

## HYDROTHERMÁLNÍ SULFIDICKÁ MINERALIZACE ZE SKALKY V HAVLÍČKOBRODSKÉM RUDNÍM REVÍRU (ČESKÁ REPUBLIKA)

HYDROTHERMAL SULFIDE MINERALIZATION FROM SKALKA IN THE HAVLÍČKŮV BROD  
ORE DISTRICT (CZECH REPUBLIC)

PETR PAULIŠ, STANISLAV KOPECKÝ, ZDENĚK DOLNÍČEK, JIŘÍ SEJKORA

### Abstract

Pauliš, P., Kopecký, S., Dolníček, Z., Sejkora, J., 2024: Hydrotermální sulfidická mineralizace ze Skalky v havlíčkobrodském rudním revíru (Česká republika). – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 109, 1, 3–35 (with English summary).

*Hydrothermal sulfide mineralization from Skalka in the Havlíčkův Brod ore district (Czech Republic)*

In the central part of the Havlíčkův Brod ore district, the remains of historical mining were discovered near the Skalka hill (463 m a.s.l.), 2.4 km SSE of the centre of Havlíčkův Brod, in connection with the construction of new roads in 2022. In the studied material from the rest of mine dumps, mainly common sulfide minerals with a composition characteristic for this ore district (pyrite, Fe-rich sphalerite, arsenopyrite, galena) were found, in association with more rare sulfides, chalcopyrite, pyrrhotite and ullmannite, which had not yet been found there. Tetrahedrite-group minerals were also found in the studied samples, which, based on the new nomenclature, can be classified as tetrahedrite-(Fe) with variable Ag contents and kenoargentotetrahedrite-(Fe). In addition to sulfides, muscovite, clinochlore, fluorapatite, rutile, monazite-(Ce), xenotime-(Y) and probable Y+REE and P+As rich coffinite were determined. In the rare supergene mineralization, scorodite, schultenite, cerussite, anglesite, smithsonite, and calcite were found.

*Key words:* sulfidic mineralization, chemical composition, Havlíčkův Brod ore district, Skalka, Czech Republic  
Petr Pauliš, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9-Horní Počernice; Smišková 564, 284 01 Kutná Hora

Stanislav Kopecký, Žižkov II/1294, 588 01 Havlíčkův Brod

Zdeněk Dolníček, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9-Horní Počernice

Jiří Sejkora, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9-Horní Počernice; e-mail: jiri.sejkora@nm.cz

### ÚVOD

Havlíčkobrodský polymetalický revír se nachází v sv. části Českomoravské vrchoviny a zahrnuje území o rozloze cca 200 km<sup>2</sup>. Jedná se o historickou oblast exploatace Ag-Pb-Zn-(Cu) ložisek. V celém revíru je řada lokalit, na kterých se v minulosti těžily polymetalické rudy, nebo na nich probíhal průzkum. Přestože první listinný doklad existence zdejších stříbrných dolů pochází až z roku 1257 (listina Smila z Lichtenburka), je pravděpodobné, že počátky dolování lze hledat již ve třicátých letech 13. století (HRUBÝ 2014).

Havlíčkobrodský rudní revír je složen téměř ze stovky rudních žil a žilných pásem, které se vyskytují zhruba mezi obcemi Počátky, Jitkov, Hosov, Šlapánov, Květnov, Koječín, Věž, Michalovice, Havlíčkův Brod a Krátká Ves. Žilné výskyty nejsou rozmístěny rovno-

měrně, ale shlukují se do několika skupin, dílčích rudních okrsků, které se většinou nacházejí mimo katastr Havlíčkova Brodu. Nejbližší centra tohoto města, podél jeho jihovýchodního okraje, se nacházejí pozůstatky po starém dolování nad pravým břehem Stříbrného potoka. Zde se ve směru V-Z, v délce asi 300 m, táhne zřetelná obvalová řada, která je na svém západním konci, pod Lihovarským rybníkem, ukončena zavalenou štolou (HOUZAR *et al.* 2021). Rudní vzorky, jejichž mineralogické studium je prezentováno v této publikaci, pocházejí z nedalekého, nově (2022) objeveného výskytu, nalezeného při stavbě jihovýchodní větve silničního obchvatu Havlíčkova Brodu nedaleko návrší Skalka (463 m n. m).

## GEOLOGICKÉ A MINERALOGICKÉ POMĚRY REVÍRU

Geologicky patří celé území k severozápadní části strážeckého moldanubika a sv. okraji českého moldanubika, vesměs budovaného pestrá skupinou. Moldanubikum pestré skupiny je zastoupeno především sillimaniticko-biotitickými pararulami a migmatity. Moldanubický pluton je představován muskoviticko-biotitickým adamellitem mrákotinského typu. V revíru se významně uplatňuje disjunktivní tektonika tří směrů. Jedná se o systém přibyslavsko-dačického mylonitového pásma ssz.-jjv. až ssv.-jjz. směru, systém sázavského zlomu sz.-jv. směru a systém křídelské dislokace z.-v. směru. Tyto systémy kontrolují rozšíření a morfologii zdejšího polymetalického zrudnění (KRÁLÍK *et al.* 1985).

Převládající směr žil je SZ-JV a S-J. Žíly nemají velkou směrnou délku, známá hloubka zrudnění nepřesahuje 500 m. Žíly vzácně naduřují na 0,5 až 1 m, výjimečná jsou několik metrů mocná impregnační pásma (Dlouhá Ves). Největší nahromadění bývá v rudních sloupech při křížení dvou nebo více dislokací. Jedná se klasický revír s variskou kyzovou polymetalickou asociací (*k-pol*) ve smyslu klasifikace BERNARDA (1967).

Moderních informací o mineralogii zdejších žil je poměrně málo (např. KOUTEK 1960; KUDĚLÁSKOVÁ 1960; NĚMEC 1965; BLÜML a HAK 1968; HAK a NOVÁK 1973; SCHARMOVÁ 1995, 2000; DOBEŠ a MALÝ 2001; MALÝ a DOLNÍČEK 2005; MASTÍKOVÁ 2011; HRAZDIL 2012). Mineralogie rudních výskytů v okolí Stříbrných Hor byla tématem diplomových prací IMRAMOVSKÉHO (1955) a PETROŠE (1958). Novější údaje o primární mineralizaci revíru uvádějí SEJKORA *et al.* (2015) a PAULÍŠ *et al.* (2023), další historické a geologicko-mineralogické informace pak shrnuje monografická práce HOUZARA *et al.* (2021).

