

Mineralogická charakteristika polymetalického rudního výskytu Hostětice u Telče (moldanubikum, Česká republika)

Mineralogy of polymetallic ore occurrence Hostětice near Telč (Moldanubian unit, Czech Republic)

KAREL MALÝ^{1*)} A ZDENĚK DOLNÍČEK^{1,2)}

¹⁾Muzeum Vysočiny Jihlava, Masarykovo náměstí 55, 586 01 Jihlava; *e-mail: maly@mvji.cz

²⁾Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9

MALÝ K, DOLNÍČEK Z (2025) Mineralogická charakteristika polymetalického rudního výskytu Hostětice u Telče (moldanubikum, Česká republika). Bull Mineral Petrolog 33(1): 20-32. ISSN 2570-7337

Abstract

Samples from a small vein Pb-Zn-(Ag) ore occurrence near Hostětice (1.5 km east from the town of Telč, Českomoravská vrchovina Upland, Czech Republic) were studied mineralogically by means of electron microprobe and sulfur stable isotope analyses. Major sulfide minerals are represented by black sphalerite (with 0.044 - 0.192 *apfu* Fe, 0.005 - 0.006 *apfu* Cd, and 0.001 - 0.008 *apfu* Mn), galena (with low both Sb and Ag up to 0.003 *apfu*) and arsenopyrite (rarely with up to 0.010 *apfu* Co), which are accompanied by rare pyrite (rarely with up to 0.004 *apfu* Ni or As), chalcopyrite, and native bismuth. Ore minerals are hosted by quartz gangue with subordinate illite-muscovite, siderite ($\text{Sid}_{52-79}\text{Mag}_{19-43}\text{Rdc}_{1-3}\text{Cal}_{0-2}\text{Smi}_{0-2}$), anatase, and a kaolinite-group mineral. Supergene minerals are represented mainly by scorodite and anglesite and, rarely, by probable zýkaite. The $\delta^{34}\text{S}$ values of galena and sphalerite range between 2.2 and 5.7 ‰ CDT. Arsenopyrite thermometry, illite compositional thermometry, sulfur isotope thermometry, and stabilities of anatase, muscovite, and a kaolinite-group mineral suggest formation temperatures of primary mineralization between 480 and <200 °C and at least episodically acidic pH of the parent fluids. The mineral assemblage and compositions of minerals from Hostětice resemble the so-called *k-pol* type of base-metal veins widely occurring in the wider area, however, the formation temperatures seem to be somewhat lower at Hostětice in comparison with typical *k-pol* mineralization.

Key words: Hostětice, Českomoravská vrchovina Upland, Pb-Zn-(Ag) veins, sulfides, zýkaite

Obdrženo 1. 4. 2025; přijato 26. 5. 2025

Úvod

Českomoravská vrchovina je z metalogenetického hlediska typická přítomností velkého množství lokalit s polymetalickým zrudněním, které byly minimálně od středověku intenzivně zkoumány i těženy. Většina lokalit se soustřeďuje v oblastech tradičně označovaných jako revíry: nejznámější jsou rudní revíry jihlavský, havlíčkobrodský, pelhřimovský a štěpánovský. Množství mineralogických poznatků o „typových“ lokalitách těchto revírů zejména poslední dobou významně roste. Jsou však známy i izolované rudní výskyty, které nelze přiřadit do žádného z velkých „revírů“ - a o těchto (obvykle drobnějších) rudních výskytech je moderních informací minimum. K nim patří i polymetalické rudní výskyty v širším okolí Telče; předložený text je prvním ze zamýšlené série článků, které si kladou za cíl tuto informační mezeru postupně zaplnit.

Lokalita a geologická situace

Polymetalický rudní výskyt u Hostětice se nachází asi 0.5 km v. od Hostětice a 1.5 km zsz. od Telče, v lokalitě místně označované jako Na Vrších, případně Závrší. Historická těžba zde není známa; ve 30. letech 20. století zde bylo údajně vyhloubeno několik pokusných jam na tzv. Gregorově poli. Dnes lze v malém lesíku u silnice Hostětice-Telč pozorovat řadu zjevně antropogenních

depresí, z nichž některé by mohly být pozůstatky po této prospekční činnosti. GPS souřadnice jam, z nichž některé mají nepatrné obvaly po obvodu, jsou cca 49.19078° N a 15.41899° E (v systému WGS42). Na přilehlých zemědělsky obhospodařovaných pozemcích nejsou dnes žádné stopy po prospekci patrné. Další nejasné montánní pozůstatky byly nalezeny v lese asi 250 m na SZ. Jde o terénní deprese o průměru do asi 5 m a o hloubce kolem 1 m, některé s nevýraznými haldami. Zrudnělý materiál byl recentně nalezen pouze zcela ojediněle na přilehlých polích: jedná se o křemennou žilovinu se zrný sulfidů o velikosti do 1 mm.

Nejstarší zmínka o lokalitě je v kompendiu Kruti (1966): z pokusných dolů na tzv. Gregorově poli udává ankerit, chalcodon a sfalerit v křemenné žilovině. Mineralogicky lokalitu stručně charakterizují Houzar et al. (2021), kteří zde vyčlenili dva typy zrudnění: 1) arzenopyrit-pyritový a 2) galenit-sfalerit-arzenopyritový s chalcopyritem. Ze sekundárních minerálů uvádějí *limonit* a *cerusit*.

Z regionálně geologického hlediska leží lokalita v exokontaktu moldanubického plutonu. Granity moldanubického plutonu jsou od lokality vzdáleny asi 3 km směrem na západ. V jejím bezprostředním okolí jsou zastoupeny biotické pararuly se sillimanitem, místy i s cordieritem a cordieritické migmatity. V širším okolí Hostětice jsou v rulách i menší tělesa muskovit-biotitických jemnozrnných žul.

Materiál a metodika

Materiál ke studiu byl získán ze sbírek Muzea Vysočíny Jihlava; všechny vzorky pocházejí dle lokačních údajů z trati Závrší, případně Na Vrších a to z (cit.) „dolů na Gregorově poli“. V terénu nově získané vzorky nebyly pro nepatrný obsah rudních minerálů detailně studovány.

Z reprezentativních vzorků byly diamantovou pilou vyřezány zajímavější partie, zality epoxidovou pryskyřicí do formiček o průměru 1" a ze ztuhlých tablet byly zhotoveny leštěním pomocí diamantových suspenzí nábrusy. Dokumentace zhotovených preparátů v odraženém polarizovaném světle byla provedena na polarizačním mikroskopu Nikon Eclipse ME600, vybaveném digitální kamerou Nikon DXM1200F.

Následně byly nábrusy vakuově napařeny uhlíkovou vrstvou o tloušťce 30 nm a studovány na elektronové mikroskopě Cameca SX-100 (Národní muzeum, Praha, operátor Z. Dolníček). Na přístroji byly pořízeny snímky ve zpětně odražených elektronech (BSE), provedena identifikace jednotlivých fází pomocí energiově disperzních (EDS) spekter a kvantitativně měřeno chemické složení vybraných fází ve vlnově disperzním (WDS) modu. Při kvantitativních analýzách *kyslíkatých minerálů* byly použity následující podmínky: urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 20 nA (anatas), 10 nA (fylosilikáty), respektive 5 nA (karbonáty a sekundární fáze) a průměr elektronového svazku 0.7 μm (rutil), 2 μm (fylosilikáty), respektive 5 μm (karbonáty a sekundární fáze). V karbonátech a anglesitu byly měřeny obsahy Al, Ba, Ca, Co, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Si, Sr a Zn, v arsenátech Al, As, Ca, Cl, Cr, Cu, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, P, Pb, S, Sb, Si, Sr, V a Zn, v anatasu Al, As, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn, Mo, N, Na, Nb, P, Pb, S, Sc, Si, Sn, Ta, U, V, W, Y a Zr a ve fylosilikátech obsahy Al, Ba, Ca, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Si, Ti, V a Zn. Při analýzách byly použity následující standardy a analytické čáry: albit (NaK α), almandin (AlK α , FeK α), antimonit (SbL α), apatit (PK α , CaK α), baryt (BaL β), BN (NK α), Bi (BiM α), celestin (SK α , SrL β), CePO $_4$ (CeL α), Co (CoK α), Cr $_2$ O $_3$ (CrK α), CrTa $_2$ O $_6$ (TaL α), Cs-sklo (CsL α), diopsid (MgK α), halit (ClK α), chalkopyrit (CuK α), klinoklas (AsL α), LiF (FK α), Nb (NbL α), Ni (NiK α), Rb-Ge-sklo (RbL α), rodonit (MnK α), sanidin (AlK α , KK α , SiK α), scheelit (WL α), ScVO $_4$ (ScK α), Sn (SnL α), TiO $_2$ (TiK α), UO $_2$ (UM α), V (VK α), vanadinit (PbM α), wollastonit (CaK α , SiK α), wulfenit (MoL α), YVO $_4$ (YL α), zinkit (ZnK α), zirkon (ZrL α). Při bodových analýzách *sulfidů a bismutu* bylo použito urychlovací napětí 25 kV, proud svazku 20 nA a průměr elektronového svazku 0.7 μm . Použité standardy, měřené prvky a analytické čáry: albit (NaK α), Ag (AgL α), Au (AuM α), baryt BaL α , Bi $_2$ S $_3$ (BiM β), CdTe (CdL α), Co (CoK α), CuFeS $_2$ (CuK α , SK α), FeS $_2$ (FeK α), GaAs (GaL α), Ge (GeL α), HgTe (HgL α), InAs (InL α), Mn (MnK α), NaCl (ClK α), NiAs (AsL β), Ni (NiK α), PbS (PbM α), PbSe (SeL β), PbTe (TeL α), sanidin (KK α), Sb $_2$ S $_3$ (SbL α), Sn (SnL α) a ZnS (ZnK α). Měřicí časy na píku se pohybovaly obvykle mezi 10 a 30 s (pro dusík 120 s), měřicí časy pozadí trvaly polovinu času měření na píku. Načtená data byla přepočítána na obsahy oxidů vyjádřené v hm. %, s použitím standardní PAP korekce (Pouchou a Pichoir 1985). Získaná data byla korigována na koincidence P vs. Ca, Na vs. Zn, Ag vs. Cd a Sb vs. As. Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou uvedeny v tabulkách WDS analýz, byly ve všech případech pod mezí stanovitelnosti. Obsah kyslíku v kyslíkatých fázích byl dopočten ze stechiometrie.

Identita anatasu a arsenátů byla ověřena pomocí *in situ* mikroRamanovy spektroskopie. Ramanova spektra byla získána pomocí disperzního spektrometru DXR (Thermo Scientific) spojeného s konfokálním mikroskopem Olympus (Národní muzeum Praha). Podmínky měření: zvětšení objektivu 100 $\times$, použitý laser 532 nm, výkon laseru 8 - 10 mW, rozsah měření 50 - 4000 cm^{-1} , doba expozice 1 s, celkový počet expozic 3600, použitá apertura 50 μm pin-hole, mřížka 400 vrypů/mm. Měřená oblast měla průměr cca 0.6 μm a odhadované spektrální rozlišení dosahovalo cca 5 cm^{-1} . Spektrometr byl kalibrován pomocí softwarově řízené procedury s využitím emisních linií neonu (kalibrace vlnočtu), Ramanových pásů polystyrenu (kalibrace frekvence laseru) a standardizovaného zdroje bílého světla (kalibrace intenzity). Získaná spektra byla vizualizována v programu Omnic 9 (Thermo Scientific). Identifikace minerálu byla provedena automatickým porovnáním pozic píků s referenčními spektry minerálů v databázi RRUFF.

