K petrografickým a mineralogickým poměrům Měděné štoly dosud existovalo jen minimum informací. Článek přináší podrobnou mineralogickou charakteristiku tří typů sulfidické mineralizace, které byly rozlišeny v materiálu odebraném v Měděné štolě, a jsou v něm uvedeny i nejzákladnější údaje o povaze horninového prostředí, na něž je rudní mineralizace vázána.



Obr. 1. Hlavní úseky zlatohorského rudního revíru (podle Fojta a Večeří 2000, Večeří a Večeřové 2010).

Fig. 1. The main parts of the Zlaté Hory ore district (after Fojt and Večeřa 2000, Večeřa and Večeřová 2010).



Obr. 2. Portál Měděné štoly. Fotografie z června 2022.

Fig. 2. Entrance to the Měděná Adit. Photo taken in June 2022.

## Vzorky a metody

Odběr vzorků byl proveden v roce 2004, a to zejména z haldy u ústí Měděné štoly a částečně i z důlního díla,

tj. nově vybudované rozrážky mezi východním a západním překopem.

Z reprezentativních rudních vzorků byly zhotoveny leštěné výbrusy. Ty byly studovány pomocí standardního polarizačního mikroskopu Olympus BX-50 v procházejícím světle v obou běžných režimech, tedy bez analyzátoru (PPL) a při zkřížených nikolech (XPL), a také v odraženém světle. K provádění fotodokumentace byl tento mikroskop doplněn digitálním fotoaparátem Olympus E-450 a počítačem vybaveným programem QuickPHOTO CAMERA 2.3.

Chemismus vybraných minerálů byl studován pomocí vlnově disperzní analýzy (WDX) na elektronové mikrosondě Cameca SX100 na pracovišti PEMM PřF MU Brno (analytici Mgr. Petr Gadas, Ph.D., a Mgr. Jakub Haifler, Ph.D.) a současně byly pořízeny snímky ve zpětně odražených elektronech (BSE snímky). WDX analýzy silikátů byly provedeny za těchto podmínek: průměr svazku 5  $\mu\text{m}$ , 15 keV, 10 nA; použité standardy: albit (Na), almandin (Si, Al, Fe), sanidin (K), wollastonit (Ca),  $\text{Mn}_2\text{SiO}_4$  (Mn) topaz (F), vanadinit (Cl), fluorapatit (P), anatas Hardangervida (Ti), baryt (Ba),  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  (Mg),  $\text{SrSO}_4$  (Sr),  $\text{ScVO}_4$  (V), chromit (Cr), Ni (Ni) a gahnit (Zn). Podmínky WDX analýz karbonátů: průměr svazku 7  $\mu\text{m}$ , 15 keV, 10 nA; použité standardy: albit (Na),  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  (Mg), baryt (Ba), fluorapatit (Ca), sanidin (K), almandin (Fe), spessartin (Mn), topaz (F),  $\text{Ni}_2\text{SiO}_4$  (Ni), gahnit (Zn) a  $\text{SrSO}_4$  (Sr). Podmínky WDX analýz sulfidů: průměr svazku pod 1  $\mu\text{m}$ , 25 keV, 20 nA; použité standardy pro pyrit, pyrhotin, chalkopyrit a sfalerit: ZnS (Zn),  $\text{FeS}_2$  (Fe, S), Mn (Mn), chalkopyrit (Cu), pararammelsbergit (Ni, As), Co (Co), PbSe (Se, Pb), Ag (Ag), Sb (Sb), Bi (Bi), Cd (Cd), Sn (Sn), InAs (In) a Mo (Mo); použité standardy pro galenit: chalkopyrit (Cu, Fe, S), PbSe (Se, Pb), pararammelsbergit (As), Ag (Ag), Bi (Bi) a Sb (Sb). Přepočtení výsledků WDX analýz byl proveden postupy běžně užívanými v mineralogii (např. Broska et al. 2012), s využitím programu Excel. Zkratky minerálů uvedené v tabulkách a obrázcích jsou v souladu s doporučením IMA (Warr 2021).

Údaje o chemismu rudních vzorků byly získány pomocí XRF analyzátoru DELTA-PREMIUM v laboratořích firmy URGA, s. r. o. Analýzy byly provedeny na preparátech připravených vždy z reprezentativního vzorku o hmotnosti cca 80 až 120 g, jenž byl po vysušení (60 °C) rozemlet ve vibračním mlýnu na analytickou jemnost. Takto připravený analyt byl umístěn do středu kruhové podložky (folie) z polyetylenu a pomocí válečku o průměru cca 25 mm byl stlačen do tablety, která byla i s podložkou přemístěna na měřicí okénko přístroje umístěného ve stativu. Měření byla provedena v režimu GEOCHEM, délka analýzy byla vždy 40 s.

## Makroskopická a mikroskopická charakteristika rudní mineralizace a horninového prostředí

Sulfidická mineralizace zastižená v Měděné štole je vázána na tmavě šedé až šedočerné, často nazelenalé horniny, které mají výraznou břidličnatost, na foliačních plochách



jsou hedvábně lesklé, místy jsou foliační plochy detailně provrásněné. Při makroskopickém hodnocení tyto horniny silně připomínají fylit. Na rozdíl od typických fylitů však mají velmi vysoký podíl chloritu, spíše výjimečně lze na foliačních plochách rozlišit drobné šupinky muskovitu (sericit). Často mají páskovanou texturu, projevující se střídáním tmavých fylosilikátových pásků (dominantně chloritových) s obvykle méně mocnými světlejšími pásy s podstatným zastoupením křemene. Mocnost křemenem bohatých pásků je zpravidla do 3 mm, avšak místy mají mocnost v řádu cm až dm, a lze je tedy považovat za vložky kvarcitu, v důlním díle sledovatelné na vzdálenost několika metrů.

Geologové působící ve zlatohorském revíru často pro pojmenování hornin vrbenské skupiny používají specifickou klasifikaci, navrženou pro tento prostor Fediukem et al. (1972). Ve smyslu této klasifikace jsou všechny horniny fylitické povahy označovány jako „břidlice“, je-li však dominantním fylosilikátem chlorit, pak je hornina zařazena mezi „zelené břidlice“. Z modálního složení hornin je odvozováno adjektivum, jehož předřazení před skupinový název „břidlice“ nebo „zelená břidlice“ je povinné – například chlorit-muskovitická břidlice, muskovit-biotitická břidlice, chloritická zelená břidlice, muskovit-chloritická zelená břidlice. Minerály uvedené ve složených názvech hornin jsou řazeny standardním způsobem, tedy v pořadí rostoucí kvantity (např. v muskovit-biotitické břidlici převažuje biotit nad muskovitem). Břidlice a zelené břidlice v užití klasifikaci (Fediuk et al. 1972) musí obsahovat méně než 50 obj. % křemene, v kvarcitických břidlicích je obsah křemene v rozpětí 50 až 70 obj. %, v kvarcitech obsah křemene převyšuje 70 obj. %. Kvarcitty s obsahem karbonátu (kalcit, dolomit-ankerit, siderit) nad 5 obj. % by měly být označeny jako karbonátické kvarcitty nebo kvarcitty s karbonátem.

Na základě modálního složení lze horniny fylitického vzhledu z Měděné štoly pojmenovat termíny chloritická zelená břidlice, muskovit-chloritická zelená břidlice, biotit-chloritická zelená břidlice a chloritická kvarcitická břidlice. Autoři článku zde respektují Fediukem et al. (1972) vypracovanou nomenklaturu hornin, a to přesto, že zařazení některých typů hornin zlatohorského revíru do skupiny zelených břidlic považují za problematické (ve smyslu klasifikace horniny na základě jejího složení, ne jako přiřazení k metamorfní facií). Zelené břidlice s typickými minerálními asociacemi, jejichž součástí je epidot (příp. zoisit) a aktinolit, se ve zlatohorském revíru místy vyskytují hojně, jejich detailní charakteristiku uvádí například Fišera (1974) a Fišera a Souček (1974). V Měděné štole však zelené břidlice s epidotem (zoisitem) nebo aktinolitem zjištěny nebyly. Na geologické mapě v měřítku 1 : 50 000 (Otava et al. 1992) je v prostoru Měděné štoly vyznačen pouze jediný horninový typ, v legendě nazvaný „fylit, rula“. Petrografické poměry v důlním díle Měděné štoly naznačují, že zelené břidlice jsou zde pouze vložkovou horninou v komplexu fylitů.

V Měděné štole lze rozlišit tři typy rudní mineralizace, lišící se texturními a strukturními znaky, parageneticky i charakterem hostitelského horninového prostředí:

### Typ A: Vtroušeninové zrudnění s dominancí pyritu a pyrhotinu v biotit-chloritické zelené břidlici

Tento typ mineralizace (viz obr. 3, 4) byl zjištěn pouze v páskované biotit-chloritické zelené břidlici, vždy s výraznou převahou chloritu nad biotitem (obr. 5). Chlorit tvoří lupínky o velikosti do 0,4 mm, uspořádané do pásků, jejichž některé partie jsou složeny z lupínků přednostně



Obr. 3. Páskované sulfidické zrudnění typu A s dominancí pyritu v biotit-chloritické zelené břidlici. Delší strana fotografie odpovídá 70 mm.