Žíly jsou křemenné s podřadným zastoupením Fe-Mg-Mn karbonátů, z nichž jsou uváděny Mn-bohatý dolomit, Mg-bohatý kutnohorit a rodochrozit (HRUBÝ a MALÝ 2019). Z rudních minerálů převládá pyrit, pyrrhotin a černý sfalerit s 11-14 % Fe a lokálně vysokými obsahy In, méně je zastoupen galenit. Ostatní rudní minerály (arsenopyrit, tetraedrit, markazit, chalkopyrit, kasiterit, stanin aj.) jsou řídké (BERNARD a POUBA *et al.* 1986; HRUBÝ a MALÝ 2019; MALÝ a DOLNÍČEK 2005).

Vzácně byly zjištěny jamesonit (Jitkov, Utín), boulangerit (Česká Bělá, Čistá, Termesivvy, Utín), bournonit (Česká Bělá), berthierit (Jitkov) a Ag-minerály: akantit-argentit (Ovčín), pyrargyrit (Česká Bělá, Ovčín), miargyrit (Česká Bělá, Jitkov, Ovčín), argentotetraedrit-(Fe) (Česká Bělá, Jitkov, Ovčín), kenoargentotetraedrit-Fe (Utín, Ovčín, Termesivvy) a stříbro s vysokým podílem zlata (elektrum) (SEJKORA *et al.* 2015; PAULÍŠ *et al.* 2023).

## METODIKA VÝZKUMU

Povrchová morfologie vzorků byla sledována v dopadajícím světle pomocí binokulárního optického mikroskopu Nikon SMZ1500. Nábrusy studovaných vzorků byly pro výzkum v odraženém světle a následné chemické analýzy připraveny standardním leštěním pomocí diamantové suspenze. Optické vlastnosti v odraženém světle byly studovány pomocí mikroskopu Nikon Eclipse ME600.

Chemické složení sulfidických minerálních fází bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha) za podmínek: vlnově disperzní analýza (WDS), 25 kV, 20 nA, průměr svazku elektronů 2 μm, použité standardy: Ag (AgLa), albit (NaKa), apatit (PKa), baryt (BaLa), Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> (BiLa), CdTe (CdLa), Sn (SnLa), Co (CoKa), Cr (CrKa), CuFeS<sub>2</sub> (CuKa, SKa), GaAs (GaLa), Ge (GeLa), FeS<sub>2</sub> (FeKa), HgTe (HgMa), InAs (InLa), Mn (MnKa), Ni (NiKa), NaCl (ClKa), NiAs (AsLβ), PbS (PbMa), PbSe (SeLβ), sanidin (KKa), Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (SbLa), PbTe (TeLa), Tl(Br,I) (TlLa), V (VKa), wollastonit (CaKa), ZnS (ZnKa) a Au (AuMa).

Chemické složení kyslíkatých fází bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha) za podmínek: WDS, napětí 15 kV, proud 15–20 nA, průměr svazku 1–5 μm, standardy: baryt (BaLa), albit (NaKa), klinoklas (AsLβ), sanidin (SiKa, AlKa, KKa), rodonit (MnKa), diopsid (MgKa), apatit (PKa), hematit (FeKa), ZnO (ZnKa), Ni (NiKa), Co (CoKa), celestín (SKa, SrLβ), RbGe sklo (RbLa), vanadinit (VKa), wollastonit (CaKa), halit (ClKa), chalkopyrit (CuKa), BN (NKa), wulfenit (PbMa), CrTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> (TaLa), ScVO<sub>4</sub> (ScKa), LiF (FKa), Hf (HfMa), Cs (CsLa), YPO<sub>4</sub> (YLa), CePO<sub>4</sub> (CeLa), LaPO<sub>4</sub> (LaLa), NdPO<sub>4</sub> (NdLβ), YPO<sub>4</sub> (YLa), UO<sub>2</sub> (UMa), PrPO<sub>4</sub> (PrLβ), TiO<sub>2</sub> (TiKa), GdPO<sub>4</sub> (GdLa), EuPO<sub>4</sub> (EuLa), SmPO<sub>4</sub> (SmLa), YbPO<sub>4</sub> (YbLa), DyPO<sub>4</sub> (DyLβ), ErPO<sub>4</sub> (ErLa), zirkon (ZrLa), HoPO<sub>4</sub> (HoLa), TmPO<sub>4</sub> (TmLa), TbPO<sub>4</sub> (TbLa), LuPO<sub>4</sub> (LuMβ), TiO<sub>2</sub> (TiKa), Nb (NbLa), Th (ThMa), scheelit (WLa) a Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CrLa). Měřicí časy na píku se obvykle pohybovaly mezi 10 a 30 s (pro N 150 s), měřicí časy pozadí trvaly polovinu času měření na píku.

V *karbonátech* byly měřeny obsahy Al, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Si, Sr a Zn, v *arsenátech* a *anglesitu* Al, As, Ba, Bi, Ca, Cl, Co, Cu, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, P, Pb, S, Si, Sr, V a Zn, v *xenitumu* a *monazitumu* Al, As, Ba, Bi, Ca, Ce, Cl, Cu, Dy, Eu, Er, F, Fe, Gd, Hf, Ho, K, La, Lu, Mg, Mn, Na, Nd, P, Pb, Pr, S, Sc, Si, Sm, Sr, Tb, Th, Ti, Tm, U, V, W, Y, Yb a Zr, v *rutilu* Al, As, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, P, Pb, S, Sc, Si, Sn, Ta, Ti, U, V, W, Y a Zr, ve *fylosilikátech* Al, Ba, Ca, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Si, Ti, V a Zn, v *apatitu* Al, As, Ba, Ca, Ce, Cl, F, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Nd, P, Pb, Pr, S, Si, Sr, Y a Zn, a ve fázi blízké *coffinitu* Al, As, Ba, Bi, Ca, Ce, Cl, Co, Cu, Dy, Eu, Er, F, Fe, Gd, Hf, Ho, K, La, Lu, Mg, Mn, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, S, Sc, Si, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, Ti, Tm, U, V, W, Y, Yb a Zr. Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou zahrnuty v tabulkách, byly kvantitativně analyzovány, ale zjištěné obsahy byly pod detekčním limitem (většinou cca 0,03–0,08 hm. % pro jednotlivé prvky, pro W a těžší REE kolem 0,2–0,3 hm. %). Získaná data byla korigována za použití algoritmu PAP (POUCHOU a PICHOU 1985) a na overlapů F-Ce, As-Nd, Eu-Pr, P-Ca, P-Y, Pb-Y, Gd-La, Gd-Ce, Tm-Sm, Er-Tb, Rb-Si, U-Th, Ag-Cd.