Izotopové analýzy síry sulfidů byly provedeny v laboratořích České geologické služby (analytik I. Jačková, B. Čejková). Vzorek měřeného sulfidu s přísadkou V $_2$ O $_5$ byl zabalen do cínového kelímku. Takto připravený vzorek je spálením za teploty 1000 $^{\circ}\text{C}$ v analyzátoru Carlo Erba NC 1500 převeden na SO $_2$. Plyn je následně veden na chromatografickou kolonu (Porapak QS) a přes ConFlo II (injektáž referenčního SO $_2$ a ředění vzorku) do hmotnostního spektrometru Thermo Finnigan MAT 251. Celková chyba stanovení izotopového složení síry vyjádřeného pomocí běžně užívané hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ je ± 0.15 ‰. Izotopové složení síry je vztaženo k mezinárodnímu standardu CDT. Přesnost měření byla kontrolována mezinárodními standardy IAEA-S-1, IAEA-S-2, IAEA-S-3.

Charakteristika mineralizace

Rudní minerály (makroskopicky sfalerit, galenit a arsenopyrit) tvoří vtroušeniny v šedém křemeni nebo v prokřemenělých hydrotermálně alterovaných rulách. Velikost zrn sulfidů je obvykle do 2 - 3 mm, jen zcela ojediněle tvoří shluky zrn i větší akumulace - největší pozorovaný agregát sfaleritu měl asi 3 cm. Křemen je masivní, jen vzácně s dutinami s drobnými (do cca 3 mm) krystaly.

Podrobnější mineralogické studium ve světelném odrazovém mikroskopu a na elektronové mikroskopě potvrdilo poměrně jednoduché minerální složení hypogenní nerostné asociace. Dále byly zjištěny i tři minerály jasně supergenního původu.

Primární (hypogenní) mineralizace

Nerudní minerály

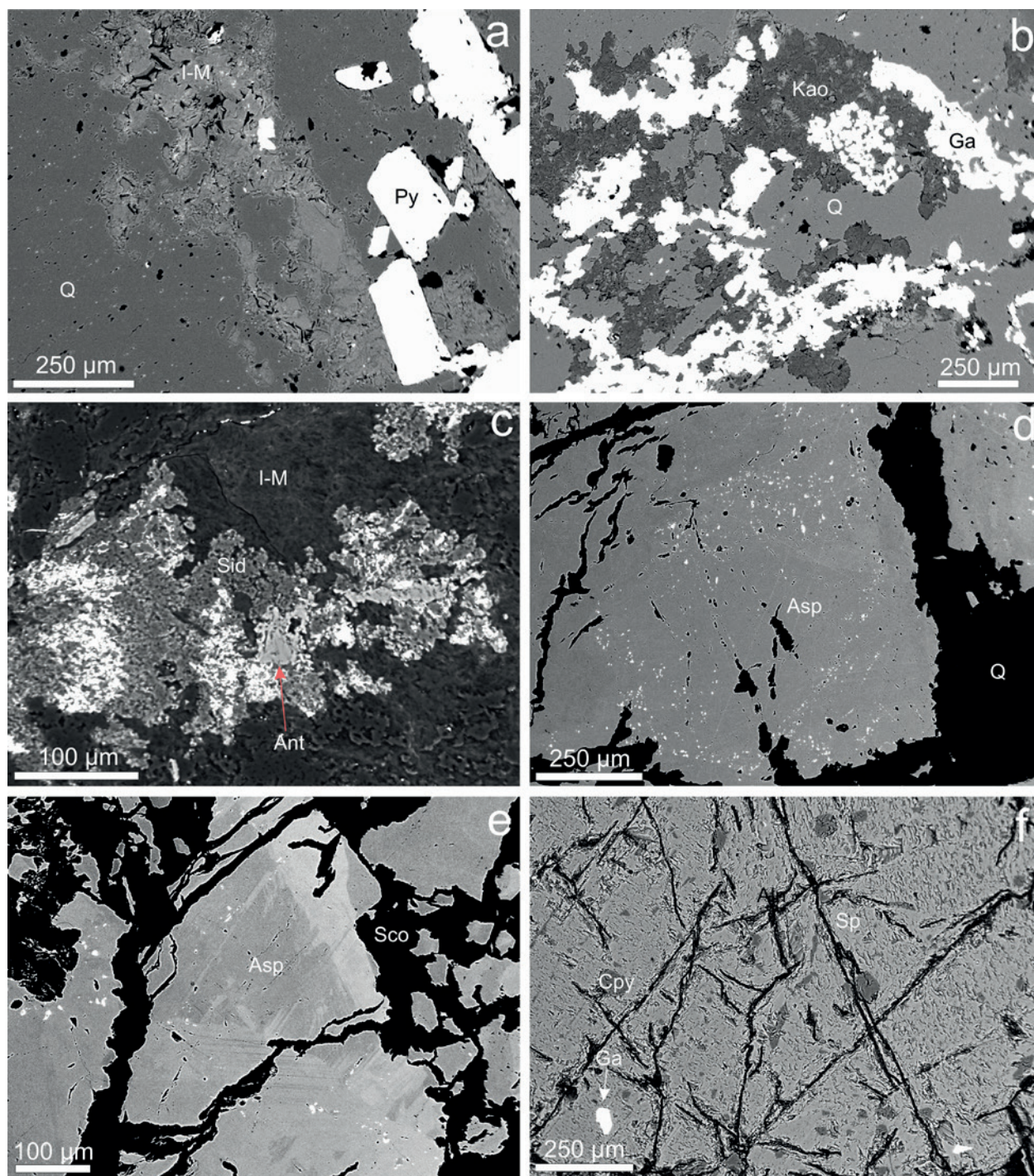
Křemen je hlavní složkou hlušiny studovaných vzorků. Vytváří obvykle masivní žilovinu bez dutin, v níž jsou uzavírány jednotlivé krystaly či drobná hnízda rudních minerálů. Křemen spolu se sulfidy také uzavírá drobná hnízda tvořená fylosilikáty a sideritem (obr. 1a-c).

Světlá slída je vedlejší komponentou žiloviny. Vytváří nepravidelné agregáty v křemeni o velikosti až několika mm, složené z drobných izometrických individuí o velikosti prvních jednotek μm (obr. 1a). Zonalita není v BSE obraze patrná. Přepočet 22 získaných WDS analýz (tab. 1) na bezvodou bázi 11 atomů kyslíku ukázal obsah Si vždy vyšší než je teoretická hodnota 3 *apfu* muskovitu (3.05 - 3.20 *apfu*), jenž je kompenzován nižšími obsahy Al (2.43 - 2.66 *apfu*) a zvýšenými obsahy Mg (0.14 - 0.22 *apfu*), méně Fe (0.05 - 0.11 *apfu*), ve stopách i Ti (0.01 *apfu*). Obsah

mezivrstevních kationtů kolísá mezi 0.80 a 0.89 *apfu* (tab. 1). Dominuje mezi nimi K, zatímco obsahy dalších prvků jsou velmi malé (max. 0.04 *apfu* Na, max. 0.003 *apfu* Ca). Obsah F je nízký a kolísá mezi 0.05 a 0.09 *apfu*. Průměrné body získaných analýz padají okolo klasifikační hranice **muskovitu** a **illitu** ve smyslu klasifikace Riedera et al. (1998; obr. 2). V jednom agregátu slídy zjištěné variabilní obsahy Pb a Zn (do 1.10 hm. % PbO a max. 0.65 hm. % ZnO) patrně náležejí kontaminaci supergenními fázemi,

které daný objekt impregnují. Průměrný empirický vzorec světlé slídy z Hostětice je $(K_{0.83}Na_{0.01})_{\Sigma=0.85}(Al_{2.57}Ti_{0.01}Mg_{0.17}Fe_{0.07})_{\Sigma=2.82}Si_{3.12}O_{10}(OH_{1.93}F_{0.07})_{\Sigma=2.00}$.

Minerál kaolinitové skupiny byl zaznamenán v malém množství v jednom nábrusu. Vytváří zde nepravidelné shluky o velikosti až 0.5 mm tvořené drobnými zrny v křemen-sulfidické žilovině s obsahem chalkopyritu a galenitu (obr. 1b). Zonalita minerálu není v obraze BSE patrná. Osm WDS analýz (tab. 1) ukázalo vedle hlavních kom-



Obr. 1 Minerální asociace studovaných vzorků na BSE snímcích. a - shluky illit-muskovitu (I-M) a krystaly pyritu (Py) v křemeni (Q). b - agregáty minerálu z kaolinitové skupiny (Kao) v asociaci s galenitem (Ga) v křemeni. c - anatas (Ant) v agregátu sideritu (Sid) a supergenních fází Pb (bílě) v illit-muskovitu. d - arzenopyrit (Asp) s hojnými drobnými uzavřeninami ryzího bismutu (bílě). e - zonální arzenopyrit (Asp) s ojedinělými uzavřeninami ryzího bismutu (bílě). Arzenopyrit je podél prasklin zatlačován skoroditem (Sco). f - sfalerit (Sp) s inkluzemi chalkopyritu (Cpy) a galenitu (Ga). Všechny snímky Z. Dolníček.

ponent (Al, Si) i malé obsahy Fe (do 0.02 *apfu*; bezvodá báze přepočtu na sedm atomů kyslíku) a v části analýz i K (do 0.04 *apfu*). Základní stechiometrie odpovídá mine-reálu kaolinitové skupiny (Al:Si = 1:1); lokálně zvýšené obsahy K nasvědčují přítomnosti slídové fáze. Průměrný empirický vzorec minerálu z kaolinitové skupiny z Hostětice je $(\text{Al}_{2.00}\text{Fe}_{0.01}\text{K}_{0.01})_{\Sigma=2.02}\text{Si}_{1.97}\text{O}_5(\text{OH})_4$.