Fig. 3. Pyrrhotite-dominated banded sulfide ore of the A-type in biotite-chlorite greenschist. The longer side of the photograph corresponds to 70 mm.

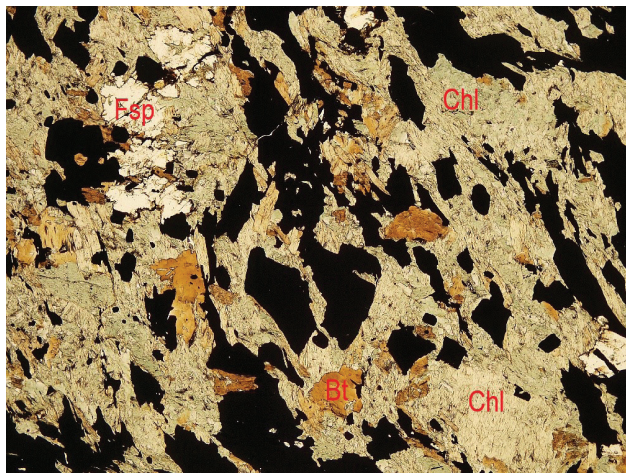


Obr. 4. Vtroušeninové zrudnění typu A s převahou pyritu nad pyrhotinem a ojedinělým chalkopyritem v biotit-chloritické zelené břidlici. Delší strana fotografie odpovídá 115 mm.

Fig. 4. Disseminated ore mineralization of the A-type with a predominance of pyrite over pyrrhotite and rare chalcopyrite in biotite-chlorite greenschist. The longer side of the photograph corresponds to 115 mm.

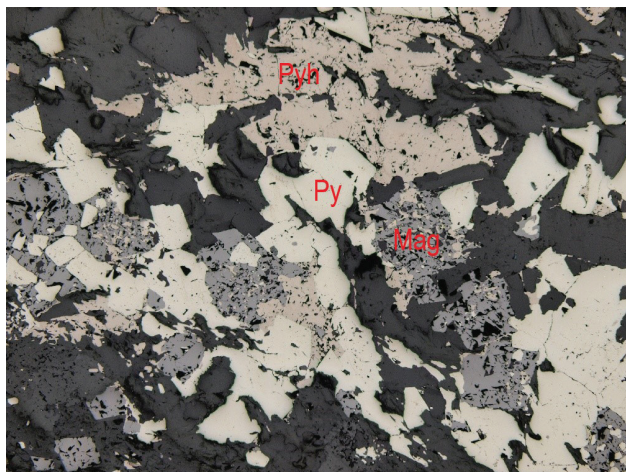


orientovaných bází subparalelně s hlavním foliačním systémem, v jiných partiích je prostorová orientace lupínků chloritu chaotická, nebo vytvářejí agregáty s paprscitou stavbou. Chlorit je výrazně pleochroický (téměř bezbarvý nebo jemně nažloutlý × bledě zelený), vykazuje šedozelené nebo hnědozelené, výjimečně šedomodré anomální interferenční barvy. Biotit tvoří obdobně jako chlorit lupínky omezené bazálními plochami, velikost jeho individuí dosahuje maximálně 0,5 mm. Většina biotitových lupínků je orientována kose k hlavnímu foliačnímu systému. Biotit



Obr. 5. Zrudnění typu A, mikrofotografie v procházejícím polarizovaném světle (PPL). Vtroušeniny opakních rudních minerálů (pyrit, pyrrhotin, magnetit). Delší strana fotografie odpovídá 3,6 mm. Zkratky minerálů: Chl – chlorit, Bt – biotit, Fsp – živec.

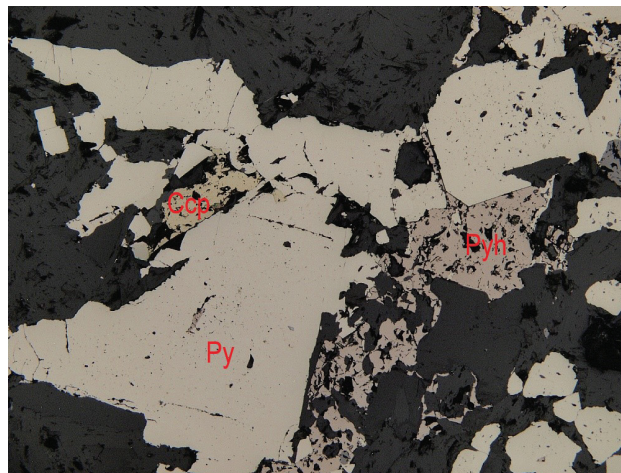
Fig. 5. A-type ore mineralization, photomicrograph in plane polarized transmitted light (PPL). Disseminated opaque ore minerals (pyrite, pyrrhotite, magnetite) in biotite-chlorite greenschist. The longer side of the photograph corresponds to 3.6 mm. Mineral abbreviations: Chl – chlorite, Bt – biotite, Fsp – feldspar.



Obr. 6. Zrudnění typu A, mikrofotografie v odraženém světle. Tři hlavní rudní minerály: pyrit, pyrrhotin a magnetit s drobnými inkluzemi obou sulfidů. Delší strana fotografie odpovídá 3,6 mm. Zkratky minerálů: Py – pyrit, Po – pyrrhotin, Mag – magnetit.

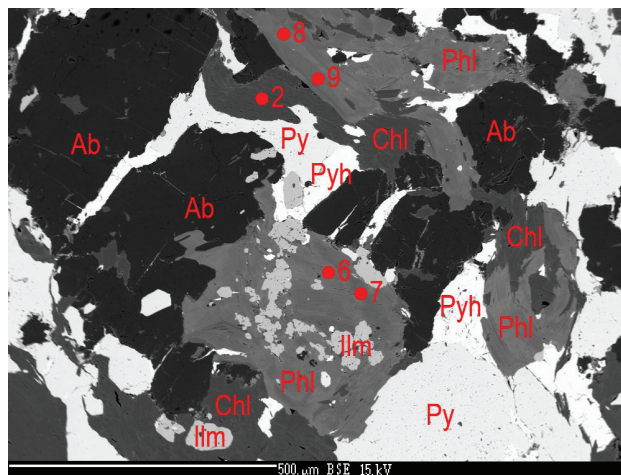
Fig. 6. A-type ore mineralization, photomicrograph in reflected light. Three main ore minerals in biotite-chlorite greenschist – pyrite, pyrrhotite and magnetite with minor inclusions of both sulphides. The longer side of the photograph corresponds to 3.6 mm. Mineral abbreviations: Py – pyrite, Po – pyrrhotite, Mag – magnetite.

vykazuje výrazný pleochroismus (jemně nažloutlý nebo narůžovělý × skořicově hnědý). Podstatnou složkou horniny je křemen a živec. Ve fylosilikátových páscích se živec vyskytuje v podobě ojedinelých zrn o velikosti do 0,5 mm s xenomorfním až hypautomorfním průřezem, často s polysyntetickým lamelováním, ale i bez něj. Na základě optických vlastností lze usuzovat na kyselý plagioklas s velmi nízkou bazicitou (nejspíše albit). Křemen je ve fylosilikátových páscích přítomen v podobě xenomorfních zrn o velikosti zpravidla do 0,3 mm (výjimečně až 1 mm),



Obr. 7. Zrudnění typu A, mikrofotografie v odraženém světle. Hypautomorfní zrna pyritu provázená pyrrhotinem a chalkopyritem. Delší strana fotografie odpovídá 1,8 mm.

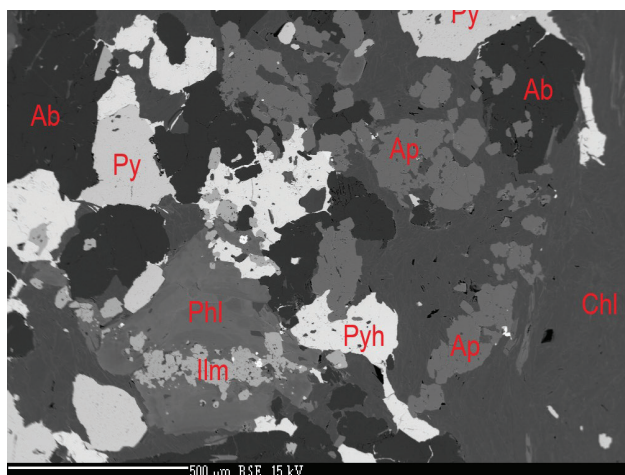
Fig. 7. A-type ore mineralization, photomicrograph in reflected light. Subhedral crystals of pyrite with pyrrhotite and chalcopyrite in biotite-chlorite greenschist. The longer side of the photograph corresponds to 1.8 mm.