Normalizace obsahů prvků vzácných zemin (REE) byla provedena na C1 chondrit s využitím dat ANDERSE a GREVESSEHO (1989). Výpočet velikosti Ce, Eu a Yb anomálií byl proveden podle vztahů MCLENNANA (1989).

## CHARAKTERISTIKA HYDROTERMÁLNÍ SULFIDICKÉ MINERALIZACE Z OKOLÍ SKALKY

V souvislosti s budováním jihovýchodní větve silničního obchvatu Havlíčkova Brodu byly zejména v jeho jižní části při zemních pracích odkryty na podzim 2022 stopy po historickém dolování. Na některých místech byla v reliktech haldového materiálu nalezena i zrudněná křemenná žilovina. Jedno z míst, kde byla nalezena větší koncentrace rudních minerálů, se nalézá cca 100 m od kóty 463 Skalka, 2400 m jiv. od centra Havlíčkova Brodu, v blízkosti silnice Havlíčkův Brod - Baštinov (GPS: 49°35'15,45" N, 15°35'54,05" E). V době sběru vzorků tu probíhaly intenzivní zemní práce a docházelo k masivnímu přemísťování zemních hmot. Situace se vzhledem k této činnosti měnila velmi rychle, a proto bylo možnosti sběru značně omezené.

Haldovina se nacházela v těsné blízkosti částečně odkryté šachtice, která byla vzápětí zabezpečena betonovým uzávěrem a okolí aplanováno (obr. 1). Jedná se o pozůstatky po neznámém starém důlním díle, které dosud není zachycené v registru důlních děl a poddolovaných území České geologické služby ([https://mapy.geology.cz/dulni\\_dila\\_poddolovani](https://mapy.geology.cz/dulni_dila_poddolovani)).

Zjištěné pozůstatky po starém dolování souvisí patrně s dolováním nad pravým břehem Stříbrného potoka, kde se táhne zřetelná obvalová řada, která je na svém západním konci, pod Lihovarským rybníkem, ukončena zavalenou štolou. V minulosti tu byl zaznamenán i aktivní propad. Rudy i žilovina na odvalech, s výjimkou sporadického pyritu, téměř chybějí. Ojedinelé byla nalezena křemenná žilovina s galenitem, sfaleritem, pyritem a cerusitem. Aktuálně je v prostoru nedaleké samoty U Pšeničků archeologicky zkoumáno dosud neznámé hutniště velkého rozsahu a rudní mlýn (HOUZAR *et al.* 2021). V registru důlních děl a poddolovaných území České geologické služby je toto poddolované území označeno jako Havlíčkův Brod – Baštinov a vedeno pod číslem 2998. V jeho severní části je evidováno pět důlních děl (32 449 – štola nad Lihovarským rybníkem, 32 450 – šachta Johani, 32 448 – jáma 1 nad Lihovarnickým rybníkem, 32 447 – jáma 2 nad Lihovarnickým rybníkem a 124 – jáma 3 nad Lihovarnickým rybníkem). Nově zjištěné pozůstatky po hornické činnosti s výskytem rudniny se nalézají na jv. okraji vymezeného poddolovaného území (obr. 2).

Na studované lokalitě bylo druhým z autorů (S. K.) objeveno cca 15 kusů žiloviny ve velikosti do 20×15 cm. Materiál je tvořen celistvým bělavým až našedlým křemenem, ojedinelé s drůzovým vývojem s drobnými krystaly křemene. Největší vzorek je tvořený šedým, kovově lesklým jemnozrnným arzenopyritem s ojedinelými až 2 mm velkými krystaly (obr. 3). Častý je černý hrubě zrnitý sfalerit a galenit a v menší míře i více či méně navětralý pyrit ve formě krystalů a zrn o velikosti do 1 cm (obr. 4, 5). Vedle žiloviny jsou v haldovém materiálu přítomny i úlomky alterované ruly. Pyrit i ostatní sulfidy jsou zčásti alterované a prované převážně žlutými práškovitými produkty jejich rozkladu.



Obr. 1. Stav lokality u Skalky po rekultivaci (2023), foto S. Kopecký.

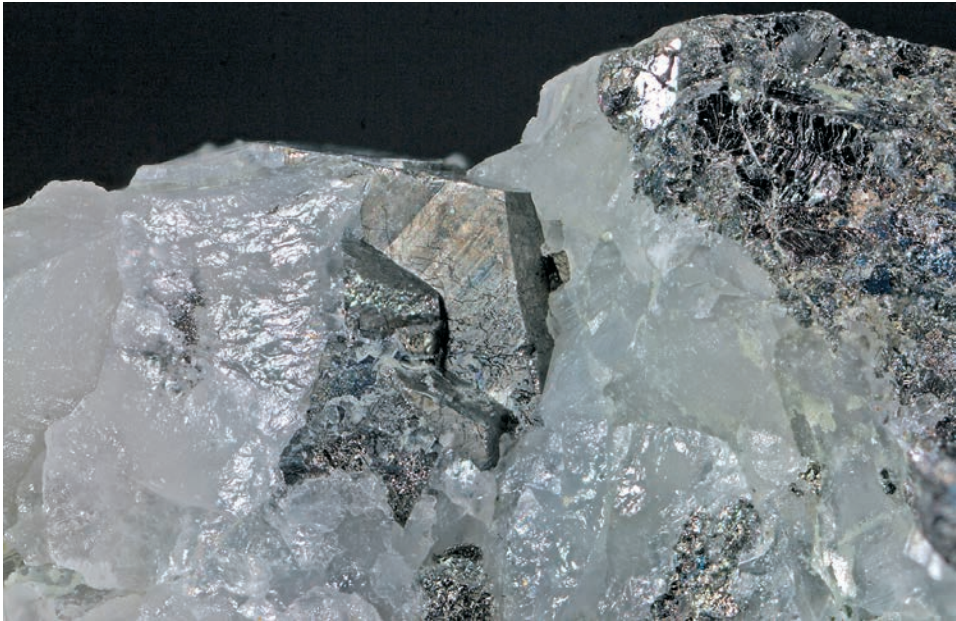
Fig. 1. The studied site near Skalka after recultivation (2023), photo S. Kopecký.