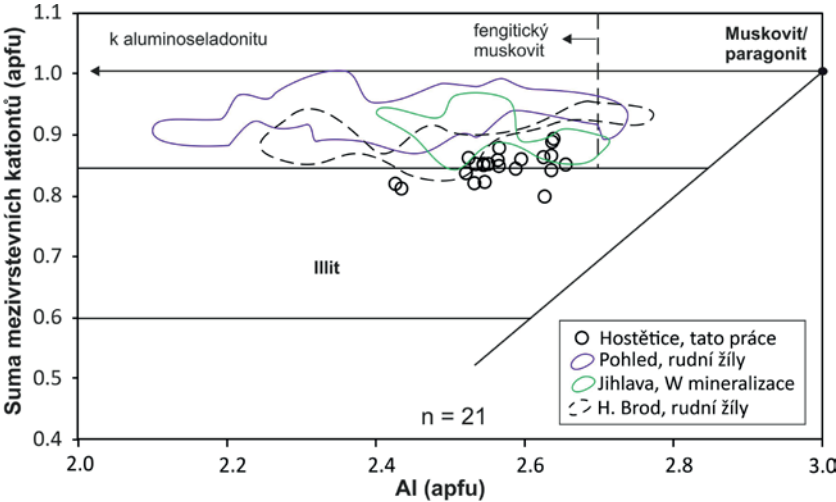
Siderit je ve studovaných vzorcích jen akcesoricky zastoupenou hlušinovou složkou, zastiženu v jednom vzorku. Vytváří jednak jemně zrnité agregáty, složené z izometrických xenomorfně omezených zrn o velikosti setin mm, jež jsou ojedinělou součástí shluků fylosilikátů uzavíraných v křemenné žilovině (obr. 1c). Ojediněle byl zaznamenán i výskyt většího (kolem 50 μm) automorfně omezeného krystalu sideritu klencového tvaru v křemenu v sousedství sfaleritu, jež je slabě zatlačován agregátem

sfaleritu a chalkopyritu. Tento krystal je nevýrazně zonální v obraze BSE, s tmavším jádrem a světlejší vnější růstovou zónou. Chemické složení obou texturních typů sideritu bylo ověřeno prostřednictvím 16 WDS analýz (tab. 2). Krystal je chudší magnezitovou komponentou ($\text{Sid}_{66-79}\text{Mag}_{19-33}\text{Rdc}_{1-2}\text{Cal}_{0-1}\text{Smi}_{0-1}$) než jemnozrnný agregát ve fylosilikátu ($\text{Sid}_{52-58}\text{Mag}_{32-43}\text{Rdc}_{1-3}\text{Cal}_{1-2}\text{Smi}_{1-2}$), zatímco obsahy minoritních komponent jsou v obou typech vzájemně dobře srovnatelné. Klasifikačně jde tedy o **siderity** až Mg-bohaté siderity ve smyslu klasifikačního schématu Trdličky a Hoffmana (1975; obr. 3). Nelze vyloučit, že v sideritu asociovaném s fylosilikáty jsou v části analýz zaznamenané zvýšené obsahy Pb způsobeny jemnými impregnacemi přítomných supergenních minerálů Pb, podobně jako u části analýz slíd z téhož nábrusu. Podobně interpretovatelné jsou zřejmě malé obsahy Cu, zazname-

Tabulka 1 Příklady chemického složení fylosilikátů (*Msc* – muskovit, *Ill* – illit, *Kao* – minerál z kaolinitové skupiny) z lokality Hostětice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bezvodou bázi 11 (*Msc*, *Ill*) či sedmi (*Kao*) atomů kyslíku na vzorcovou jednotku. $I^{\text{tot}} = \text{Ba} + \text{Na} + \text{K}$. b.d. - pod mezí stanovitelnosti.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Minerál	Msc	Msc	Msc	Msc	Msc	Ill	Ill	Ill	Ill	Kao	Kao	Kao	Kao
P ₂ O ₅	0.08	0.08	0.08	b.d.	b.d.	0.07	0.09	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.06	0.06
SiO ₂	46.95	47.72	46.85	48.60	48.50	49.38	47.80	48.99	48.86	45.69	46.31	45.17	45.29
TiO ₂	0.12	0.14	0.15	0.13	0.12	0.18	0.11	0.16	0.13	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Al ₂ O ₃	34.35	33.20	33.80	34.73	35.02	34.06	34.99	34.18	34.49	39.03	39.80	38.70	39.53
MgO	1.87	1.93	1.77	1.57	1.76	1.95	1.85	1.90	1.81	b.d.	0.06	b.d.	0.21
FeO	1.21	1.79	2.11	1.28	1.10	1.43	1.36	1.28	1.36	0.15	0.17	0.14	0.48
BaO	0.15	0.12	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.14	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Na ₂ O	0.17	b.d.	0.17	0.14	0.11	0.07	b.d.	0.07	0.08	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
K ₂ O	10.40	10.24	10.09	10.34	10.46	10.06	10.33	10.34	10.19	b.d.	0.04	b.d.	0.48
F	0.33	0.46	0.42	0.27	0.30	0.36	0.40	0.37	0.36	b.d.	b.d.	b.d.	0.22
Celkem	95.63	95.68	95.44	97.06	97.37	97.56	96.93	97.29	97.42	84.87	86.38	84.07	86.27
P	0.004	0.004	0.004	b.d.	b.d.	0.004	0.005	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.002	0.002
Si	3.060	3.091	3.052	3.117	3.097	3.132	3.055	3.120	3.111	1.993	1.986	1.989	1.937
Ti	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.009	0.005	0.008	0.006	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Al	2.639	2.535	2.596	2.626	2.636	2.547	2.636	2.566	2.588	2.006	2.012	2.008	1.992
Mg	0.182	0.186	0.172	0.150	0.168	0.184	0.176	0.180	0.172	b.d.	0.004	b.d.	0.013
Fe ²⁺	0.066	0.097	0.115	0.069	0.059	0.076	0.073	0.068	0.072	0.005	0.006	0.005	0.017
Ba	0.004	0.003	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.003	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Na	0.021	b.d.	0.021	0.017	0.014	0.009	b.d.	0.009	0.010	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
K	0.865	0.846	0.839	0.846	0.852	0.814	0.842	0.840	0.828	b.d.	0.002	b.d.	0.026
F	0.068	0.094	0.087	0.055	0.061	0.072	0.081	0.075	0.072	b.d.	b.d.	b.d.	0.030
Catsum	6.843	6.765	6.802	6.831	6.831	6.771	6.788	6.790	6.790	4.004	4.010	4.002	3.986
I^{tot}	0.894	0.852	0.860	0.864	0.866	0.823	0.842	0.849	0.845	0.000	0.002	0.000	0.026

Obr. 2 Variace v chemismu světlých slíd ze studované mineralizace v diagramu Al vs. I^{tot} podle Maydagán et al. (2016) s hranicemi pro illit modifikovanými podle Riedera et al. (1998). Srovnávací data z lokalit Pohled (havlíckobrodský rudní revír), Havlíčkův Brod (havlíckobrodský rudní revír) a Jihlava (jihlavský rudní revír) jsou převzata z prací Dolníčka et al. (2023 a 2024) a Pauliše et al. (2022, 2024).



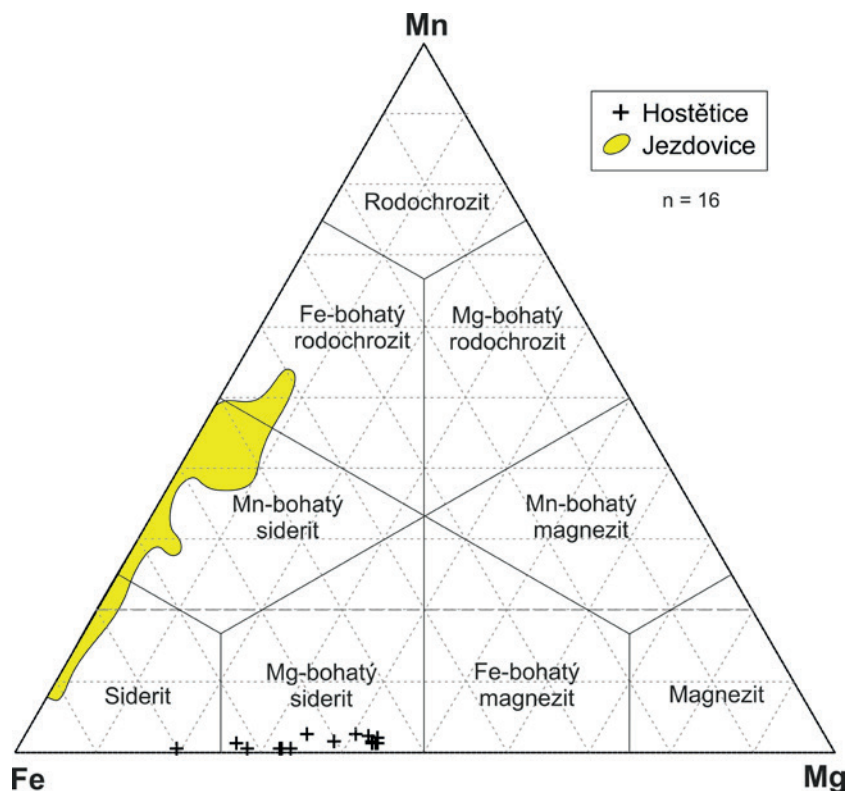
nané jen u analýz pořízených v sousedství chalkopyritu. Průměrný empirický vzorec sideritu z Hostětice, vypočítaný na bázi 1 kationtu kovů na vzorcovou jednotku, je $(\text{Fe}_{0.60}\text{Mg}_{0.36}\text{Mn}_{0.02}\text{Ca}_{0.01}\text{Zn}_{0.01})_{\Sigma=1.00}\text{CO}_3$.

Anatas je akcesorickou komponentou muskovit-sideritových agregátů, zastiženou v jednom nábrusu. Jeho mírně protažená až izometrická xenomorfně omezená zrna jsou jednotlivě rozptýlena v sideritu a dosahují veli-

Tabulka 2 Příklady chemického složení sideritu z lokality Hostětice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na základ jednoho kationtu na vzorcovou jednotku, obsahy koncových členů jsou v mol. %. Obsahy pravděpodobně anizominerálního Al a Si byly při výpočtu hodnot apfu ignorovány. b.d. - pod mezí stanovitelnosti.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SO ₃	0.24	0.15	0.08	b.d.	0.09	b.d.	0.12	b.d.	b.d.	0.05	b.d.	0.06	b.d.
SiO ₂	2.24	2.37	2.44	2.42	1.29	0.51	3.68	1.65	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Al ₂ O ₃	3.74	2.95	2.06	2.55	0.72	0.40	2.42	2.05	b.d.	0.06	b.d.	b.d.	b.d.
MgO	15.32	15.92	16.70	16.96	16.01	17.42	12.08	14.50	13.24	12.92	10.98	10.16	7.36
CaO	0.65	0.72	0.62	0.70	0.51	0.39	0.54	1.10	0.61	0.67	0.40	0.10	0.18
MnO	0.95	1.20	1.12	1.21	2.00	2.00	1.73	1.23	0.60	0.57	0.59	1.14	0.51
FeO	34.55	36.55	37.25	39.00	40.31	41.10	39.33	40.31	46.39	47.85	49.53	49.68	53.60
ZnO	1.82	1.38	0.68	0.34	1.64	0.26	4.47	0.24	0.99	0.27	0.20	0.07	0.23
PbO	2.63	1.56	1.28	0.25	1.08	b.d.	2.02	0.31	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
CuO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.12	b.d.	b.d.	b.d.	0.23	0.15	0.21	0.46	0.25
Celkem	62.14	62.80	62.23	63.43	63.77	62.08	66.39	61.39	62.06	62.54	61.91	61.67	62.13
S	0.003	0.002	0.001	b.d.	0.001	b.d.	0.002	b.d.	b.d.	0.001	b.d.	0.001	b.d.
Mg	0.413	0.413	0.425	0.421	0.389	0.415	0.317	0.374	0.326	0.317	0.277	0.260	0.193
Ca	0.013	0.013	0.011	0.013	0.009	0.007	0.010	0.020	0.011	0.012	0.007	0.002	0.003
Mn	0.015	0.018	0.016	0.017	0.028	0.027	0.026	0.018	0.008	0.008	0.008	0.017	0.008
Fe	0.523	0.531	0.532	0.544	0.549	0.549	0.579	0.583	0.640	0.658	0.702	0.714	0.789
Zn	0.024	0.018	0.009	0.004	0.020	0.003	0.058	0.003	0.012	0.003	0.003	0.001	0.003
Pb	0.013	0.007	0.006	0.001	0.005	b.d.	0.010	0.001	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Cu	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.001	b.d.	b.d.	b.d.	0.003	0.002	0.003	0.006	0.003
Catsum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Mag	41.3	41.3	42.5	42.1	38.9	41.5	31.7	37.4	32.6	31.7	27.7	26.0	19.3
Cal	1.3	1.3	1.1	1.3	0.9	0.7	1.0	2.0	1.1	1.2	0.7	0.2	0.3
Rdc	1.5	1.8	1.6	1.7	2.8	2.7	2.6	1.8	0.8	0.8	0.8	1.7	0.8
Sid	52.3	53.1	53.2	54.4	54.9	54.9	57.9	58.3	64.0	65.8	70.2	71.4	78.9
Smi	2.4	1.8	0.9	0.4	2.0	0.3	5.8	0.3	1.2	0.3	0.3	0.1	0.3
Cer	1.3	0.7	0.6	0.1	0.5	0.0	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Celkem	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	100.0	100.0	100.0	99.7	99.8	99.7	99.4	99.7