Obr. 8. Zrudnění typu A, snímek ve zpětně odražených elektronech. Červenými kroužky s čísly jsou vyznačeny bodové WDX analýzy uvedené v tabulce 1. Delší strana fotografie odpovídá 1,16 mm. Zkratky minerálů: Py – pyrit, Pyh – pyrrhotin, Ilm – ilmenit, Phl – flogopit, Chl – chlorit, Ab – albit. Foto J. Haifler.

Fig. 8. A-type ore mineralization, back-scattered electron image. Red circles with numbers show WDX point analyses presented in Table 1. The longer side of the photograph corresponds to 1.16 mm. Mineral abbreviations: Py – pyrite, Pyh – pyrrhotite, Ilm – ilmenite, Phl – phlogopite, Chl – chlorite, Ab – albit. Photo by J. Haifler.





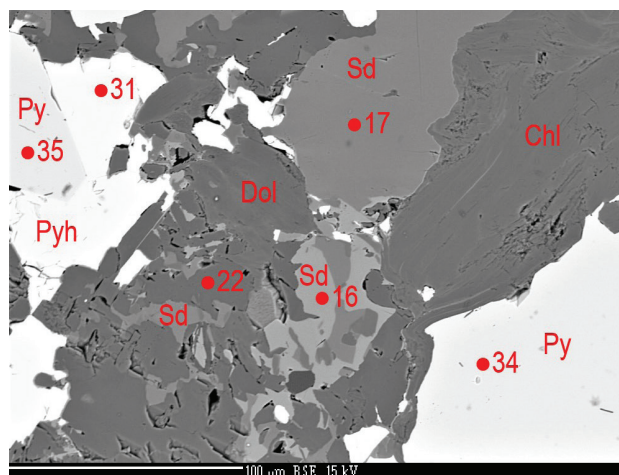
Obr. 9. Zrudnění typu A, snímek ve zpětně odražených elektronech. Delší strana fotografie odpovídá 1,72 mm. Zkratky minerálů: Py – pyrit, Pyh – pyrhotin, Ilm – ilmenit, Phl – flogopit, Ap – apatit, Chl – chlorit, Ab – albit. Foto J. Haifler.

Fig. 9. A-type ore mineralization, back-scattered electron image. The longer side of the photograph corresponds to 1.72 mm. Mineral abbreviations: Py – pyrite, Pyh – pyrrhotite, Ilm – ilmenite, Phl – phlogopite, Ap – apatite, Chl – chlorite, Ab – albite. Photo by J. Haifler.

vykazujících undulózní zhašení. Součástí horniny jsou křemen-živcové pásy, v nichž jsou křemen a kyselý plagioklas (albit) zastoupeny zhruba v poměru 1:1. Vedlejší složkou křemen-živcových pásů jsou oba výše zmíněné fylosilikáty, jejich optické vlastnosti jsou identické s výše uvedenou charakteristikou.

Rudní minerály jsou v tomto typu mineralizace zastoupeny sulfidy, z nichž výrazně převažuje pyrit a pyrhotin nad ojedinělým chalkopyritem, přítomny jsou i oxidické rudní minerály – magnetit a někdy také ilmenit. Sulfidická mineralizace je vtroušeninového typu, koncentruje se do pásů o mocnosti až 15 cm, jejichž průběh je konformní s hlavním foliačním systémem. Celkový obsah sulfidických minerálů v těchto pásčích je zhruba 20 až 25 obj. %, avšak lokálně se sulfidy kumulují do subpásů či šmouh, kde jejich podíl dosahuje cca 40 obj. %. Podíl pyrhotinu na složení rudy je velmi variabilní, v některých bohatých rudních partiích je pyrhotin dominantním sulfidem (obr. 3), v jiných může pyrit převažovat nad pyrhotinem (obr. 4), v chudém vtroušeninovém zrudnění jsou přítomny oba sulfidy v různém poměru.

Pyrit tvoří často hypautomorfně omezená individua hexaedrického typu, jejichž velikost dosahuje až 2 mm. Některá zrna pyritu mají velmi nepravidelný tvar, jsou výrazně anizometrická, protažená víceméně shodně s průběhem foliačních ploch (někdy jde ale spíše o pyritové agregáty). V případě drobných individuí pyritu lze v mikroskopu často pozorovat hypautomorfní až automorfní průřezy (obr. 6, 7). Pyrhotin tvoří zrnité agregáty velmi nepravidelných tvarů. Těmito agregáty jsou často obklopana zrna pyritu; v podobě jemných žilek pyrhotinu proniká do pyritových agregátů a podél trhlin i do zrn pyritu, agregátů tvořených fylosilikáty (chlorit, biotit) i do živcových zrn (obr. 6 až 8). V rudě se též vyskytují žilky pyritu, které patrně vznikly



Obr. 10. Zrudnění typu A, snímek ve zpětně odražených elektronech. Červenými kroužky s čísly jsou vyznačeny bodové WDX analýzy uvedené v tabulkách 2 a 3. Delší strana fotografie odpovídá 0,26 mm. Zkratky minerálů: Py – pyrit, Pyh – pyrhotin, Dol – dolomit, Sd – siderit, Chl – chlorit. Foto J. Haifler.

Fig. 10. A-type ore mineralization, back-scattered electron image. Red circles with numbers indicate WDX point analysis presented in Tables 2 and 3. The longer side of the photograph corresponds to 0.26 mm. Mineral abbreviations: Py – pyrite, Pyh – pyrrhotite, Dol – dolomite, Sd – siderite, Chl – chlorite. Photo by J. Haifler.

přeměnou pyrhotinu. Výsledkem přeměny pyrhotinu jsou možná i mnohá nepravidelná zrna pyritu, popsána výše. Chalkopyrit je jen ojedinělou složkou tohoto rudního typu, jeho drobné agregáty byly zjištěny mezi zrny pyritu v relativně bohatých rudních partiích, vždy společně s pyrhotinem (obr. 7).

Běžnými akcesoriemi biotit-chloritické zelené břidlice jsou magnetit s ilmenitem. Jejich celkové množství v hornině i v rudních pásčích je velmi proměnlivé, stejně jako jejich vzájemný poměr. Magnetit tvoří až 1 mm velké porfyroblasty, jejichž průřezy jsou převážně hypautomorfní (obr. 6). V magnetitu bývají četné uzavření pyritu, často lze pozorovat žilkovité pronikání pyrhotinu do individuí magnetitu i zjevné zatlačování magnetitu pyrhotinem (obr. 6). Ilmenit byl zjištěn v podobě drobně zrnitých agregátů i relativně velkých tabulek omezených bazálními plochami. Velmi časté jsou uzavření drobně zrnitého ilmenitu v agregátech lupenitého biotitu (obr. 8, 9). Další běžnou akcesorií (případně až vedlejší složkou) biotit-chloritické zelené břidlice je apatit. Zrna apatitu o velikosti zpravidla do 0,2 mm se v páskovaném zrudnění místy vyskytují ve značném množství (viz obr. 9). Součástí biotit-chloritické zelené břidlice s popisovaným zrudněním jsou i jemnozrné karbonátové agregáty (obr. 10), tvořené sideritem a karbonátem dolomit-ankeritové řady.

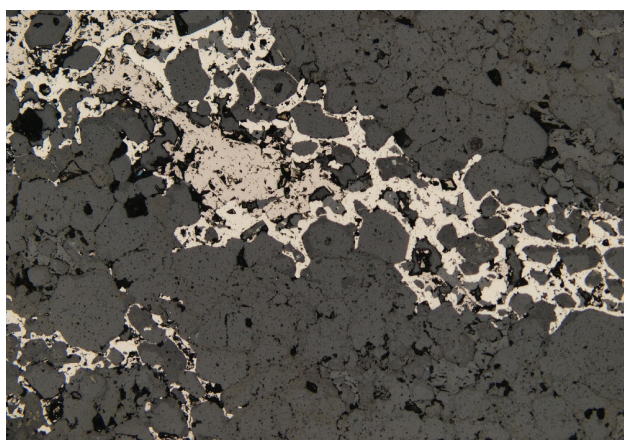
### Typ B: Vtroušeninové zrudnění s dominancí pyrhotinu v křemenem bohatých pásčích a vložkách karbonátického kvarcitu v chloritické zelené břidlici

Zrudnění tohoto typu bylo zjištěno v tmavě šedé, nazeleňalé hornině, s výraznou plošně paralelní texturou, připomínající fylit. Hornina je výrazně páskovaná, její součástí

jsou světlejší pásky o mocnosti do 2 mm, obsahující podstatné množství křemene. Průběh pásků je konformní s foliací horniny. Na základě modálního složení lze tuto horninu klasifikovat jako chloritickou zelenou břidlici, při vyšším podílu křemenných pásků přecházející do chloritické kvarcitické břidlice.