Obr. 2. Lokalizace nálezu starého důlního díla (X) u Skalky zanesený do mapy z registru důlních děl a poddolovaných území České geologické služby ([https://mapy.geology.cz/dulni\\_dila\\_poddolovani](https://mapy.geology.cz/dulni_dila_poddolovani)).

Fig. 2. Location of the newly discovered old mine shaft (X) near Skalka in the map from the register of mine shafts and mined areas of the Czech Geological Survey ([https://mapy.geology.cz/dulni\\_dila\\_poddolovani](https://mapy.geology.cz/dulni_dila_poddolovani)).



Obr. 3. Krystal arsenopyritu v křemenné žilovině se sferiterem ze Skalky. Šířka záběru 8 mm, foto B. Bureš.

Fig. 3. Arsenopyrite crystal in quartz gangue with sphalerite from Skalka. Field of view 8 mm, photo B. Bureš.





Obr. 4. Krystaly pyritu s galenitem ze Skalky. Šířka záběru 11 mm, foto B. Bureš.

Fig. 4. Pyrite crystals with galena from Skalka. Field of view 11 mm, photo B. Bureš.



Obr. 5. Zrno galenitu v křemenné žilovině s limonitem ze Skalky. Šířka záběru 9 mm, foto B. Bureš.

Fig. 5. Galena grain in quartz gangue with limonite from Skalka. Field of view 9 mm, photo B. Bureš.

**Sfalerit** tvoří ve studovaných nábrusech až několik mm velká nepravidelná zrna, která jsou často korodovaná či popraskaná. Zarůstají samostatně do křemenné žiloviny či častěji srůstají s pyritem, galenitem či arsenopyritem. Sfalerit většinou neobsahuje žádné inkluze, výjimkou je několik drobných zrn ullmannitu. Obdobně jako tmavé sfalerity z jiných lokalit havlíčkobrodského revíru má poměrně vysoký obsah Fe (0,10–0,19 *apfu*). V malém množství jsou přítomny Mn (do 0,02 *apfu*) a Cd (do 0,004 *apfu*). Jeho chemické složení (průměr 14 bodových analýz – tab. 1) je možno na bázi 2 *apfu* vyjádřit empirickým vzorcem  $(Zn_{0,83}Fe_{0,15}Mn_{0,01})_{\Sigma 0,99}S_{1,01}$ . Obdobné obsahy Fe (0,09–0,26 *apfu*), Mn i Cd byly zjištěny ve sfaleritech z dalších lokalit havlíčkobrodského revíru (obr. 6).

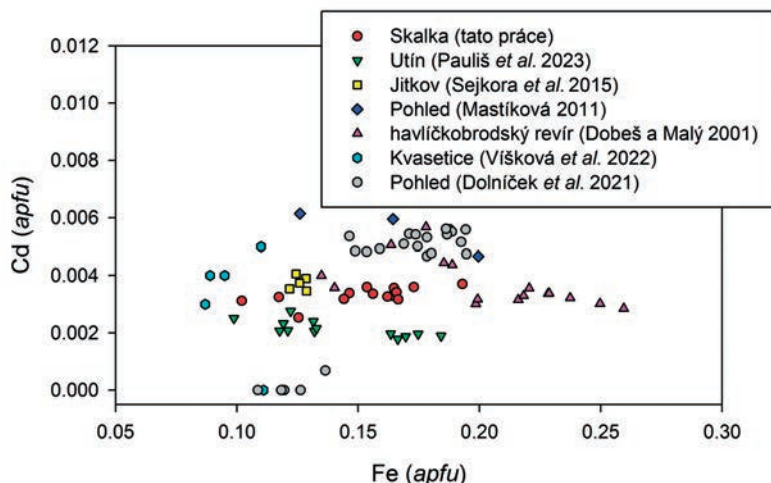
Tabulka 1. Chemické složení sfaleritu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 1. Chemical composition of sphalerite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fe	8,79	10,03	9,41	9,00	9,38	8,38	8,31	8,91	9,41	11,12	7,12	5,84	6,82	9,63	9,66
Cd	0,39	0,42	0,38	0,39	0,38	0,39	0,37	0,42	0,41	0,43	0,29	0,36	0,38	0,40	0,37
Mn	0,27	0,27	0,09	0,11	0,13	0,05	0,13	0,66	0,96	0,02	0,28	0,21	0,21	0,37	0,33
Zn	56,23	55,03	55,49	56,13	55,80	56,55	57,45	56,38	53,86	53,23	56,87	59,51	58,85	55,91	56,13
S	33,29	33,55	33,13	33,35	33,53	33,06	33,09	33,33	33,10	33,55	32,96	33,00	33,72	33,43	33,27
total	98,96	99,30	98,50	98,98	99,22	98,43	99,35	99,70	97,74	98,35	97,52	98,92	99,98	99,74	99,76
Fe	0,152	0,173	0,164	0,156	0,162	0,146	0,144	0,154	0,165	0,193	0,125	0,102	0,117	0,166	0,166
Cd	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Mn	0,005	0,005	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,012	0,017	0,000	0,005	0,004	0,004	0,006	0,006
Zn	0,833	0,811	0,826	0,831	0,824	0,844	0,851	0,830	0,805	0,789	0,856	0,888	0,865	0,822	0,826
S	1,006	1,008	1,005	1,007	1,009	1,006	0,999	1,001	1,009	1,014	1,011	1,004	1,011	1,002	0,998

Mean – průměr 14 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 2 *apfu*.

Mean – average of 14 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of 2 *apfu*.