Obr. 3 Variace v chemismu sideritu ze studované mineralizace v diagramu Fe-Mn-Mg podle Trdličky a Hoffmana (1975). Srovnávací data z Jezdovic (jihlavský rudní revír) jsou nepublikovaná data autorů.



kosti do 30 μm (obr. 1c). Zonalita není v obraze BSE patrná. Chemické složení bylo ověřeno pěti WDS analýzami (tab. 3). Průběžné jsou příměsi Fe (0.005 - 0.008 *apfu*; báze přepočtu na dva atomy kyslíku) a Nb (0.001 - 0.002 *apfu*), v části analýz pak byly dále zaznamenány malé obsahy Ca, Al a Si (do 0.002 *apfu*). Průměrný empirický vzorec anatasu z Hostětice je $(\text{Ti}_{0.99}\text{Fe}_{0.01})_{\Sigma=1.00}\text{O}_2$. Identita minerálu byla potvrzena Ramanovou spektroskopií. Ramanovo spektrum obsahuje velmi výrazný pík při 153 cm^{-1} (s malým raménkem při 199 cm^{-1}), dále pak středně silný pík při 638 cm^{-1} a dva slabé píky při 519 a 400 cm^{-1} . Dle referenčních spekter obsažených v databázi RRUFF jde jednoznačně o anatas.

Rudní minerály

Arsenopyrit je zcela převažující rudní složkou v jednom ze studovaných nábrusů. Vytváří automorfně až xenomorfně omezená zrna o velikosti až 1 mm, která místy ve středních partiích uzavírají drobné inkluze ryzího bismutu (obr. 1d). V BSE obraze je v některých případech patrná jednoduchá, oscilační, či sektorová zonalita zrn a krystalů arsenopyritu (obr. 1e). Provedené bodové

Tabulka 3 Chemické složení anatasu z lokality Hostětice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bázi dvou atomů kyslíku na vzorcovou jednotku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti.

An. č.	1	2	3	4	5
Nb_2O_5	0.28	0.19	0.20	0.22	0.23
SiO_2	0.15	b.d.	b.d.	0.16	b.d.
TiO_2	99.57	99.59	99.45	99.11	99.21
Al_2O_3	0.10	0.05	b.d.	b.d.	b.d.
Fe_2O_3	0.83	0.67	0.46	0.50	0.57
CaO	0.06	b.d.	b.d.	0.04	b.d.
Celkem	100.99	100.50	100.11	100.03	100.01
Nb	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
Si	0.002	b.d.	b.d.	0.002	b.d.
Ti	0.988	0.993	0.995	0.992	0.994
Al	0.002	0.001	b.d.	b.d.	b.d.
Fe^{3+}	0.008	0.007	0.005	0.005	0.006
Ca	0.001	b.d.	b.d.	0.001	b.d.
Catsum	1.002	1.002	1.001	1.001	1.001

Tabulka 4 Příklady chemického složení arsenopyritu z lokality Hostětice. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na základ tří atomů na vzorcovou jednotku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fe	34.54	34.69	34.87	34.92	34.90	34.70	34.56	34.53	34.65	34.70	34.25	34.52	34.14	34.13
Co	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.07	0.15	0.19	0.21	0.35
As	46.75	46.55	45.74	45.79	45.79	46.72	46.86	46.63	46.65	46.08	47.92	46.16	48.07	47.27
S	19.58	19.74	20.07	20.20	20.26	19.55	19.46	19.58	19.56	20.08	18.76	20.07	18.82	19.25
Celkem	100.87	100.98	100.68	100.91	100.95	100.97	100.88	100.74	100.86	100.93	101.08	100.94	101.24	101.00
Fe	1.001	1.003	1.007	1.005	1.004	1.005	1.003	1.002	1.004	1.000	1.000	0.995	0.995	0.992
Co	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.002	0.004	0.005	0.006	0.010
Catsum	1.001	1.003	1.007	1.005	1.004	1.005	1.003	1.002	1.004	1.002	1.004	1.000	1.001	1.001
As	1.010	1.003	0.984	0.982	0.982	1.009	1.014	1.009	1.008	0.990	1.043	0.992	1.044	1.024
S	0.989	0.994	1.009	1.013	1.015	0.986	0.984	0.990	0.988	1.008	0.954	1.008	0.955	0.975
Ansum	1.999	1.997	1.993	1.995	1.996	1.995	1.997	1.998	1.996	1.998	1.996	2.000	1.999	1.999
As/(As+S)	0.51	0.50	0.49	0.49	0.49	0.51	0.51	0.50	0.51	0.50	0.52	0.50	0.52	0.51

WDS analýzy ($n = 26$) ukázaly, že chemismus arsenopyritu z Hostětice je velmi jednoduchý. Pozorovaná zonalita je způsobena zejména malým kolísáním poměru S/As, v menší míře i Fe/Co (tab. 4). V BSE obraze mají světlejší partie více As či Co. Poměr As/(As+S) se pohybuje mezi 0.49 a 0.52. Železo je v části analýz nepatrně zastupováno Co (max. 0.010 *apfu*; báze přepočtu na tři atomy na vzorcovou jednotku). Korelace mezi obsahy Co a As, jinak běžná u přírodních arsenopyritů (např. Klemm 1965; Kretschmar a Scott 1976; Sundblad et al. 1984), je v tomto případě statisticky neprůkazná ($R^2 = 0.29$).

Pyrit je ve studovaných vzorcích vedlejší sulfidickou minerální fází. Vytváří jednotlivá zrna a jejich shluky, vtoušené v křemenné či křemen-slídové žilovině. V nábruse je pyrit automorfně (obr. 1a), hypautomorfně i xenomorfně omezen a jeho zrna mají izometrický tvar. Zrna mají homogenní vnitřní stavbu, zapříčiněnou absencí porozity či variací v chemismu. Ojedinele je pyrit žilkovitě pronikán mladšími minerály (chalkopyritem, galenitem). Běžně, ale v malém množství, se v pyritu vyskytují drobné okrouhlé inkluze dalších sulfidů (zejména galenitu a sfaleritu). Chemické složení pyritu bylo ověřeno sedmi WDS analýzami (tab. 5). Je obvykle velmi jednoduché, vedle Fe a S byly zjištěny jen průběžné stopové obsahy Pb (0.001 *apfu*; báze přepočtu jeden kovový kationt na vzorcovou

Tabulka 5 Příklady chemického složení pyritu z lokality Hostětice. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na základ jednoho atomu kovů na vzorcovou jednotku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti.

An. č.	1	2	3	4	5	6
Cu	b.d.	0.05	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Fe	46.85	45.94	45.77	46.44	46.55	45.90
Ni	0.15	b.d.	0.20	0.18	b.d.	b.d.
Zn	b.d.	0.09	b.d.	b.d.	b.d.	0.07
Pb	b.d.	0.10	0.19	0.14	0.11	0.11
As	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.23
S	53.91	53.48	53.34	53.76	53.59	53.10
Celkem	100.91	99.66	99.50	100.52	100.25	99.41
Cu	b.d.	0.001	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Fe	0.997	0.997	0.995	0.996	0.999	0.998
Ni	0.003	b.d.	0.004	0.004	b.d.	b.d.
Zn	b.d.	0.002	b.d.	b.d.	b.d.	0.001
Pb	b.d.	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Catsum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
As	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.004
S	1.998	2.021	2.020	2.008	2.004	2.011
Ansum	1.998	2.021	2.020	2.008	2.004	2.015

jednotku). Sporadicky byly dále naměřeny slabě zvýšené obsahy Ni či As (oba prvky max. 0.004 *apfu*). Ojediněle zjištěné obsahy Zn (až 0.011 *apfu*) jsou patrně kontaminací ze sousedícího sfaleritu. Průměrný empirický vzorec pyritu z Hostětice je $\text{Fe}_{1.00}\text{S}_{2.01}$.

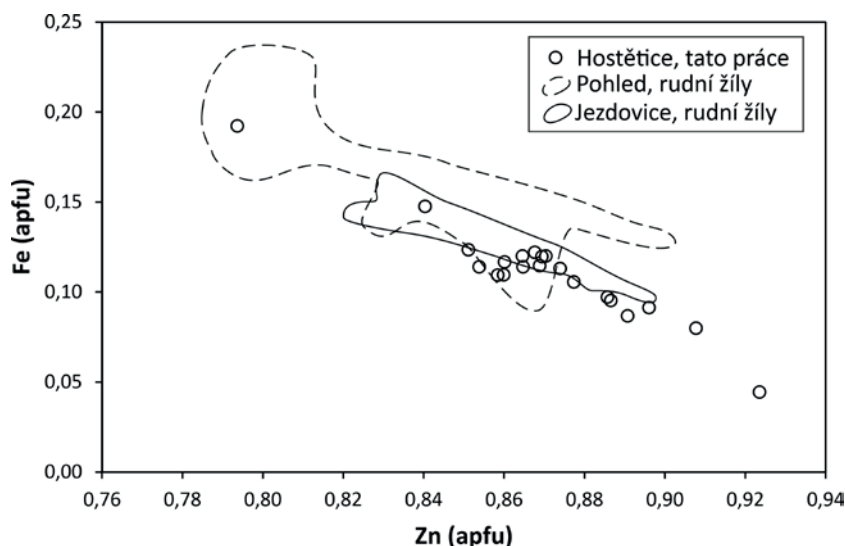
Sfalerit je ve studovaných vzorcích běžným sulfidem, který reprezentuje jednu z hlavních rudních složek. Makroskopicky vytváří černá, štěpná zrna s polokovovým leskem, o velikosti maximálně do 7 mm, obvykle však jen do 1 - 2 mm. V nábrusu sfalerit tvoří zrna izometrického tvaru, jež jsou vždy xenomorfně omezena. Vyskytuje se zejména v asociaci s prakticky všemi dalšími sulfidy. Vedle samostatných zrn se vyskytuje i v podobě drobných okrouhlých inkluzí v pyritu, jež jsou lokalizovány buď samostatně nebo ve shlucích. Chalkopyrit ve sfaleritu velmi často vytváří izometrické, xenomorfně omezené inkluze („chalkopyritová infekce“), jež jsou obvykle ve sfaleritu rovnoměrně distribuované (obr. 1f). Při pozorování v režimu zkřížených nikolů je sfalerit izotropní, velmi vzácně s patrnými vnitřními reflexy tmavohnědé barvy. V BSE obraze je nezonální. Chemické složení sfaleritu bylo studováno na základě 21 WDS analýz (tab. 6). Zinek je zčásti zastupován zejména Fe, Mn a Cd. Obsah Fe kolísá mezi 0.044 a 0.192 *apfu* (báze přepočtu 1 kovový kationt na vzorcovou jednotku), zatímco další prvky jsou většinou

přítomny v řádově nižších koncentracích (0.005 - 0.006 *apfu* Cd, 0.001 - 0.008 *apfu* Mn). Zhruba ve třetině analýz byly zaznamenány malé obsahy In (max. 0.0006 *apfu*) a ve dvou třetinách i kolísavé koncentrace Cu (až 0.025 *apfu*), u nichž ovšem nelze vzhledem ke značné rozkolísanosti hodnot vyloučit, že může jít o kontaminaci z inkluzí chalkopyritu. Vzhledem k tomu, že jedinou významně zastoupenou příměsí je ve sfaleritu vždy Fe, tak mezi obsahy Fe a Zn existuje statisticky velmi významná negativní korelace ($R^2 = 0.92$; obr. 4). Mezi obsahy Fe a dalších vedlejších prvků (Mn, Cd a Cu) korelace neexistují ($R^2 = 0.27, 0.03$ a 0.16). Průměrný empirický vzorec sfaleritu z Hostětice je $(\text{Zn}_{0.87}\text{Fe}_{0.11}\text{Cu}_{0.01}\text{Cd}_{0.01})_{\Sigma=1.00}\text{S}_{1.00}$.