Místa jsou v hornině přítomny výrazně světlejší pásky středně šedé barvy s jemně nazelenalým odstínem. V rámci těchto pásků lze rozlišit tenké subpásky, z nichž některé mají vyšší obsah chloritu a jsou tmavší, jiné jsou světlejší a již makroskopicky je v nich zřejmá dominance křemene. Mocnost popisovaných pásků je v řádu cm až dm, v případě decimetrových mocností je nutno tyto pásky hodnotit jako vložky karbonátického kvarcitu. V karbonátickém kvarcitu jsou místa vtoušeniny pyrrhotinu, které se koncentrují do až cca 15 cm mocných pásků, probíhajících konformně s hlavním foliačním systémem.

Dominantním sulfidem ve zrudněném karbonátickém kvarcitu je vždy pyrrhotin. Tvoří velmi nepravidelné agregáty složené z xenomorfních zrn. Je provázen jemnozrným pyritem, jenž vytváří jemné lemy kolem pyrrhotinových agregátů a často i síť jemných žilek v okolí pyrrhotinu (obr. 11). Jen výjimečně je součástí zrudnění galenit a chalkopyrit. Oba sulfidy byly zjištěny pouze v podobě drobných xenomorfních zrn, vyskytujících se společně v galenit-chalkopyritových agregátech obklopených pyrrhotinem. V množství cca 5 až 10 obj. % jsou v tomto typu rudy přítomny karbonáty, zastoupené hlavně sideritem, méně karbonátem dolomit-ankeritové řady (identifikace na základě WDX analýz). Tyto karbonáty tvoří drobná zrna o velikosti max. 0,4 mm s xenomorfními nebo hypautomorfními průřezy, často seskupená do drobných agregátů. Zrna křemene tvořícího karbonátický kvarcit jsou xenomorfní, undulózně zhášejší, jejich velikost zpravidla nepřesahuje 0,2 mm. Součástí horniny jsou i relativně



Obr. 11. Zrudnění typu B, mikrofotografie v odraženém světle. Pyrrhotite (světle hnědý) provázený jemnozrným pyritem (bílý, jemně nažloutlý) v karbonátickém kvarcitu. Delší strana fotografie odpovídá 1,8 mm.

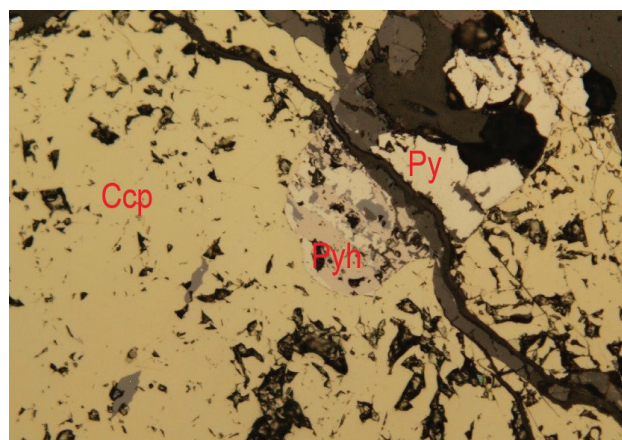
Fig. 11. B-type ore mineralization, photomicrograph in reflected light. Pyrrhotite (light brown) accompanied by fine-grained pyrite (white, slightly yellowish) in carbonate quartzite. The longer side of the photograph corresponds to 1.8 mm.

hrubozrné křemen-karbonátové čočky, protažené shodně s foliací, v nichž mají zrna karbonátu velikost až 1 mm. I v těchto křemen-karbonátových čočkách bývá přítomen pyrrhotin v podobě nepravidelných zrnitých agregátů i drobných žileček, pronikajících do zrn karbonátu podél štěpných trhlin. Součástí minerální asociace karbonátických kvarcitů je i jemně lupenitý chlorit, koncentrující se do jemných subpásků, probíhajících konformně s foliačním systémem. Poměrně hojně jsou přítomna nepravidelná zrna živeců (albit a také Ba-živec), zjištěny byly nedokonale omezené zprohýbané tabulky ilmenitu o velikosti až 0,6 mm, silně přeměněné na TiO<sub>2</sub>-minerál (patrně rutil), ojedinělý je apatit (drobná zrna s xenomorfním, velmi členitým průřezem).

### Typ C: Žilníkovité chalkopyritové zrudnění v muskovit-chloritické zelené břidlici

Sulfidická mineralizace má charakter krátkých žilek chalkopyritu, z nichž mnohé probíhají konformně s hlavním foliačním systémem šedočerné, výrazně nazelenalé chloritické nebo muskovit-chloritické zelené břidlice, jiné jsou k němu kosé a tvoří výplň trhlin nepravidelně probíhajících horninou.

Dominantní složkou horniny jsou fylosilikáty, výrazně převažuje chlorit nad muskovitem. Velikost jejich lupínek je zpravidla do 0,15 mm. V mikroskopu výrazné páskování horniny je způsobeno střídáním chloritových pásků s pásy muskovit-chloritovými, v nichž chlorit obvykle kvantitativně převažuje nad muskovitem, ale někdy jsou oba fylosilikáty přibližně v poměru 1:1. Pásy probíhají shodně s hlavním foliačním systémem horniny. Zejména v tenkých páscích a v páscích s vyšším podílem muskovitu mají lupínky fylosilikátů výraznou přednostní orientaci



Obr. 12. Zrudnění typu C, mikrofotografie v odraženém světle. Sulfidická žilka s výraznou převahou chalkopyritu nad pyritem a pyrrhotinem. Delší strana fotografie odpovídá 0,7 mm. Zkratky minerálů: Ccp – chalkopyrit, Py – pyrit, Pyh – pyrrhotin.

Fig. 12. C-type ore mineralization, photomicrograph in reflected light. Sulfide veinlet with a significant predominance of chalcopyrite over pyrite and pyrrhotite. The longer side of the photograph corresponds to 0.7 mm. Mineral abbreviations: Ccp – chalcopyrite, Py – pyrite, Pyh – pyrrhotite.



(bazální plochy určují průběh foliace). Chlorit je výrazně pleochroický (bezbarvý × bledě zelený), v chloritových agregátech mají některé lupínky anomální fialově hnědé interferenční barvy, jiné modré. V malém množství jsou v hornině přítomna drobná xenomorfní zrna křemene a zrna kyselého plagioklasu (albit) s xenomorfním, někdy hypautomorfním průřezem. Akcesorickou až vedlejší složkou horniny je ilmenit v podobě nedokonale vyvinutých drobných tabulek (lišťovité průřezy) i nepravidelných zrn a také magnetit (izometrické hypautomorfní průřezy). Karbonát (siderit) byl

v hornině zjištěn v podobě drobných zrn (hypautomorfní průřezy) v bezprostředním okolí žilek se sulfidy.

Chalkopyrit tvořící žilky ve výše popsané hornině je provázen pyritem v podobě relativně velkých jemnozrných agregátů, z nichž vybíhají jemné (vlasové) žilky pyritu a prostupují trhlinami v chalkopyritových agregátech i mezi zrny minerálů okolní horniny. Ojedinelou součástí žilek je pyrhotin (obr. 12), přítomný v podobě drobných zrn a jejich agregátů uzavřených v chalkopyritu. Pyrhotin je zpravidla provázen výše popsaným jemnozrným pyri-

Tabulka 1. Reprezentativní analýzy fyllosilikátů, hm. %. Zkratky: Chl – chlorit, Phl – flogopit, Ms – muskovit, b. d. – obsah pod mezí detekce. Tučně označené analyzované body jsou vyznačeny na obrázku 7

Table 1. Representative composition of phyllosilicates, in wt.%. Abbreviations: Chl – chlorite, Phl – phlogophite, Ms – muscovite, b. d. – content below detection limit. Analysed points in bold are shown in Fig. 7