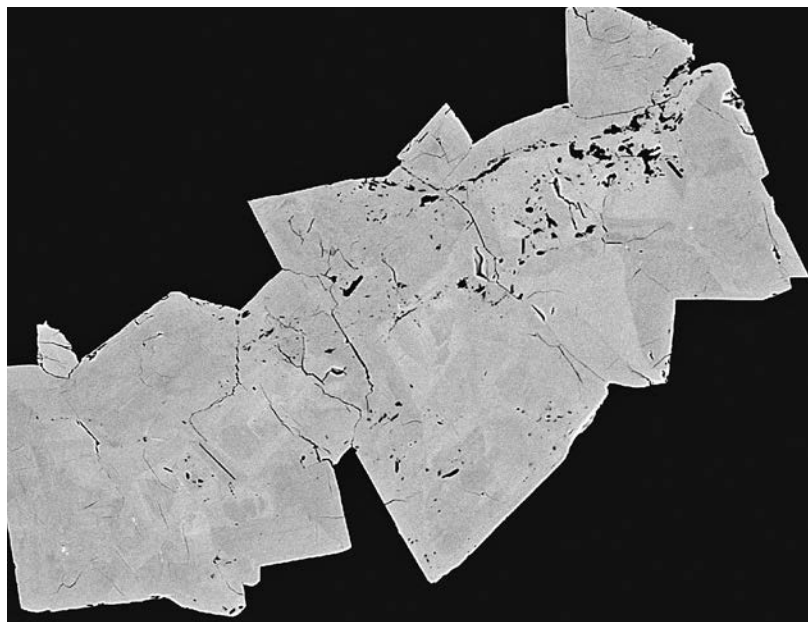


Obr. 6. Graf Fe vs. Cd (*apfu*) pro sfalerit z havlíčkobrodského rudního revíru; údaje DOBEŠE a MALÉHO (2001) jsou pro lokality Utín, Pekelská štola a Pohled.

Fig. 6. Graph Fe vs. Cd (*apfu*) for sphalerite from the Havlíčkův Brod ore district; data of DOBEŠ and MALÝ (2001) represent occurrences Utín, Pekelská Gallery and Pohled.

Hojnou rudní fází ve studovaném materiálu je **arsenopyrit**, který tvoří v ploše nábrusů až 1 mm velké idiomorfne omezené krystaly samostatně uzavřené v křemenné žilovině (obr. 7) či srůstající nejčastěji s mladším galenitem; nevýrazná zonalita pozorovaná v BSE obraze je odrazem kolísání poměru (As+Sb)/S. Jeho chemické složení (tab. 2) odpovídá publikovaným analýzám z havlíčkobrodského revíru (MASTÍKOVÁ 2011; SEJKORA *et al.* 2015; VÍŠKOVÁ *et al.* 2022; PAULIŠ *et al.* 2023; DOLNÍČEK *et al.* 2023); vedle minoritních obsahů Sb (do 0,01 *apfu*) je pro všechny vzorky charakteristické nestechiometrické zastoupení As+Sb+Bi a S (obr. 8). Studovaný arsenopyrit náleží k As-chudým arsenopyritům (poměr (As+Sb)/S se pohybuje mezi 0,78 a 0,95; tab. 2). Naproti tomu z pegmatitů z lomu Pohled byly popsány As-bohaté arsenopyrity (navíc i se zvýšenými obsahy Co a Ni; DOLNÍČEK *et al.* 2021). Zjištěná úroveň nestechiometrie však nevybočuje z obvyklých mezí; poměry As/S jsou pro arsenopyrit uváděny v rozmezí 0,82–1,22 (MORIMOTO a CLARK 1961), respektive 0,69–1,20 (KERESTEDJIAN 1997). Průměrné chemické složení arsenopyritu ze Skalky (14 bodových analýz) je možno vyjádřit na bázi 3 *apfu* empirickým vzorcem  $Fe_{1,01}As_{0,92}S_{1,07}$ .

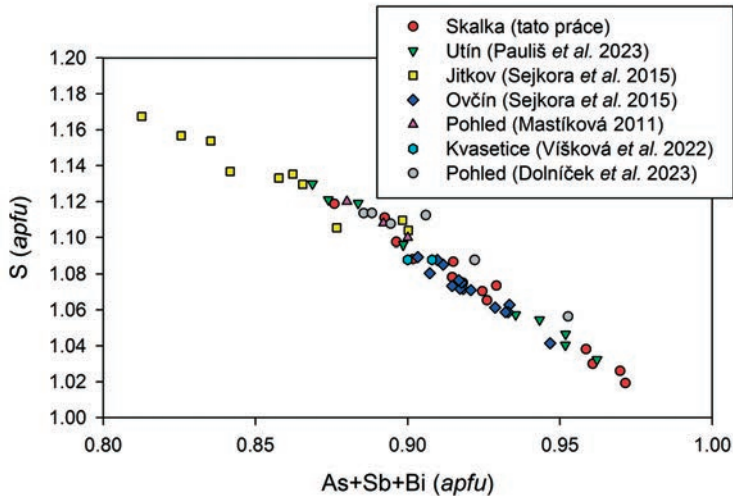
Ve studovaných nábrusech tvoří **pyrit** hojná až 2 mm velká nepravidelně omezená zrna a idiomorfni krystaly často srůstající se sfaleritem a galenitem. Má poměrně jednoduché složení (tab. 3), vedle Fe a S byly zjištěny jen minoritní obsahy Pb (do 0,001 *apfu*).



Obr. 7. Zonální krystaly arsenopyritu v křemenu ze Skalky. Šířka záběru 0,6 mm, BSE foto Z. Dolníček.

Fig. 7. Zonal arsenopyrite crystals in quartz from Skalka. Field of view 0.6 mm, BSE photo Z. Dolníček.





Obr. 8. Graf (As+Sb+Bi) vs. S (*apfu*) pro arsenopyrit z havlíčkobrodského rudního revíru.

Fig. 8. Graph (As+Sb+Bi) vs. S (*apfu*) for arsenopyrite from the Havlíčkův Brod ore district.

Tabulka 2. Chemické složení arsenopyritu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 2. Chemical composition of arsenopyrite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fe	35,11	34,73	35,24	34,79	34,61	35,01	35,51	34,87	34,68	35,27	35,62	35,58	35,04	35,22	35,34
Sb	0,24	0,18	0,06	0,17	0,15	0,00	0,67	0,13	0,08	0,16	0,42	0,07	0,06	0,46	0,70
As	43,18	44,40	43,37	44,82	44,74	42,06	42,02	42,80	43,29	42,87	41,38	42,57	44,71	42,80	42,67
S	21,47	20,63	21,37	20,17	20,30	22,41	22,24	21,80	21,43	21,68	22,76	22,01	20,53	21,59	21,64
total	99,99	99,94	100,04	99,95	99,80	99,48	100,44	99,60	99,48	99,98	100,18	100,23	100,34	100,07	100,35
Fe	1,005	1,003	1,009	1,009	1,004	0,997	1,006	0,998	0,997	1,007	1,005	1,010	1,009	1,007	1,008
Sb	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0,000	0,009	0,002	0,001	0,002	0,005	0,001	0,001	0,006	0,009
As	0,921	0,956	0,925	0,969	0,968	0,892	0,888	0,913	0,928	0,912	0,871	0,901	0,960	0,912	0,907
S	1,070	1,038	1,065	1,019	1,026	1,111	1,098	1,087	1,073	1,078	1,119	1,088	1,030	1,075	1,075
(As+Sb)/S	0,86	0,92	0,87	0,95	0,95	0,80	0,82	0,84	0,87	0,85	0,78	0,83	0,93	0,85	0,85

Mean – průměr 14 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 3 *apfu*.