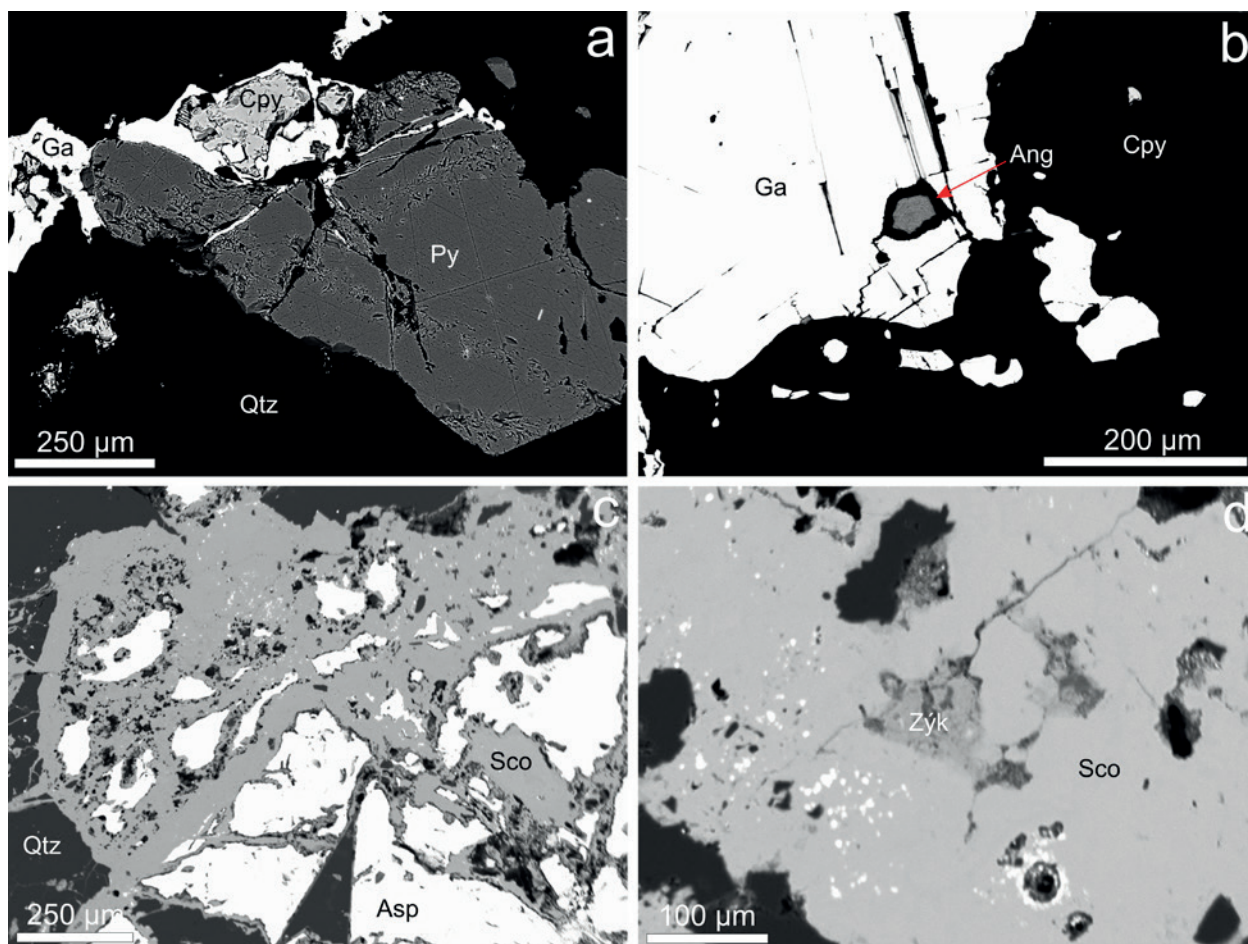
Chalkopyrit je ve studovaných vzorcích z pohledu kvantitativního zastoupení vedlejším až akcesorickým minerálem. Vyskytuje se obvykle v podobě izometrických xenomorfně omezených zrn o velikosti do 0.2 mm, zčásti obrůstáných mladším galenitem (obr. 5a). Druhou velmi běžnou formou výskytu jsou drobné inkluze uzavírané ve sfaleritu, tzv. „chalkopyritová infekce“ (obr. 1f). Projevy anizotropie ani polysyntetické lamelování chalkopyritu nebyly zjištěny. V BSE obraze je chalkopyrit homogení. Bodové WDS analýzy ($n = 13$) ukázaly složení blízké ideálnímu vzorci, s nepatrným přebytkem mědi oproti železu. Ve třech analýzách byly zjištěny nepatrné obsa-

Tabulka 6 Příklady chemického složení sfaleritu z lokality Hostětice. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na základ dvou atomů na vzorcovou jednotku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Cu	1.68	b.d.	0.92	0.49	0.39	0.44	1.41	1.42	b.d.	0.33	1.02	0.17	b.d.
Mn	0.04	0.37	0.17	0.24	0.31	0.29	0.29	0.28	0.24	0.27	0.22	0.23	0.46
Fe	2.55	4.59	5.07	5.53	5.67	6.16	6.40	6.65	6.93	7.01	7.18	8.51	11.14
Zn	62.09	61.03	60.95	60.18	60.47	59.89	58.76	58.32	58.83	59.09	57.90	56.73	53.82
Cd	0.65	0.67	0.68	0.71	0.68	0.63	0.65	0.66	0.62	0.67	0.67	0.57	0.66
In	b.d.	b.d.	b.d.	0.04	b.d.	b.d.	0.05	0.04	b.d.	b.d.	0.04	b.d.	0.04
S	33.04	32.85	33.49	33.38	33.64	33.54	33.74	33.46	33.38	33.69	33.68	33.33	33.55
Celkem	100.05	99.51	101.28	100.57	101.16	100.95	101.30	100.83	100.00	101.06	100.71	99.65	99.67
Cu	0.026	b.d.	0.014	0.007	0.006	0.007	0.021	0.021	b.d.	0.005	0.015	0.003	b.d.
Mn	0.001	0.007	0.003	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.004	0.008
Fe	0.044	0.080	0.087	0.095	0.097	0.106	0.109	0.114	0.120	0.120	0.124	0.148	0.192
Zn	0.924	0.908	0.891	0.887	0.886	0.877	0.858	0.854	0.870	0.865	0.851	0.840	0.794
Cd	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006
In	b.d.	b.d.	b.d.	0.000	b.d.	b.d.	0.000	0.000	b.d.	b.d.	0.000	b.d.	0.000
Catsum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
S	1.002	0.996	0.998	1.003	1.005	1.002	1.005	0.999	1.007	1.005	1.010	1.007	1.009



Obr. 4 Variace v chemismu sfaleritu ze studované mineralizace v diagramu Zn vs. Fe. Srovnávací data z lokality Pohled (havlíčkovský rudní revír) jsou převzata z prací Mastíkové (2009 a 2011), Dolníčka et al. (2023 a 2024); srovnávací data z lokality Jezdovice (jihlavský rudní revír) jsou nepublikovaná data autorů.



Obr. 5 Minerální asociace studovaných vzorků na BSE snímcích. a - pyrit (Py) s inkluzí chalkopyritu (Cpy) lemovanou galenitem (Ga). b - uzavřenina anglesitu (Ang) při okraji shluku galenitu (Ga) v sousedství chalkopyritu. c - zatlačování arsenopyritu (Asp) kompozičně homogenním skoroditem (Sco). d - drobný agregát pravděpodobného zýkaitu (Zyk) ve skoroditu. Snímky Z. Dolníček.

hy Pb (0.001 *apfu*; báze přepočtu dva kationty kovů na vzorcovou jednotku), ostatní analýzy jsou zcela bez příměsí. Průměrný empirický vzorec chalkopyritu z Hostětice je $\text{Cu}_{1.01}\text{Fe}_{0.99}\text{S}_{2.01}$.

Galenit je ve studované mineralizaci hlavní až vedlejší komponentou. Představuje spíše mladší složku studované rudní asociace, která často obrůstá či žilkovitě proniká starší sulfidy (pyrit, sfalerit, chalkopyrit; obr. 5a). Vytváří xenomorfně omezená zrna izometrického tvaru, o velikosti do 200 μm , či řádově větší „lité“ agregáty. Větší zrna galenitu mají dobře patrné charakteristické trojúhelníkové vyštípnutiny anebo štěpné trhliny, z jejichž přímého průběhu lze soudit na minimální tlakové poškození (obr. 5b). Od okrajů bývá galenit místy slabě zatlačován jemnozrnným **anglesitem**. V BSE obraze je galenit neznámý. Chemické složení galenitu je velmi jednoduché, s minimem příměsí (tab. 7). Všechny analýzy vykazují malé obsahy Cl (0.003 - 0.005 *apfu*; báze přepočtu jeden kovový kationt na vzorcovou jednotku) a In (0.001 *apfu*) a téměř všechny i nepatrně zvýšený obsah Sb (do 0.002 *apfu*). Ojedinelé jsou slabě zvýšené obsahy Ag (do 0.003 *apfu*), Fe (do 0.005 *apfu*), Cd (do 0.001 *apfu*) či Cu (do 0.006 *apfu*). Průměrný empirický vzorec galenitu z Hostětice je $\text{Pb}_{1.00}\text{S}_{1.00}$.

Ryzí bismut vytváří shluky drobných (velikost do 5 μm) inkluzí v jádrech některých zrn arsenopyritu (obr. 1d,e). V odraženém světle má oproti hostitelskému

Tabulka 7 Příklady chemického složení galenitu z lokality Hostětice. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na základ jednoho atomu kovů na vzorcovou jednotku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti.