Mineral	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Phl	Phl	Phl	Phl	Phl	Ms	Ms	Ms
Ore type	A	A	B	C	C	A	A	A	A	A	C	C	C
Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO <sub>2</sub>	27.36	26.15	25.82	23.48	24.82	35.24	36.58	34.88	35.76	36.40	44.29	45.24	44.13
TiO <sub>2</sub>	b. d.	0.08	0.04	0.07	0.07	2.55	1.96	2.68	2.10	1.41	0.29	0.13	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.14	21.95	22.42	19.90	21.47	15.30	14.99	15.97	15.64	15.89	34.20	35.15	34.59
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	b. d.	0.21	b. d.	b. d.	0.09	b. d.	b. d.	b. d.	0.18	b. d.	b. d.	0.15	0.17
FeO	18.67	20.56	21.43	42.00	26.13	17.59	15.66	17.07	16.31	16.91	1.85	1.00	1.55
MnO	0.59	0.61	0.63	0.10	0.53	0.22	0.23	0.33	0.37	0.18	b. d.	b. d.	b. d.
NiO	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.11	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.
ZnO	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.26	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.19
MgO	20.17	18.70	17.57	2.43	14.06	11.88	13.80	12.50	13.17	13.20	0.80	0.74	0.81
CaO	b. d.	b. d.	0.07	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.
BaO	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	4.00	2.23	5.45	3.37	2.84	4.39	2.65	4.59
Na <sub>2</sub> O	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.21	0.21	0.28	0.25	0.16	0.90	1.02	0.70
K <sub>2</sub> O	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	6.98	7.87	6.60	7.11	7.84	8.41	8.86	8.26
F	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.84	0.99	0.85	0.81	0.98	0.21	0.16	0.15
–O = F	–	–	–	–	–	0.35	0.42	0.36	0.34	0.41	0.09	0.07	0.06
Total	86.93	88.26	87.98	87.98	87.28	94.46	94.10	96.51	94.73	95.40	95.25	95.03	95.35
Si <sup>4+</sup>	2.806	2.671	2.657	2.715	2.649	2.765	2.822	2.702	2.766	2.795	3.042	3.060	3.026
Ti <sup>4+</sup>	–	0.006	0.003	0.006	0.006	0.150	0.114	0.156	0.122	0.081	0.015	0.007	0.014
Al <sup>3+</sup>	2.434	2.642	2.719	2.712	2.701	1.415	1.363	1.458	1.426	1.438	2.768	2.802	2.796
V <sup>3+</sup>	–	0.017	–	–	0.008	–	–	–	–	–	–	0.008	0.009
Fe <sup>2+</sup>	1.601	1.756	1.844	4.061	2.333	1.154	1.010	1.106	1.055	1.086	0.106	0.057	0.089
Mn <sup>2+</sup>	0.051	0.053	0.055	0.010	0.048	0.015	0.015	0.022	0.024	0.012	–	–	–
Ni <sup>2+</sup>	–	–	–	–	0.009	–	–	–	–	–	–	–	–
Zn <sup>2+</sup>	–	–	–	–	–	–	–	0.015	–	–	–	–	0.010
Mg <sup>2+</sup>	3.084	2.847	2.695	0.419	2.237	1.390	1.587	1.443	1.518	1.511	0.082	0.075	0.083
Ca <sup>2+</sup>	–	–	0.008	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ba <sup>2+</sup>	–	–	–	–	–	0.123	0.067	0.165	0.102	0.085	0.118	0.070	0.123
Na <sup>+</sup>	–	–	–	–	–	0.032	0.031	0.042	0.037	0.024	0.120	0.134	0.093
K <sup>+</sup>	–	–	–	–	–	0.699	0.775	0.652	0.702	0.768	0.737	0.765	0.723
Sum Cat	9.976	9.992	9.981	9.923	9.991	7.743	7.784	7.761	7.762	7.800	6.988	6.978	6.966
F <sup>-</sup>	–	–	–	–	–	0.208	0.242	0.208	0.198	0.238	0.046	0.034	0.033
O <sup>2-</sup>	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	10.792	10.758	10.792	10.802	10.762	10.954	10.966	10.967

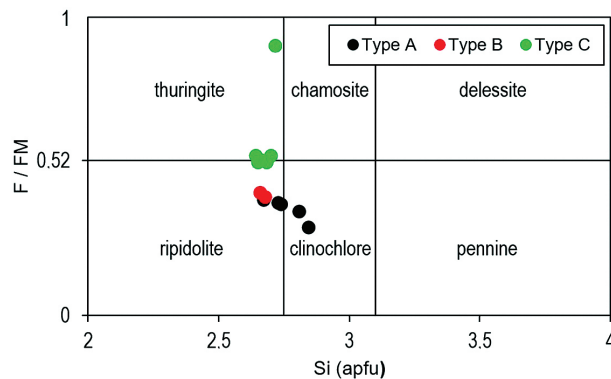
tem, patrně vznikajícím jeho přeměnou. Součástí žilek jsou i drobné agregáty galenitu a ojedinelého sfaleritu.

V hornině s hojnými chalkopyritovými žilkami jsou četné pravé nebo ložní křemenné žilky o mocnosti do 5 mm, tvořené xenomorfními zrny křemene o velikosti až 2 mm. Součástí těchto žilek jsou sulfidy, z nichž mírně převažuje chalkopyrit nad pyritem (obvykle jemnozrnným) a pyrhotinem, ojedinelý je sfalerit. Místa jsou v žilkách drobné agregáty jemnozrnného karbonátu (na základě výsledků WDX analýz jde o siderit), někdy tento karbonát v žilovině vytváří až 0,1 mm velká hypautomorfní individua romboedrického typu. Na okraji žilek bývají přítomny velké lupínky muskovitu (až 0,6 mm), seskupené do vějířovitých agregátů. Napříč křemennými žilkami nebo podél jejich kontaktu s okolní horninou probíhají monominerální chloritové žilky. Optické vlastnosti tohoto chloritu jsou identické s vlastnostmi chloritu v okolní hornině, rozměry jeho lupínků jsou o něco větší (až 0,25 mm).

## Chemismus vybraných minerálů

Chemické složení chloritů na základě výsledků WDX analýz (reprezentativní uvádí tab. 1) odpovídá chloritům klinochlor-chamositové řady. V klasifikačním diagramu podle Melky (1965) analyzované chlority spadají do polí klinochloru, ripidolitu nebo thuringitu (obr. 13) – tento diagram je založen na poměru Si (apfu v přepočtu na 14 atomů kyslíku) a na hodnotě F/FM, která je poměrem atomových kvocientů  $(Fe + Mn + Cr)/(Fe + Mn + Cr + Mg)$ .

Z obrázku 13 je zřejmý rozdíl ve složení chloritu v rozlišených typech mineralizace. Chlority horninového prostředí se sulfidickým zrudněním typu A a B v Mel-



Obr. 13. Klasifikace chloritů v diagramu podle Melky (1965).  
Fig. 13. Classification of chlorites based on Melka (1965).

kově klasifikaci odpovídají klinochloru nebo ripidolitu. Chlority, které jsou součástí mineralizace typu C i jejího hostitelského prostředí, mají vyšší obsah Fe na úkor Mg. Tyto chlority leží na rozhraní polí ripidolitu a thuringitu ( $F/FM = 0,51-0,54$ ), s výjimkou jediné analýzy, která odpovídá thuringitu s velmi vysokým obsahem Fe ( $F/FM = 0,91$ ).

Chemické složení biotitu (reprezentativní analýzy uvádí tab. 1) v klasifikačním diagramu siderofylit – eastonit – annit – flogopit odpovídá flogopitu. WDX analýzy dokládají příměs barya v rozpětí 2,23–5,45 hm. % BaO (tj. 0,067–0,165 Ba apfu při přepočtu na 11 atomů kyslíku). Obdobně zvýšené obsahy barya byly stanoveny v muskovitu (tab. 1): 2,65–4,59 hm. % BaO (tj. 0,060–0,123 Ba apfu při přepočtu na 11 atomů kyslíku).

Přesná identifikace karbonátů byla možná až po provedení WDX analýz. Jimi byla prokázána přítomnost sideritu a karbonátů dolomit-ankeritové řady. V tabulce 2 jsou uvedeny výsledky osmi reprezentativních analýz sideritu.

Tabulka 2. Reprezentativní analýzy karbonátů, hm. %. Zkratky: Sd – siderit, Dol – dolomit, Ank – ankerit, b. d. – obsah pod mezí detekce. Tučně uvedené analyzované body jsou vyznačeny na obrázku 10  
Table 2. Representative analyses of carbonates, in wt.%. Abbreviations: Sd – siderite, Dol – dolomite, Ank – ankerite, b. d. – content below detection limit. Analysed points in bold are shown in Fig. 10

Mineral	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Dol	Dol	Dol	Dol	Ank
Ore type	A	A	<b>A</b>	<b>A</b>	B	B	C	C	<b>A</b>	B	B	B	B
Point	14	15	<b>16</b>	<b>17</b>	18	19	20	21	<b>22</b>	23	24	25	26
MgO	0.51	16.42	0.70	13.92	0.81	13.13	b. d.	1.88	14.79	13.14	15.54	12.91	5.36
CaO	1.58	0.28	2.05	0.50	2.65	0.40	b. d.	0.20	28.44	28.98	29.98	28.54	27.59
MnO	2.66	10.38	3.87	5.91	3.48	9.18	b. d.	1.80	3.90	3.42	2.98	0.90	1.16
FeO	54.33	29.72	55.28	38.19	54.25	36.44	61.68	58.12	8.09	9.50	7.62	13.03	23.28
SrO	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.16	0.15	0.17	0.15	0.34
F	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.18	b. d.	0.14	0.13	b. d.
-O = F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.05	-
Total	59.08	56.80	61.90	58.52	61.19	59.15	61.68	62.00	55.48	55.19	56.37	55.61	57.73
Mg <sup>2+</sup>	0.015	0.419	0.020	0.356	0.023	0.336	-	0.053	0.704	0.636	0.721	0.625	0.275
Ca <sup>2+</sup>	0.034	0.005	0.042	0.009	0.054	0.007	-	0.004	0.972	1.009	0.999	0.993	1.015
Mn <sup>2+</sup>	0.045	0.150	0.062	0.086	0.056	0.133	-	0.029	0.105	0.094	0.079	0.025	0.034
Fe <sup>2+</sup>	0.906	0.426	0.876	0.549	0.867	0.524	1.000	0.914	0.216	0.258	0.198	0.354	0.669
Sr <sup>2+</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	0.003	0.003	0.003	0.007