Mean – average of 14 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of 3 *apfu*.

Tabulka 3. Chemické složení pyritu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 3. Chemical composition of pyrite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fe	46,51	46,67	46,90	46,72	46,23	45,73	46,59	45,97	46,14	46,87	46,88	46,49	46,91
Pb	0,11	0,15	0,00	0,16	0,11	0,14	0,14	0,00	0,11	0,12	0,13	0,10	0,13
S	53,03	52,95	53,72	53,08	53,09	53,67	53,47	52,39	51,97	53,25	53,19	52,24	53,39
total	99,65	99,77	100,62	99,96	99,43	99,54	100,20	98,36	98,22	100,24	100,20	98,83	100,43
Fe	1,004	1,008	1,002	1,007	1,000	0,985	1,000	1,005	1,013	1,007	1,008	1,014	1,006
Pb	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
S	1,995	1,991	1,998	1,992	2,000	2,014	1,999	1,995	1,987	1,992	1,991	1,985	1,994

Mean – průměr 12 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 3 *apfu*.

Mean – average of 12 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of 3 *apfu*.

V menší míře je v rudnině zastoupen **galenit**, tvořící až 0,2 mm velká nepravidelně omezená zrna srůstající obvykle se sfaleritem či pyritem. Jeho inkluze byly zjištěny i v pyritu. Při studiu chemického složení galenitu (tab. 4) byly zjištěny minoritní obsahy Sb (do 0,005 *apfu*), Ag (do 0,003 *apfu*) a Cd (do 0,002 *apfu*). Rozsah zjištěné Ag+Sb→2Pb substituce odpovídá publikovaným údajům pro galenity havlíčkobrodského revíru (obr. 9); galenity z lomu Pohled s obsahy Ag do 0,05 *apfu* (MASTÍKOVÁ 2011; DOLNÍČEK *et al.* 2021; DOLNÍČEK *et al.* 2023), neuvedené v grafu, se od ostatních lokalit revíru odlišují obsahy Bi a substitucí typu Ag+Bi→2Pb.

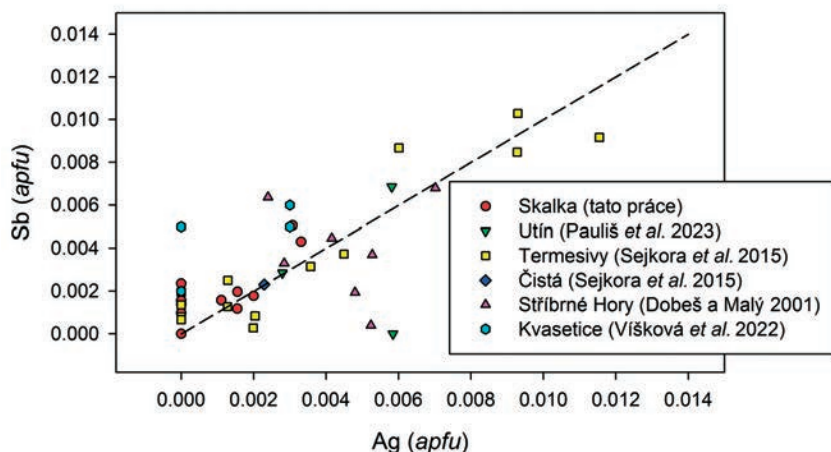
Tabulka 4. Chemické složení galenitu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 4. Chemical composition of galena from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ag	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,09	0,05	0,14	0,07	0,15
Pb	85,67	84,35	86,60	85,94	85,77	86,16	85,66	85,47	85,44	85,32	85,93	86,08	85,70	85,34
Cd	0,04	0,07	0,00	0,11	0,00	0,08	0,07	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
Sb	0,09	0,00	0,00	0,07	0,12	0,08	0,05	0,06	0,00	0,09	0,08	0,26	0,10	0,22
S	13,58	13,41	13,69	13,53	13,55	13,69	13,71	13,58	13,62	13,49	13,48	13,66	13,45	13,64
total	99,42	97,83	100,29	99,65	99,44	100,01	99,49	99,28	99,06	98,99	99,54	100,14	99,40	99,35
Ag	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,003	0,002	0,003
Pb	0,986	0,986	0,989	0,990	0,989	0,985	0,982	0,984	0,985	0,987	0,992	0,983	0,990	0,980
Cd	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Sb	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,002	0,002	0,005	0,002	0,004
S	1,010	1,013	1,011	1,007	1,009	1,012	1,016	1,011	1,015	1,009	1,005	1,008	1,004	1,012

Mean – průměr 13 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 2 *apfu*.

Mean – average of 13 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of 2 *apfu*.



Obr. 9. Graf Ag vs. Sb (*apfu*) pro galenit z havlíčkobrodského rudního revíru; přerušovaná linie znázorňuje ideální substituci Ag+Sb→2Pb.

Fig. 9. Graph Ag vs. Sb (*apfu*) for galena from the Havlíčkův Brod ore district; dashed line shows ideal substitution Ag+Sb→2Pb.

V malém množství byl v nábrusech zachycen **chalkopyrit** v podobě nepravidelných zrn o velikosti do 300  $\mu\text{m}$  srůstající s galenitem, sfaleritem a tetraedritem. Při studiu jeho chemického složení byly zjištěny pouze obsahy hlavních prvků (tab. 5) odpovídající empirickému vzorci  $\text{Cu}_{1,01}\text{Fe}_{0,99}\text{S}_{2,00}$ .