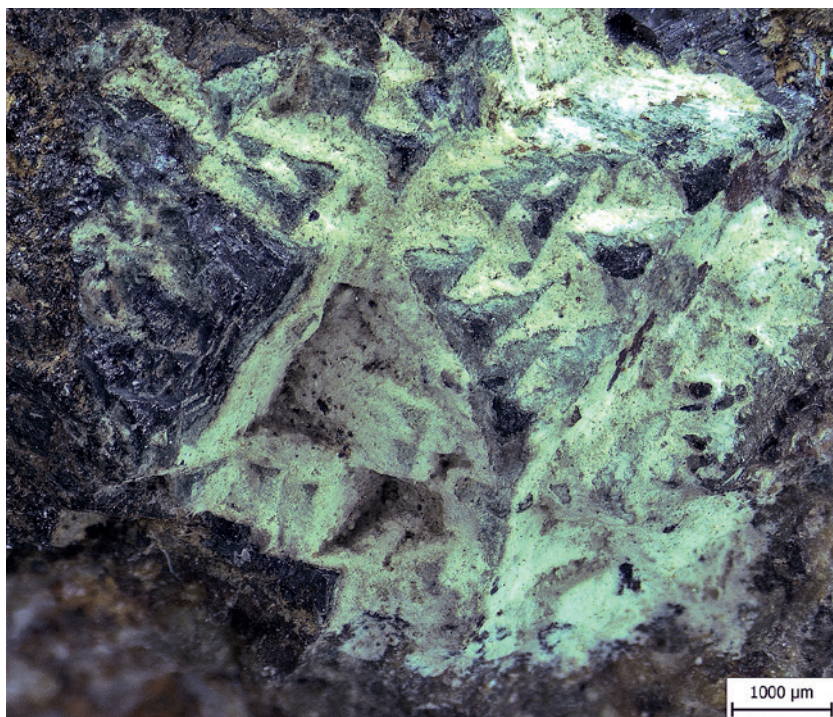
An. č.	1	2	3	4	5	6
Ag	0.10	0.14	b.d.	b.d.	0.07	b.d.
Zn	0.08	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Cd	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.06	0.07
In	0.07	0.05	0.06	0.04	0.04	0.06
Pb	86.44	86.69	85.99	86.52	86.55	86.57
Sb	0.06	b.d.	0.09	0.04	0.07	0.04
Cl	0.04	0.04	0.07	0.05	0.08	0.04
S	13.49	13.44	13.53	13.40	13.50	13.53
Celkem	100.28	100.36	99.74	100.05	100.37	100.31
Ag	0.002	0.003	b.d.	b.d.	0.002	b.d.
Zn	0.003	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Cd	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.001	0.001
In	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Pb	0.992	0.996	0.997	0.998	0.995	0.996
Sb	0.001	b.d.	0.002	0.001	0.001	0.001
Catsum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Cl	0.003	0.003	0.005	0.003	0.005	0.003
S	1.001	0.998	1.014	0.999	1.003	1.007
Ansum	1.003	1.001	1.019	1.003	1.008	1.009

Tabulka 8 Příklady chemického složení bismutu z lokality Hostětice. Obsahy v hm. %.

An. č.	1	2	3	4	5	6
Fe	3.00	2.92	4.02	2.73	2.64	2.65
Zn	0.22	0.15	0.14	0.19	0.00	0.13
Cu	0.37	0.29	0.38	0.17	0.00	0.29
As	2.10	2.34	2.02	0.90	0.58	1.37
Bi	99.13	97.55	93.38	95.61	98.23	96.21
S	0.70	0.60	0.89	0.35	0.16	0.42
Celkem	105.52	103.85	100.83	99.95	101.61	101.07

Tabulka 9 Chemické složení anglesitu z lokality Hostětice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na základ jednoho kationtu kovu na vzorcovou jednotku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti.

An. č.	1	2	3	4	5	6
SO ₃	26.44	26.64	26.34	26.51	26.97	26.81
CaO	0.04	b.d.	b.d.	0.08	0.49	0.37
FeO	0.34	0.36	0.34	0.19	0.17	0.18
PbO	73.40	73.84	73.23	73.31	72.99	72.39
Celkem	100.22	100.84	99.91	100.09	100.62	99.75
S	0.988	0.991	0.988	0.996	0.996	1.004
Ca	0.002	b.d.	b.d.	0.004	0.026	0.020
Fe	0.014	0.015	0.014	0.008	0.007	0.008
Pb	0.984	0.985	0.986	0.988	0.967	0.973
Me sum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

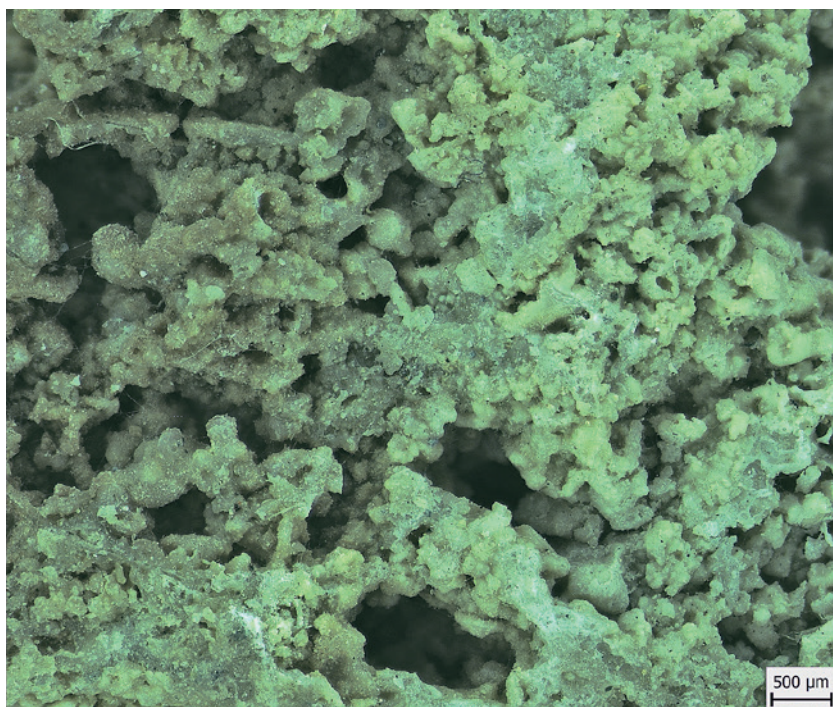


arzenopyritu vyšší odraznost a při zkřížených nikolech zřetelnou anizotropii. Žádná ze získaných bodových WDS analýz (tab. 8) není vzhledem k malé velikosti bismutových zrn reprezentativní, neboť v analyzovaném objemu byly vždy zachyceny i hostitelské sulfidy, jak indikují vysoké obsahy Fe, As, S, Cu a Zn a také vysoké sumy některých analýz.

Supergenní mineralizace

Anglesit je minoritní fází. Vytváří makroskopicky práškovité bělavé povlaky na galenitu (obr. 6). V mikroměřítku je zřejmé, že anglesit tento sulfid od okrajů a podél štěpnosti zatlačuje (obr. 5b). V BSE obraze je nezonální. V naměřených šesti WDS analýzách (tab. 9) byly zjištěny vedle hlavních složek i malé příměsi Fe (0.007 - 0.015 apfu; báze přepočtu 1 kationt kovů na vzorcovou jednotku) a ojediněle i Ca (max. 0.026 apfu). Průměrný empirický vzorec anglesitu z Hostětice je $(\text{Pb}_{0.98}\text{Ca}_{0.01}\text{Fe}_{0.01})_{\Sigma=1.00}\text{S}_{0.99}\text{O}_4$.

Skorodit je běžnou alterační fází v navětralé rudnině bohaté arzenopyritem. Vytváří makroskopicky světle zelené porézní agregáty, do dutin s ledvinitým povrchem (obr. 7). Minerál zatlačuje od okrajů a podél prasklin zrna arzenopyritu (obr. 1c, 5c). V BSE obraze je skorodit homogenní. Bodové WDS analýzy potvrdily, v rámci studovaného vzorku, jeho

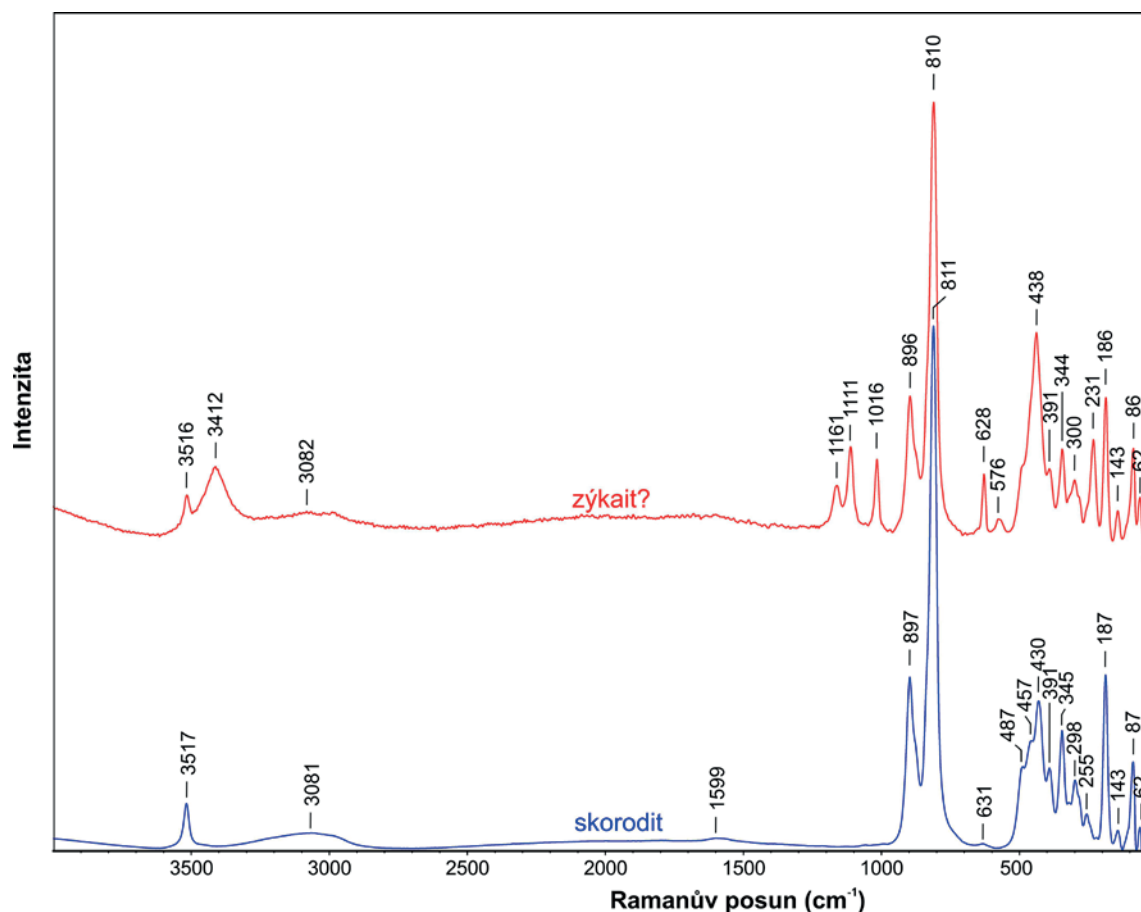
**Obr. 6** Práškovité agregáty anglesitu na navětralem galenitu z Hostětice. Foto K. Malý.**Obr. 7** Bohaté porézní agregáty skoroditu z Hostětice. Foto K. Malý.