Tabulka 3. Reprezentativní analýzy sulfidů, hm. %. Zkratky: Ccp – chalkopyrite, Pyh – pyrhotin, Py – pyrit, Sp – sfalerit, Gn – galenit, b. d. – obsah pod mezí detekce, n. a. – obsah nebyl stanovován. Tučně uvedené analyzované body jsou vyznačeny na obr. 10

Table 3. Representative analyses of sulfides, in wt.%. Abbreviations: Ccp – chalcopyrite, Pyh – pyrrhotite, Py – pyrite, Sp – sphalerite, Gn – galena, b. d. – content below detection limit, n. a. – not analysed. Analysed points in bold are shown in Fig. 10

Mineral	Ccp	Ccp	Ccp	Ccp	Pyh	Pyh	Pyh	Py	Py	Py	Sp	Sp	Gn
Ore type	B	B	B	C	<b>A</b>	B	B	<b>A</b>	<b>A</b>	B	B	C	B
Point	27	28	29	30	<b>31</b>	32	33	<b>34</b>	<b>35</b>	36	38	37	39
Mn	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.03	b. d.	b. d.	b. d.	0.02	b. d.	b. d.	b. d.	n. a.
Fe	30.34	30.31	30.32	29.94	59.25	58.87	59.87	46.73	46.43	46.9	7.14	6.94	0.18
Co	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.44	0.27	0.15	b. d.	0.03	n. a.
Ni	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.08	0.04	b. d.	b. d.	n. a.
Cu	34.04	34.18	34.07	34.12	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.73	0.59	b. d.
Zn	0.05	b. d.	0.06	0.15	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	57.86	58.76	n. a.
Ag	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.75
Cd	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.67	0.43	n. a.
Pb	0.11	0.09	0.14	0.14	0.13	0.11	0.18	0.19	0.19	0.16	b. d.	b. d.	84.75
Bi	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	1.90
S	35.43	35.24	35.07	35.40	39.24	39.56	38.96	52.93	52.81	52.08	33.90	33.79	13.53
Se	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	0.50
Total	99.97	99.82	99.66	99.75	98.65	98.54	99.01	100.29	99.80	99.33	100.30	100.54	101.61

Tabulka 4. Chemismus rudních vzorků

Table 4. Chemical composition of ore samples

Ore type	S	Fe	Cu	Zn	Pb	As	Se	Mo	Ag	Bi
	wt. %	wt. %	wt. %	wt. %	wt. %	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A	12.92	35.86	0.70	0.06	0.007	25	9	28	< 3	< 2
A	14.89	32.58	0.65	0.06	0.010	62	9	32	< 3	< 2
B	8.27	27.83	0.29	0.05	0.008	< 5	4	12	< 3	< 2
B	6.03	16.92	0.28	0.02	0.155	81	6	19	< 3	3
C	16.11	23.91	13.57	0.12	0.024	< 5	42	38	54	12
C	26.17	28.70	24.71	0.21	0.014	< 5	54	68	120	< 2

Siderit z mineralizací typu A a B má velmi proměnlivé složení, železo v jeho struktuře je často ve značném množství substituováno hořčíkem nebo manganem (až 16,42 hm. % MgO a 10,38 hm. % MnO). Siderit z mineralizace C obsahuje jen málo příměsí, v případě bodu 20 v tabulce 2 jsou obsahy Mg a Mn dokonce pod mezí detekce použité metody. Karbonáty dolomit-ankeritové řady jsou zastoupeny častěji dolomitem než ankeritem – údaje o jejich složení uvádí tabulka 2. Karbonáty této řady se běžně vyskytují v mineralizacích typu A a B, v typu C zjištěny nebyly.

Výsledky reprezentativních WDX analýz sulfidů jsou uvedeny v tabulce 3. Typickou příměsí pyritu je Co (0,15–0,44 hm. %). Sfalerit obsahuje kolem 7 % Fe a 0,43–0,67 hm. % Cd. V galenitu byla zjištěna příměs Ag (0,75 hm. %), Bi (1,90 hm. %) a Se (0,50 hm. %). Překvapením je přítomnost Pb v bodových analýzách chalkopyritu, pyrhotinu a pyritu v poměrně stálých obsazích v rozpětí 0,09–0,19 hm. % (tab. 3), patrně související s inkluzemi galenitu nepatrných rozměrů (v BSE obrazu nebyly pozorovatelné).

## Chemismus rudnin

Výsledky XRF analýz šesti rudních vzorků (z každého typu zrudnění dva reprezentativní) jsou uvedeny v tabulce 4. O podílu sulfidů na složení rudních vzorků dobře vypovídají obsahy síry (baryt není v rudách z Měděné štoly přítomen). Nízké obsahy Cu ve zrudnění typu A a B dokládají, že jde jen o chudé měděné rudy. Naopak rudy typu C mají obsah Cu extrémně vysoký (cca 14 a 25 hm. % Cu v analyzovaných vzorcích), zjištěna v nich byla i mírně zvýšená koncentrace Ag (54 a 120 ppm).

## Diskuse

Mineralogii sulfidických ložisek zlatohorského rudního revíru a petrografickým poměrům v jejich prostoru byla od 50. let 20. století až do ukončení těžby v roce 1993 věnována zvýšená pozornost. Obrovský objem v té době získaných poznatků shrnuje a komentuje souborný článek,

jenž byl z technických důvodů rozdělen do dvou částí: Fojt a Večeřa (2000) a Fojt et al. (2001). I když od jeho publikování uplynulo již více než 20 let, odpovídá v něm uvedené hodnocení mineralogických a petrografických poměrů na zlatohorských ložiskách stále současnému stavu poznání. Mineralogicko-petrografický výzkum sulfidického zrudnění z Měděné štoly přinesl přes relativně malý objem realizovaných prací několik nových zjištění, která lze považovat za významná v rámci celého zlatohorského revíru. Jsou diskutována v následující odstavcích:

1. Všechny tři typy zrudnění vyčleněné v Měděné štolě jsou vázány na horniny, jež mají povahu metabazitů nebo metamorfovaných sedimentů s velmi vysokým obsahem složek spjatých s bazickými vulkanismem. Tyto horniny jsou metamorfovány ve facii zelených břidlic a ve smyslu petrografické nomenklatury vypracované pro zlatohorský revír (Fediuk et al. 1972) jsou označovány jako chloritické zelené břidlice nebo biotit-chloritické zelené břidlice. Přesnou petrografickou povahu protolitu zelených břidlic v prostoru Měděné štoly nelze na základě dostupných dat stanovit. Jeho původní struktura se nezachovala ani v relikttech, a to patrně nejen vlivem procesů během regionální metamorfózy, ale i již v průběhu hydrotermálních alterací, časově sblížených se vznikem primární sulfidické mineralizace. V některých vzorcích zelených břidlic z prostoru zlatohorského revíru byly zjištěny (Fišera 1974) reliktní ofitické struktury, tj. struktury typické pro bazické efuzivní nebo žilné horniny. Malá četnost výskytu reliktních struktur typických pro vulkanity může souviset s názorem Tomáška (1984), že v prostoru zlatohorského revíru v obou jím rozlišovaných vulkanických cyklech převažovala explozivní činnost, tj. produkce pyroklastik a ukládání smíšených vulkano-sedimentárních hornin (to se týká jak kyselého, tak bazického vulkanismu).

Vazba sulfidické mineralizace Měděné štoly na chloritické zelené břidlice a biotit-chloritické zelené břidlice je zajímavým zjištěním, neboť ve zlatohorském revíru jsou rudní tělesa s vtroušeninovou sulfidickou mineralizací převážně v kvarcitech nebo metamorfovaných keratofyrových horninách, případně v grafitických muskovitických břidlicích v jejich nadloží, lokálně i v chloritických kvarcitických břidlicích, popřípadě i v mramorech (viz např. Fojt et al. 2001). Zrudněné horniny v prostoru Měděné štoly jsou stratigraficky níže než horizont kvarcitů Příčné hory (s tímto horizontem jsou spjata rudní tělesa ložisek ZH-západ, ZH-Hornické skály a ZH-jih, ložisko ZH-východ je stratigraficky výše). Pokud jde o rudní akumulace, jsou na metamorfity podobného charakteru jako v Měděné štolě vázána ve zlatohorském revíru pouze historická ložiska železných rud lahndillského typu – například na dolech Tobias a Melchior (dominantně magnetitové rudy v zelených břidlicích na k. ú. Dolní Údolí).