V nevelkém množství byl v nábrusech zachycen **pyrhotit** v podobě tabulkovitých agregátů až 0,1 mm velkých srůstajících se sfaleritem a chloritem. Chemické analýzy (tab. 6) ukázaly obvyklý deficit v obsahu kovů oproti síře; obsahy 0,85–0,87 *apfu* kovů odpovídají monoklinickému pyrhotinu (KANEDA *et al.* 1986; BECKER *et al.* 2010). Z minoritních komponent byly zjištěny nevelké obsahy Ni a Zn (do 0,002 *apfu*). Jeho chemické složení je možné vyjádřit empirickým vzorcem  $\text{Fe}_{0,86}\text{S}_{1,00}$  (průměr 3 bodových analýz, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na 1 atom síry).

Zajímavou rudní akcesorií, která byla ve studovaných nábrusech zjištěna, je **ullmannit**. Tento řídký minerál nebyl dosud v havlíčkovobrodském revíru zjištěn. V podobě mikroskopických zrn byl dříve zjištěn na odvalu Tříkrálové šachty v Rančířově v sousedním jihlavském rudním revíru (HOUZAR *et al.* 2021). V popisované mineralizaci ze Skalky tvoří ojedinělá nepravidelně omezená zrna o velikosti do 30  $\mu\text{m}$  zarůstající do sfaleritu (obr. 10). Při studiu jeho chemického složení (tab. 7) byly vedle Ni, Sb a S zjištěny minoritní obsahy Zn (do 0,08 *apfu*), Fe (do 0,02 *apfu*), Co (do 0,01 *apfu*) a As (do 0,03 *apfu*). Chemické složení ullmannitu (průměr 6 bodových analýz) je možno na bázi 3 *apfu* vyjádřit empirickým vzorcem  $(\text{Ni}_{0,96}\text{Zn}_{0,05}\text{Co}_{0,01}\text{Fe}_{0,01})_{\Sigma 1,03}\text{Sb}_{0,99}(\text{S}_{0,97}\text{As}_{0,01})_{\Sigma 0,98}$ .

Tabulka 5. Chemické složení chalkopyritu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 5. Chemical composition of chalcopyrite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5
Fe	29,80	30,13	29,80	29,85	29,59	29,61
Cu	34,73	34,32	34,75	34,79	34,89	34,89
S	34,65	34,89	34,53	34,59	34,58	34,66
total	99,17	99,34	99,08	99,23	99,06	99,16
Fe	0,988	0,996	0,989	0,989	0,982	0,982
Cu	1,012	0,997	1,014	1,013	1,018	1,017
S	2,001	2,008	1,997	1,997	2,000	2,002

Mean – průměr 5 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 4 *apfu*.

Mean – average of 5 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of 4 *apfu*.

Tabulka 6. Chemické složení pyrhotinu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

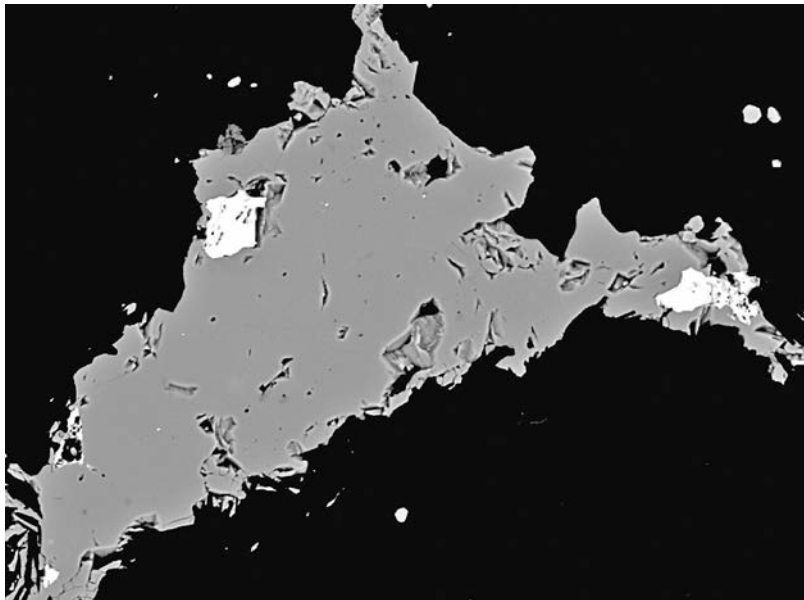
Table 6. Chemical composition of pyrrotite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3
Fe	59,01	59,33	58,94	58,77
Ni	0,10	0,11	0,08	0,10
Zn	0,09	0,05	0,09	0,14
S	39,40	39,19	39,46	39,55
total	98,60	98,68	98,57	98,56
Fe	0,859	0,869	0,858	0,853
Ni	0,001	0,002	0,001	0,001
Zn	0,001	0,001	0,001	0,002
S	1,000	1,000	1,000	1,000

Mean – průměr 3 bodových analýz; koeficienty hodnoty *apfu* jsou vypočítány na 1 atom síry.

Mean – average of 3 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of S = 1 *apfu*.





Obr. 10. Drobná zrna ullmanitu (šedobílá) ve sfaleritu (tmavošedý) v křemenné žilovině ze Skalky; šířka záběru 0,5 mm, BSE foto Z. Dolníček.

Fig. 10. Tiny ullmannite grains (greyish white) in sphalerite hosted by quartz gangue from Skalka. Field of view 0.5 mm, BSE photo Z. Dolníček.

Tabulka 7. Chemické složení ullmannitu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 7. Chemical composition of ullmannite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5	6
Fe	0,22	0,23	0,24	0,42	0,13	0,16	0,12
Ni	26,70	26,59	26,66	26,48	26,81	26,76	26,87
Co	0,16	0,28	0,15	0,21	0,07	0,14	0,12
Zn	1,59	1,60	1,95	2,62	1,08	1,24	1,02
Sb	56,99	57,29	57,20	57,05	56,86	57,45	56,10
As	0,50	0,40	0,43	0,48	0,36	0,22	1,10
S	14,66	14,61	14,71	14,68	14,62	14,67	14,68
<b>total</b>	<b>100,82</b>	<b>101,00</b>	<b>101,34</b>	<b>101,94</b>	<b>99,93</b>	<b>100,64</b>	<b>100,01</b>
Fe	0,008	0,009	0,009	0,016	0,005	0,006	0,005
Ni	0,962	0,959	0,956	0,943	0,975	0,968	0,973
Co	0,005	0,009	0,005	0,007	0,002	0,005	0,004
Zn	0,051	0,052	0,063	0,083	0,035	0,040	0,033
Sb	0,990	0,996	0,989	0,980	0,998	1,002	0,980
As	0,014	0,011	0,012	0,013	0,010	0,006	0,031
S	0,968	0,964	0,966	0,980	0,974	0,972	0,974

Mean – průměr 6 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 3 *apfu*.