jednotné složení (tab. 10). Trojvalentní Fe je v malé míře zastupováno Al (max. 0.061 *apfu*; bezvodá báze přepočtu čtyř atomů O), zatímco As je nahrazován slabě P (0.004

- 0.021 *apfu*) a S (0.003 - 0.013 *apfu*). Dopočet teoretického obsahu vody však ukazuje značně vysoké sumy analýz (112 - 115 hm. %). Proto byla identifikace minerálu

Tabulka 10 Příklady chemického složení skoroditu (Sco) a pravděpodobného zýkaitu (Zýk) z lokality Hostětice. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bezvodou bázi čtyř (skorodit), resp. 16.5 (zýkait) atomů kyslíku na vzorcovou jednotku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti, * - dopočteno ze stechiometrie.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Sco	Sco	Sco	Sco	Sco	Sco	Sco	Zýk	Zýk	Zýk	Zýk	Zýk	Zýk	Zýk
SO ₃	0.24	0.20	0.27	0.12	0.37	0.38	0.51	8.93	9.36	8.87	9.36	9.92	10.02	9.29
P ₂ O ₅	0.56	0.55	0.75	0.67	0.32	0.16	0.20	0.37	0.40	0.37	0.41	0.42	0.43	0.42
As ₂ O ₅	57.19	57.16	57.17	57.02	56.03	56.26	56.40	44.36	43.71	43.51	43.64	42.24	42.36	43.12
Al ₂ O ₃	0.55	0.57	1.58	1.24	0.34	b.d.	0.24	0.34	0.39	0.37	0.63	0.78	0.25	0.24
Fe ₂ O ₃	38.16	38.59	37.43	37.44	37.56	38.12	37.68	38.92	38.55	37.89	38.35	36.94	38.54	38.35
CaO	0.06	0.06	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.05	0.10	0.06	0.07	b.d.	b.d.
Na ₂ O	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.17	0.28	0.23	0.43	0.29	0.28	0.50	0.47	0.32
K ₂ O	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.06	0.07	0.07	0.09	0.08	0.09	0.07
*H ₂ O	18.06	18.12	18.27	18.07	17.64	17.66	17.75	34.80	34.83	34.19	34.83	34.37	34.70	34.40
Celkem	114.82	115.25	115.47	114.56	112.26	112.75	113.06	128.01	127.79	125.66	127.65	125.32	126.86	126.21
S	0.006	0.005	0.007	0.003	0.009	0.010	0.013	0.894	0.936	0.904	0.936	1.006	1.006	0.941
P	0.016	0.015	0.021	0.019	0.009	0.005	0.006	0.042	0.045	0.043	0.046	0.048	0.049	0.048
As	0.992	0.988	0.980	0.988	0.995	0.998	0.995	3.095	3.047	3.090	3.042	2.984	2.964	3.043
Ansum	1.014	1.009	1.008	1.010	1.014	1.012	1.014	4.031	4.028	4.037	4.024	4.038	4.019	4.032
Al	0.022	0.022	0.061	0.048	0.014	b.d.	0.010	0.053	0.061	0.059	0.099	0.124	0.039	0.038
Fe	0.953	0.960	0.924	0.934	0.960	0.973	0.957	3.908	3.867	3.873	3.847	3.756	3.881	3.896
Ca	0.002	0.002	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.007	0.015	0.009	0.010	b.d.	b.d.
Na	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.011	0.018	0.060	0.111	0.076	0.072	0.131	0.122	0.084
K	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.010	0.012	0.012	0.015	0.014	0.015	0.012
Catsum	0.976	0.985	0.985	0.982	0.974	0.984	0.985	4.031	4.059	4.035	4.042	4.035	4.058	4.030
*H	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	31.000	31.000	31.000	31.000	31.000	31.000	31.000



Obr. 8 Porovnání Ramanových spekter skoroditu a pravděpodobného zýkaitu z Hostětice. Obě spektra jsou pro lepší přehlednost vertikálně posunutá.

ověřena Ramanovou spektroskopií, aby bylo možno vyloučit záměnu s některým z jiných FeAsO_4 hydrátů (kaňkit, paraskorodit). Získaná Ramanova spektra (obr. 8) potvrdila shodu s referenčním spektrem skoroditu z databáze RRUFF. Průměrný empirický vzorec skoroditu z Hostětice je $(\text{Fe}_{0.95}\text{Al}_{0.02}\text{Na}_{0.01})_{\Sigma=0.98}(\text{As}_{0.99}\text{P}_{0.01}\text{S}_{0.01})_{\Sigma=1.01}\text{O}_{4.2}\text{H}_2\text{O}$.

Pravděpodobný **zýkait** byl vzácně zjištěn jako drobné, v BSE obraze tmavší inkluze uzavírané ve skoroditu (obr. 5d). Fáze se jeví v BSE obraze jako homogenní. Získané WDS analýzy ukázaly, vedle hlavních složek (Fe, As, S), i příměsi P (0.042 - 0.049 *apfu*; bezvodá báze přepočtu 16.5 atomu O), Al (0.038 - 0.124 *apfu*), Na (0.059 - 0.131 *apfu*), méně i K (0.010 - 0.015 *apfu*) a v části získaných analýz i Ca (do 0.015 *apfu*). Analytické sumy jsou po dopočtu teoretického obsahu vody silně nadhodnocené (125 - 128 hm. %). Identifikace minerálu byla proto ověřena Ramanovou spektroskopií (obr. 8). Získané spektrum neodpovídá spektru zýkaitu z databáze RRUFF, ani spektrem publikovaným v pracích Frosta et al. (2011) a Sejkory a Grambličky (2021). Spektrum v databázi RRUFF má však nízkou kvalitu s vysokou fluorescencí, zatímco spektrum v práci Frosta et al. (2011) pravděpodobně vůbec neodpovídá zýkaitu vzhledem k absenci pásů sulfátové skupiny, jak již upozornili Culka et al. (2016) a Sejkora a Gramblička (2021). Nejlepší shodu vykazuje námi získané Ramanovo spektrum se spektrem zýkaitu z Mikulova, publikovaném Sejkorou a Grambličkou (2021), i v tomto případě lze však konstatovat určité rozdíly, jmenovitě posun pozice některých pásů či jejich absenci. Je otázkou, zda mohou být tyto odlišnosti způsobeny odlišnostmi v chemickém složení zýkaitu, nebo zda může jít o vliv potenciálně přítomných příměsí jiných minerálů. Průměrný empirický vzorec pravděpodobného zýkaitu z Hostětice lze psát $(\text{Fe}_{3.86}\text{Al}_{0.07}\text{Na}_{0.09}\text{K}_{0.01}\text{Ca}_{0.01})_{\Sigma=4.03}(\text{As}_{3.04}\text{P}_{0.05}\text{S}_{0.95})_{\Sigma=4.04}\text{O}_{16}(\text{OH}) \cdot 15\text{H}_2\text{O}$.

Izotopové složení síry sulfidů

Izotopicky bylo analyzováno šest vzorků galenitu a sfaleritu. Hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ se pohybují mezi 2.2 a 5.7 ‰ CDT (tab. 11). Galenity mají nižší hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ než sfalerity, takže lze uvažovat o existenci izotopové rovnováhy mezi koexistujícími sulfidy.

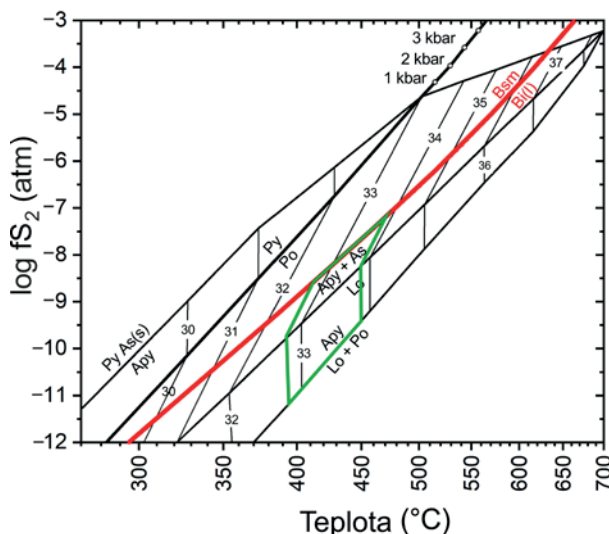
Tabulka 11 Naměřené hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ sulfidů z Hostětice.

vzorek	minerál	$\delta^{34}\text{S}$ (‰ vs. CDT)
Hos 4226 sf	sfalerit	4.7
Hos 4788 sf	sfalerit	5.3
Hos 4840 sf	sfalerit	5.7
Hos 4788 ga	galenit	2.2
Hos 4840 ga	galenit	2.7

Diskuse

Podmínky vzniku studované mineralizace

V nábrusech zjištěné izolované agregáty křemene s obsahem fylosilikátů pravděpodobně představují hydrotermálními roztoky silně přepracované útržky okolní horniny. Jejich minerální asociace a chemické složení přítomných fází mohou poskytnout vodítko pro odhad charakteru působících fluid. Vznik muskovitu místo K-živce indikuje kyselé roztoky a teploty pod cca 300 - 350 °C (srov. Deer et al. 2001). Termometrie založená na obsahích As v Co-neobsahujícím arzenopyritu (Kretschmar a Scott 1976; Sharp et al. 1985; Sundblad et al. 1984)



Obr. 9 Fázový diagram systému Fe-As-S ukazující korelaci mezi obsahem As v arzenopyritu (at. %), teplotou a fugací síry. Červená linie odděluje pole stability bismutinu (Bsm) a bismutu (Bi). Zeleně konturované pole vymezuje možné podmínky vzniku arzenopyritu z Hostětice na základě naměřeného obsahu As a nepřítomnosti bismutinu v paragenezi.

poskytuje pro zjištěné obsahy As mezi 32.7 a 33.9 at. % - i při značné nejistotě odhadu fugacity síry z minerální asociace - odhad teplot krystalizace mezi cca 390 a 480 °C (obr. 9). Illitový kompoziční termometr podle Battaglini (2004) indikuje teploty vzniku illitu z Hostětice mezi 256 a 287 °C. S tím jsou v souladu i vypočítané teploty ustavení izotopové rovnováhy pro pár sfalerit - galenit. Teploty vypočtené pro hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ sulfidů pocházejících z jednoho makrovzorku se pohybují mezi 202 a 223 °C (podle použitého termometru: Rye 1974, příp. Li a Liu 2006). Přítomnost minerálu z kaolinitové skupiny naproti tomu nasvědčuje alespoň epizodicky kyselému pH (4.5 - 6) fluida a teplotě pod cca 200 °C (Fulignati 2020). Kyselé prostředí též umožnilo vznik anatasu namísto rutilu (Cassaignon et al. 2007). Výše uvedené variabilní teplotní údaje pravděpodobně odrážejí pokles teploty matečných hydrotermálních roztoků, doprovázený změnami parageneze vznikající nerostné asociace a/nebo chemického složení minerálů.