2. Sulfidická mineralizace popsaná z Měděné štoly je v rámci zlatohorského revíru výjimečným typem zrudnění. Podobné sulfidické zrudnění je známo pouze z prostoru ložiska Žebračka (Havelka 1974) a podle údajů v literatuře také z ložiska ZH-západ, kde v muskovit-chloritických

a chlorit-muskovitických břidlicích při podložním kontaktu kvarcitů Příčné hory byla ověřena drobná tělesa chudých vtroušeninových pyrit-(pyrhotin)-chalkopyritových rud, v nichž má chalkopyrit místy charakter mobilizovaných oválných aglomerátů i tenkých žilek (Juhás et al. 1986). Jde tedy o obdobu zrudnění typu A a C v Měděné štolě, avšak ve zcela odlišném horninovém prostředí. Nutno dodat, že ve vtroušeninových pyrit-(pyrhotin)-chalkopyritových rudách v prostoru ložiska ZH-západ jsou ojediněle zvýšené obsahy zlata, nepřevyšující však (podle Juhase et al. 1986) nižší desetiny ppm. Proto by bylo vhodné zhodnotit zrudnění Měděné štoly z hlediska zlatonosnosti.

3. Sulfidické akumulace zlatohorského rudního revíru svým charakterem (viz např. Fojt – Večeřa 2000, Fojt et al. 2001) odpovídají vulkanogenním ložiskům masivních sulfidických rud (dále jen VMS ložiska). Pro VMS ložiska byly vypracovány různé klasifikační systémy, založené na rozdílných geologických a geochemických kritériích (v přehledu např. Barrie – Hannington 1999, Shanks – Koski 2012, Tornos et al. 2015, též Dill 2010). Tradičně je užíváno členění VMS ložisek podle geotektonické pozice v době jejich vzniku (a s tím související geochemie a litologie) na tři základní typy (Sawkins 1990, Shanks – Koski 2012): i) kyperský typ spjatý s bazickými vulkanity (jde o ložiska Cu-(Zn) rud, často jsou tato ložiska označována jako ložiska typu Troodos, případně jako tzv. Cu-pyrity), ii) typ Besshi asociující s klastickými terigenními sedimenty a marinními bazickými vulkanity (ložiska Cu-Zn-(Au-Ag) rud), iii) typ kuroko asociující hlavně s kyselými až intermediárními vulkanity (ložiska Cu-Pb-Zn-Ag-(Au) rud s barytem).

Charakterem horninového prostředí a asociací pyrit + pyrhotin + chalkopyrit se vtroušeninové zrudnění Měděné štoly (typy A a B) podobá sulfidickým akumulacím kyperského typu; chalkopyritové žilky (typ C) jsou patrně metamorfním mobilizátem primárního zrudnění. Sulfidická ložiska zlatohorského revíru bývají přiřazována různými autory k typům kuroko nebo Besshi (viz např. Fojt et al. 2001). Nutno zmínit, že Havelka (1984) na základě vývoje vulkanismu v jesenické oblasti uvažuje o možnosti výskytu ložisek kyperského typu na sever od linie Zlaté Hory – Horní Benešov.

V případě přiřazení vtroušeninového zrudnění Měděné štoly ke kyperskému typu by bylo nutno vysvětlit přítomnost značného množství barya ve slídách a také živcích rudonosných hornin. Je zcela nepravděpodobné, že by dostatečně vydatným zdrojem barya mohly být bazické vulkanity v prostoru konvekčně cirkulačního systému, v němž se vytvářela hydrotermální fluida potřebná pro vznik sulfidické mineralizace. Přítomnost barya v horninách v prostoru Měděné štoly by naopak mohla indikovat příslušnost sulfidické mineralizace k typu kuroko, kde je Ba typickou součástí hydrotermálních fluid.

4. Horniny vrbenské skupiny ve zlatohorském revíru mají relativně vysoké obsahy barya, a to jak v prostoru rudních těles, tak i ve větší vzdálenosti od nich (viz např. Čabla et al. 1979). Novotný a Zimák (2001) a Zimák a Novotný (2002) uvádějí, že hlavními koncentrátoři Ba v rudních tělesech



(a jejich bezprostředním okolí) jsou baryt a Ba-živce, ale v převažujícím objemu hornin je dle jejich názoru nejvýznamnějším nositelem Ba muskovit (s obsahem 1,5 až 8,2 hm. % BaO v jimi studovaném souboru vzorků z ložisek ZH-Hornické skály, ZH-jih a ZH-východ). Na vysoké obsahy Ba v muskovitu provázejícím sulfidické zrudnění již dříve upozornil Šrein (1986, 1987) na základě výzkumu sulfidických rud z vrtů ZH 2017 a ZH 2095 (muskovit s až 7,8 hm. % BaO). Novotný a Zimák (2001) a Zimák a Novotný (2002) zaznamenali zvýšené obsahy Ba i ve flogopitu (2,4 až 5,7 hm. % BaO, ZH-Hornické skály a ZH-východ).

Výsledky mineralogického výzkumu zrudnění v Měděné štole naznačují, že v horninách náležejících do skupiny zelených břidlic ve smyslu Fediuka et al. (1972), jejichž součástí jsou slídy, je na tyto slídy vázána patrně většina barya přítomného v hornině. Ve flogopitu zelených břidlic Měděné štoly bylo zjištěno 2,2 až 5,5 hm. % BaO, v muskovitu 2,6 až 4,6 hm. % BaO. Pokud zelená břidlice žádnou slídu neobsahuje, pak je baryum v této hornině dominantně vázáno na barnatý živec. Zdá se, že ve studovaných zelených břidlicích existuje nepřímá závislost mezi obsahem slídy a obsahem Ba-živce. K prokázání tohoto vztahu by však bylo nutno vyhodnotit podstatně větší počet vzorků.

5. Běžnou součástí sulfidických rud zlatohorského revíru jsou karbonáty, zastoupené hlavně členy dolomit-ankeritové řady. Podle hodnocení Fojta et al. (2001) je daleko sporaďičtější karbonátem siderit, zmiňovaný z mobilizovaného zrudnění (např. na ložisku ZH-jih) a z mineralizace puklinového typu („alpských žilek“). Kalcit není na ložiskách zlatohorského revíru příliš rozšířen, s výjimkou sulfidického zrudnění v mramorech (na ložisku ZH-východ) a některých mineralizací žilného typu (včetně „alpských žilek“).

V sulfidických rudách Měděné štoly je kvantitativní zastoupení karbonátů zcela odlišné. Dominuje zde siderit, zjištěný ve všech třech typech zrudnění. Ve zrudnění typu A a B siderit kvantitativně převažuje nad karbonátem dolomit-ankeritové řady. Tyto karbonáty se zpravidla vyskytují společně, v jejich agregátech dochází k zatlačování podvojných karbonátů sideritem. V BSE obrazu lze snadno rozlišit siderit s vysokým obsahem Mg (v BSE tmavší) od sideritu s vysokým obsahem Mn nebo víceméně „čistého“ sideritu (v BSE jsou světlejší) – viz obr. 10. Karbonát dolomit-ankeritové řady je pronikán a zatlačován sideritem různého složení. Z pozorování v BSE je zřejmé, že hořčíkem bohatý siderit je často zatlačován sideritem s jen nízkým obsahem hořčíku. Ve zrudnění typu C byl z karbonátů zjištěn jedině siderit.

## Závěr

Sulfidické zrudnění Měděné štoly je vázáno na zelené břidlice tvořené třemi minerálními asociacemi: i) chlorit + křemen + albit + barnatý živec + siderit + dolomit (ankerit) ± ilmenit (chloritická zelená břidlice ve smyslu nomenklatury hornin užívané ve zlatohorském revíru); ii) chlorit + flogopit + křemen + albit + siderit + dolomit (ankerit) ± magnetit ± ilmenit (biotit-chloritická zelená břidlice);

iii) chlorit + muskovit + křemen + albit + ilmenit ± siderit ± magnetit (muskovit-chloritická zelená břidlice). Hlavním rozdílem mezi nimi je povaha fylosilikátů. Vždy převažuje chlorit klinochlor-chamositové řady, jenž může být v podstatném množství provázen slídou – někdy flogopitem, jindy muskovitem. Obě slídy mají zvýšené obsahy barya (2,2 až 5,5 hm. % BaO ve flogopitu, 2,6 až 4,6 hm. % BaO v muskovitu) a jsou dominantním nositelem tohoto prvku v hornině. Pokud slídy v hornině přítomny nejsou, pak je její významnou složkou barnatý živec. Křemen je vždy podstatným minerálem zelených břidlic, které při jeho vysokém obsahu přecházejí do kvarcitických zelených břidlic, v nichž často bývají pásy nebo i mohutnější vložky chloritického kvarcitu.