Porovnání s dalšími rudními mineralizacemi na Vysočině

Z nejbližšího okolí Telče je známo několik menších výskytů polymetalických rudních mineralizací, moderních mineralogických informací je však o nich jen málo. Rozsahem nejvýznamnější je Dobrá Voda u Telče (a navazující Zdeňkov), kde byla v křemenných žilách zjištěna relativně jednoduchá polymetalická mineralizace s převládajícím (místy až masivním) galenitem, sfaleritem, arzenopyritem, chalkopyritem a pyritem (Houzar et al. 2021). Mineralizace zde také byla (opakovaně) těžena nebo hornickým způsobem zkoumána. Podle izotopového termometru určili Malý a Dolníček (2005) teplotu vzniku zdejší mineralizace na 317 °C. O historicky těženém rudním výskytu u blízkého Vanova nemáme dosud žádné podrobnější informace. Detailněji zpracovány jsou z mineralogického hlediska lokality s polymetalickým zrudněním v širším okolí Slavonic (Slavonice, Vlastkovec, Český Rudolec, Horní Radíkov, Radlice, Valtínov (např. Hrazdil et al. 2018), které byly v minulosti také intenzivně těženy.

V křemenné žilovině jsou zde zastoupeny běžné sulfidy, jako vzácné byly dále zjištěny argentit a ryzí stříbro.

Určité analogie můžeme nalézt mezi zkoumaným zrudněním u Hostětic a mineralizacemi tzv. *k-pol* typu (např. Bernard 1991) - tedy s řadou lokalit v jihlavském, havlíčkobrodském či kutnohorském rudním revíru. Je to zejména asociace hlavních minerálů: křemenná žilovina s podružně zastoupenými Fe-Mn karbonáty (obr. 3), zvýšené obsahy Fe ve sfaleritu (obr. 4), přítomnost arzenopyritu, přítomnost minerálů bismutu, či chemismus slíd (obr. 2). Studovaná polymetalická mineralizace z Hostětic však zřejmě vznikla za poněkud nižších teplot, než typická *k-pol* mineralizace (Bernard a Žák 1992; Malý a Dolníček 2005).

Závěr

V práci jsou prezentovány výsledky mikrosondového mineralogického studia a výzkumu izotopového složení síry na vzorcích z malého žilného Pb-Zn-(Ag) rudního výskytu u Hostětic (1.5 km východně od Telče, Českomoravská vrchovina). Hlavní sulfidy jsou reprezentovány černým sfaleritem (s 0.044 - 0.192 *apfu* Fe, 0.005 - 0.006 *apfu* Cd a 0.001 - 0.008 *apfu* Mn), galenitem (s nízkým obsahem Sb i Ag do 0.003 *apfu*) a arzenopyritem (vzácně s až 0.010 *apfu* Co), jež jsou doprovázeny vzácným pyritem (ojediněle s až 0.004 *apfu* Ni či As), chalkopyritem a ryzím bismutem. Rudní minerály jsou uloženy v křemenné žilovině s podřízeným výskytem illit-muskovitu, sideritu ($\text{Si}_{52-79}\text{Mg}_{19-43}\text{Rdc}_{1-3}\text{Ca}_{0-2}\text{Sm}_{0-2}$), anatasu a minerálu ze skupiny kaolinitu. Supergenní minerály jsou zastoupeny zejména běžným skoroditem a anglesitem, vzácně i velmi pravděpodobným zykaitem. Hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ galenitu a sfaleritu se pohybují mezi 2.2 a 5.7 ‰ CDT. Arzenopyritová termometrie, illitová termometrie, izotopová termometrie a stability anatasu, muskovitu a minerálu ze skupiny kaolinitu dokládají teploty vzniku primární mineralizace mezi 480 a <200 °C a přinejmenším epizodicky kyselé pH matičných fluid. Minerální asociace a chemismus minerálů hostětické mineralizace dobře odpovídá tzv. kyzové polymetalické mineralizaci (*k-pol*), široce rozšířené v zájmové oblasti, nicméně teploty vzniku se v Hostěticích zdají být nižší než u typických mineralizací typu *k-pol*.

Poděkování

Autoři jsou zavázáni I. Jačkové a B. Čejkové (ČGS Praha) za izotopové analýzy sulfidů. Výzkum byl realizován za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci programu NAKI III, reg. č. projektu DH23P03OVV057 „Historická důlní díla na Vysočině“. Za vstřícné recenzi posouzení rukopisu děkujeme kolegům V. Hrazdilovi (MZM Brno) a Z. Lososovi (MU Brno).

Literatura

- BATTAGLIA S (2004) Variations in the chemical composition of illite from five geothermal fields: A possible geothermometer. *Clay Miner* 39: 501-510
- BERNARD JH (1991) Empirical types of ore mineralization in the Bohemian Massif. Ústřední ústav geologický. Praha. 181 pp.
- BERNARD JH, ŽÁK K (1992) Stable isotope study of Variscan vein Pb-Zn-Ag mineralization of the Bohemian Massif. *Explor Mining Geol* 1(1): 81-84
- CASSAIGNON S, KOELSCH M, JOLIVET JP (2007) Selective synthesis of brookite, anatase and rutile nanoparticles: Thermolysis of TiCl_4 in aqueous nitric acid. *J Mater Sci* 42: 6689-6695
- CULKA A, KINDLOVÁ H, DRAHOTA P, JEHLIČKA J (2016) Raman spectroscopic identification of arsenate minerals in situ at outcrops with handheld (532 nm, 785 nm) instruments. *Spectrochim Acta Part A: Mol Biomol Spectrosc* 154: 193-199
- DEER WA, HOWIE RA, ZUSSMAN J (2001) *Rock-Forming Minerals: Feldspars*; Volume 4A, Geological Society of London, London
- DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J, MALÝ K, HAVLÍČEK J, KREJČÍ KOTLÁNOVÁ M, KOUTNÁK R (2023) Mineralogická charakteristika žilné křemenné mineralizace s molybdenitem z lomu Pohled, havlíčkobrodský rudní revír, Česká republika. *Acta Mus Moraviae, Sci geol* 108: 145-170
- DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J, VRTIŠKA L, MALÝ K, KREJČÍ KOTLÁNOVÁ M, KOUTNÁK R (2024) Mineralogy and origin of vein wolframite mineralization from the Pohled quarry, Havlíčkův Brod Ore District, Czech Republic: Interaction of magmatic and basinal fluids. *Minerals* 14: 610
- FROST RL, PALMER SJ, XI Y (2011) Vibrational spectroscopy of the multi-anion mineral zykaite $\text{Fe}_4(\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ -implications for arsenate removal. *Spectrochim Acta A: Mol Biomol Spectrosc* 83(1): 444-448
- FULIGNATI P (2020) Clay minerals in hydrothermal systems. *Minerals* 10: 919
- HOUZAR S, HRAZDIL V, HRŠELOVÁ P, TOMAN J, BUŘIVALOVÁ L, GROSSMANNOVÁ D., HLADIŠOVÁ T, LITOCHEB J, MALÝ K, ŠKRDLA P, ŠMERDA J, VEDRA P, VÍŠKOVÁ E, VOKÁČ M (2021) Historické dolování drahých kovů na Českomoravské vrchovině. *Moravské zemské muzeum Brno*, 476 pp.
- HRAZDIL V, HOUZAR S, VÍŠKOVÁ E (2018) Hydrotermální stříbronosná Pb-Zn mineralizace v moldanubickém platonu v okolí Dačic a Slavonic. *Acta Mus Moraviae, Sci geol* 103, 2: 17-37
- KLEMM D (1965) Synthesen und Analysen in den Dreiecksdiagrammen FeAsS-CoAsS-NiAsS und $\text{FeS}_2\text{-CoS}_2\text{-NiS}_2$. *Neu Jahrb Mineral, Abh* 103: 205-255
- KRETSCHMAR U, SCOTT SD (1976) Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Can Mineral* 1079: 364-386
- KRUŤA T (1966) Moravské nerosty a jejich literatura 1940-1965. Jihomoravské muzeum ve Znojme
- LI YB, LIU JM (2006) Calculation of sulfur isotope fractionation in sulfides. *Geochim Cosmochim Acta* 70: 1789-1795
- MALÝ K, DOLNÍČEK Z (2005) Pb-Zn-Ag vein mineralization of the central part of the Českomoravská vrchovina Upland (Czech Republic): S, C and O stable isotope study. *Bull Geosci* 80: 307-319
- MASTÍKOVÁ E (2009) Geologická dokumentace lomu Pohled (moldanubikum). MS, bakalářská práce, Univerzita Palackého Olomouc
- MASTÍKOVÁ E (2011) Mineralogie a podmínky vzniku vybraných mineralizací v lomu Pohled (moldanubikum). MS, diplomová práce, Univerzita Palackého Olomouc
- MAYDAGÁN L, FRANCHINI M, IMPICCINI A, LENTZ D (2016) Phyllosilicates geochemistry and distribution in the Altar porphyry Cu-(Au) deposit, Andes Cordillera of San Juan, Argentina: Applications in exploration, geothermometry, and geometallurgy. *J Geochem Explor* 167: 83-109

- PAULIŠ P, KOPECKÝ S, DOLNÍČEK Z, SEJKORA J (2023) Sulfidická mineralizace s Au-bohatým stříbrem z Utína v havlíčkovobrodském rudním revíru (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 31: 25-34
- PAULIŠ P, KOPECKÝ S, DOLNÍČEK Z, SEJKORA J (2024) Hydrotermální sulfidická mineralizace ze Skalky v havlíčkovobrodském rudním revíru (Česká republika). *Acta Mus Moraviae, Sci geol* 109: 3-35
- PAULIŠ P, KOPECKÝ S, DOLNÍČEK Z, SEJKORA J, POUR O, ULMANOVÁ J, KOPECKÝ S, JR. (2022) Wolframová a sulfidická hydrotermální mineralizace z Pekelského vrchu u Jihlavy (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 30: 73-94
- POUCHOU JL, PICHOIR F (1985) "PAP" ($\phi\rho Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: Armstrong JT (Ed.): *Microbeam Analysis*, San Francisco Press, San Francisco: 104-106
- RIEDER M, CAVAZZINI G, D'YAKONOV YS, KAMENETSKII VAF, GOTTARDI G, GUGGENHEIM S, KOVAL' PV, MUELLER G, NEIVA AMR, RADOSLOVICH EW, ROBERT JL, SASSI FP, TAKEDA H, WEISS Z, WONES DR (1998) Nomenclature of micas. *Can Mineral* 36: 905-912
- RYE RO (1974) A comparison of sphalerite-galena sulfur isotope temperatures with filling temperatures of fluid inclusions. *Econ Geol* 69: 26-32
- SEJKORA J, GRAMBLIČKA R (2021) Zýkait z dolu Lehnschafter u Mikulova v Krušných horách (Česká republika) - popis a Ramanova spektroskopie. *Bull Mineral Petrolog* 29(2): 241-248
- SHARP ZD, ESSENE EJ, KELLY WC (1985) A re-examination of the arsenopyrite geothermometer: pressure considerations and applications to natural assemblages. *Can Mineral* 23: 517-534
- SUNDBLAD K, ZACHRISSON E, SMEDS S-A, BERGLUND S, ÅLINDER C (1984) Sphalerite geobarometry and arsenopyrite geothermometry applied to metamorphosed sulfide ores in the Swedish Caledonides. *Econ Geol* 79: 1660-1668
- TRDLIČKA Z, HOFFMAN V (1975) Untersuchungen der chemischen Zusammensetzung der Gangkarbonate von Kutná Hora (ČSSR). *Freiberg Forschungshefte* 6: 29-81