V Měděné štole byly zjištěny tři typy sulfidického zrudnění: i) páskované Cu-zrudnění v biotit-chloritické zelené břidlici, které je tvořeno dominantně vtrošeninami pyritu a pyrhotinu, prováženými chalkopyritem (rudnina obsahuje cca 0,7 hm. % Cu); ii) vtrošeninové Cu-zrudnění v křemenem bohatých páscích v chloritické zelené břidlici nebo ve vložkách kvarcitu, tvořené hlavně pyrhotinem, méně pyritem (převážně jde o produkt přeměny pyrhotinu), v malém množství chalkopyritem a galenitem (rudnina obsahuje cca 0,3 hm. % Cu, obsah Pb je velmi variabilní, max. 0,15 hm. %); iii) žilníkovité Cu-zrudnění v muskovit-chloritické zelené břidlici s dominancí chalkopyritu nad pyrhotinem a také pyritem, jenž je z větší části pravděpodobně produktem hypogenní přeměny pyrhotinu (rudnina má velmi vysoký obsah Cu – ve dvou analyzovaných vzorcích 13,6 a 24,7 hm. %).

Pyrit-pyrhotin-chalkopyritové zrudnění Měděné štoly se svým nerostným složením, stavebními znaky a charakterem rudonosných hornin podobá metamorfně přepracovaným rudám kyperského typu (tzv. Cu-pyrity). Žilníkovité Cu-zrudnění je patrně výsledkem remobilizace primárního zrudnění v průběhu regionální metamorfózy.

Zrudnění Měděné štoly je v rámci sulfidických akumulací zlatohorského rudního revíru zcela výjimečné litologičtími hostitelského prostředí. Na všech ostatních známých ložiskách tohoto revíru je vtrošeninová sulfidická mineralizace přítomna v kvarcitech, metamorfovaných keratofyrových horninách, chloritických kvarcitických břidlicích, grafitických muskovitických břidlicích nebo mramorech. V Měděné štole jde však o sulfidickou mineralizaci vázanou na zelené břidlice, které lze považovat za výsledek přeměny produktů bazického vulkanismu nebo spíše smíšených vulkanosedimentárních hornin s vysokým podílem materiálu spjatého s bazickým vulkanismem.

*Poděkování. Autoři děkují za podnětné připomínky paní redaktorce RNDr. Tamaře Sidorinové a oběma recenzentům – doc. RNDr. Markovi Slobodníkovi, CSc., (PřF MU Brno) a doc. RNDr. Jiřímu Zachariášovi, CSc. (PřF UK Praha).*

## Literatura

BARRIE, C. T. – HANNINGTON, M. D. (1999): Classification of volcanic-associated massive sulfide deposits based on host-

- rock composition. In: BARRIE, C. T. – HANNINGTON, M. D., ed.: *Volcanic-associated massive sulfide deposits. Processes and examples in modern and ancient settings.* – *Rev. econom. Geol.* 8, 1–11.
- BROSKA, I. – PETRÍK, I. – UHER, P. (2012): *Akcesorické minerály Západních Karpát.* – VEDA, vyd. Slov. akad. vied. Bratislava.
- ČABLA, V. – HETTLER, J. – TOMŠÍK, J. (1979): *Ložiska zlatohorského rudního revíru z pohledu teorie tzv. globální tektoniky.* – *Sbor. GPO* 20, 5–69.
- DILL, H. G. (2010): The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. – *Earth-Sci. Rev.* 100, 1–420.
- FEDIUK, F. – POUBA, Z. – FIŠERA, M. – SOUČEK, J. (1972): *Návrh označování hornin Jeseníků.* – MS ÚGV UK, Národní muzeum, Geol. průzk. Ostrava. Praha, Ostrava.
- FIŠERA, M. (1974): *Typy a modální složení bazických hornin vrbenských vrstev.* – *Acta Univ. Carol., Geol.* 1974, 259–269.
- FIŠERA, M. – SOUČEK, J. (1974): *Metamorfované horniny vrbenského devonu zlatohorské oblasti.* – *Acta Univ. Carol., Geol.* 1974, 231–257.
- FOJT, B. – HLADÍKOVÁ, J. – KALENDA, F. (2001): *Zlaté Hory ve Slezsku – největší rudní revír v Jeseníkách. Část 2.: C. Geologie D. Mineralogie E. Geochemie stabilních izotopů.* – *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.* 86, 3–58.
- FOJT, B. – VEČEŘA, J. (2000): *Zlaté Hory ve Slezsku – největší rudní revír v Jeseníkách. Část 1.: A. Historie těžby. B. Přehled literárních poznatků.* – *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.* 85, 3–45.
- HAVELKA, J. (1974): *Genetické interpretace struktur hlavních rudních minerálů zlatohorských ložisek.* – *Acta Univ. Carol., Geol.* 1974, 165–183.
- HAVELKA, J. (1984): *K novému pojetí strukturní interpretace metalogeneze v síleziku z hlediska globální tektoniky.* – In: MAHEL, M., ed.: *Zemská kôra a jej vzťah k nerastným surovinám,* 89–94. – *Geol. úst. Dionýza Štúra.* Bratislava.
- JUHAS, J. – PANOVSÝ, K. – TOMŠÍK, J. (1986): *Ložisko Cu, Pb, Zn (+ Au, Ag) rud Zlaté Hory-západ.* – *Sbor. GPO* 31, 17–69.
- MELKA, K. (1965): *Návrh na klasifikaci chloritových minerálů.* – *Věst. Ústř. úst. geol.* 40, 23–27.
- MORÁVEK, P. – CÍCHA, J. – LOSERTOVÁ, L. – TICHÝ, A. – TOMS, B. – TVRDÝ, J. – VEČEŘA, J. – ZEMEK, V. (2017): *Stezkami zlatohorských revírů Čech a Moravy: Průvodce po cestách přírodou za zlatem a historií.* – *Čes. geol. služba.* Praha.
- NOVOTNÝ, P. – ZIMÁK, J. (2001): *Barnatý muskovit a barnatý flogopit v metamorfitech a rudách zlatohorského rudního revíru.* – *Geol. výzk. Mor. Slez. v Roce 2000,* 79–81.
- NOVOTNÝ, P. – ZIMÁK, J. (2003): *Zlaté Hory. Historie a současnost ložiska zlata evropského významu.* – *Memoria.* Olomouc.
- OTAVA, J. – SEKÝRA, J. – OPLETAL, M. – MAŠTERA, L. (1992): *Geologická mapa ČR 1:25 000, list 15-11 Zlaté Hory.* – *Čes. geol. úst. Praha.*
- SAWKINS, F. J. (1990): *Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics.* 2<sup>nd</sup> edition. – Springer-Verlag.
- SHANKS, W. C. – KOSKI, R. A. (2012): *Introduction in volcanogenic massive sulfide occurrence model.* In: SHANKS W.C., III – THURSTON, R., ed.: *Volcanogenic massive sulfide occurrence model.* – *US Geol. Surv. sci. investig. Rep.* 2010–5070–C, 1–8.
- ŠREIN, V. (1986): *Príspevek k mineralogii dvou typů polymetalického zrudnění ve Zlatých Horách.* – MS Ústř. úst. geol., ČSAV. Praha.
- ŠREIN, V. (1987): *Chemismus sfaleritu a tetradritu ze dvou vrtnů akce Zlaté Hory – prognózy.* – MS Ústř. úst. geol., ČSAV. Praha.
- TOMŠÍK, J. (1984): *Devonské vulkanické cykly, sedimentace a zrudnění ve zlatohorském rudním revíru.* – *Věst. Ústř. Úst. geol.* 59, 11–19.
- TORNOS, F. – PETER, J. M. – ALLEN, R. – CONDE, C. (2015): *Controls on the siting and style of volcanogenic massive sulphide deposits.* – *Ore Geol. Rev.* 68, 142–163.
- VEČEŘA, J. (1991): *Toponomie dolů ve Zlatých Horách.* In: *Sborník referátů ze semináře „Historie dolování ve Slezsku a na severní Moravě“,* 9–55. – *Zlaté Hory.*
- VEČEŘA, J. – VEČEŘOVÁ, V. (2010): *Historie zlatohorských dolů.* – *Pinka.* Jeseník.
- WARR, L. N. (2021): *IMA-CNMNC approved mineral symbols.* – *Mineral. Mag.* 85, 291–320. DOI:10.1180/mgm.2021.43.
- ZIMÁK, J. – NOVOTNÝ, P. (2002): *Silikáty barya v metamorfitech a sulfidických rudách zlatohorského rudního revíru.* – *Sborník „Mineralogie Českého masivu a Západních Karpat 2002“,* 92–96. – *Univ. Palackého.* Olomouc.