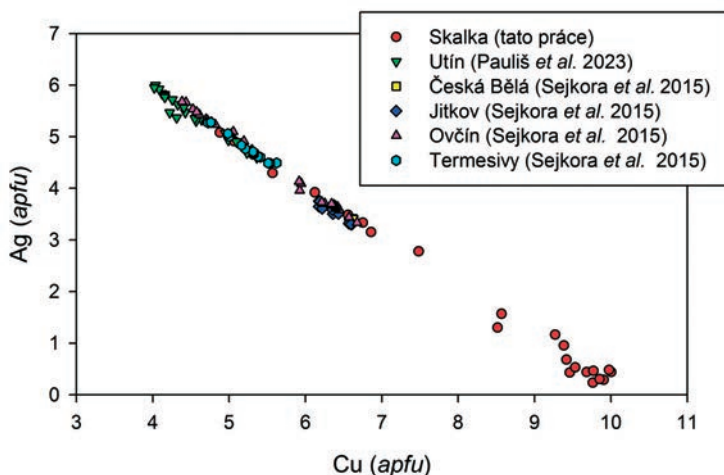
Mean – average of 6 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of 3 *apfu*.

V několika případech byly v nábrusech zjištěny minerály ze **skupiny tetraedritu** tvořící nepravidelně omezená zonální zrna o velikosti do 0,3 mm, která srůstají s chalkopyritem, pyritem a galenitem (obr. 11). Chemické složení jednotlivých měřených bodů je značně proměnlivé, na základě nové nomenklatury tetraedritové skupiny (BIAGIONI *et al.* 2020) lze tyto tetraedrity klasifikovat jako tetraedrit-(Fe) a kenoargentotetraedrit-(Fe) (obr. 12). Pro **tetraedrit-(Fe)** jsou charakteristické obsahy Ag v rozmezí 0,24–2,78 *apfu* (tab. 8) a převaha Fe (1,15–1,84 *apfu*) nad ostatními  $Me^{2+}$  prvky (Zn 0,04–0,44, Cd do 0,11 a Pb do 0,02 *apfu*). Nedávno definovaný (BIAGIONI *et al.* 2020; SHU *et al.* 2022) **kenoargentotetraedrit-(Fe)** se vyznačuje zastoupením Ag v rozmezí 3,15–5,08 *apfu* (tab. 9) doprovázeným obsahy S v rozmezí 11,87–12,47 *apfu* (obr. 13); přítomnost vakance v pozici síry je charakteristická pro keno členy série *freibergitu*. Dominantním  $Me^{2+}$  prvkem je Fe (1,15–1,84 *apfu*) doprovázené Zn (do 0,44 *apfu*) a minoritním Cd (do 0,05 *apfu*) a Pb (do 0,02 *apfu*). Kenoargentotetraedrit-(Fe) obdobného složení je v havlíčkovobrodském revíru znám z lokalit Utín, Ovčín a Termesivy (SEJKORA *et al.* 2015); naproti tomu tetraedrit-(Fe) s obsahy Ag pod 3 *apfu* (obr. 12) dosud z tohoto revíru popsán nebyl.



Obr. 11. Zrno chalkopyritu (černé) a zonálními agregáty minerálů skupiny tetraedritu (různé odstíny šedé) zarostlé v galenitu (světle šedá) ze Skalky. Šířka záběru 0,46 mm, BSE foto Z. Dolníček.

Fig. 11. Chalcopyrite grain (black) and zonal aggregates of tetrahedrite-group minerals (various shades of gray) in galena (light gray) from Skalka. Field of view 0.46 mm, BSE photo Z. Dolníček.



Obr. 12. Chemické složení minerálů skupiny tetraedritu z havlíčkobrodského rudního revíru v grafu Cu vs. Ag (*apfu*); minimální obsah pro členy série *freibergitu* jsou 3 Ag *apfu*.

Fig. 12. Chemical composition of tetrahedrite-group minerals from the Havlíčkův Brod ore district in the Cu vs. Ag (*apfu*) graph; the minimum content of Ag for members of *freibergite*-series is 3 Ag *apfu*.

Tabulka 8. Chemické složení tetraedritu-(Fe) z Havlíčkova Brodu (hm. %).

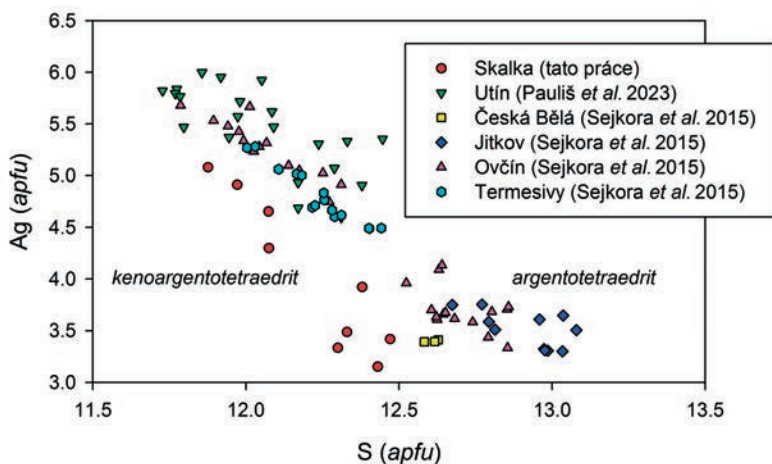
Table 8. Chemical composition of tetrahedrite-(Fe) from Havlíčkův Brod (wt. %).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ag	1,54	1,88	1,98	2,80	2,82	2,84	3,01	3,11	3,47	4,33	6,02	7,39	8,22	9,73	16,78
Fe	5,40	5,16	4,94	6,19	4,99	4,78	4,66	4,69	5,48	5,31	5,18	3,77	5,72	4,80	5,06
Pb	0,00	0,21	0,00	0,12	0,16	0,00	0,17	0,30	0,19	0,28	0,21	0,13	0,16	0,23	0,28
Cd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,00	0,00	0,18
Zn	1,48	0,88	1,32	1,07	0,17	1,71	1,74	0,44	1,29	0,52	0,28	1,69	1,34	1,55	0,23
Cu	37,34	37,84	37,59	36,29	37,75	36,87	37,41	37,76	36,66	35,13	34,84	34,59	31,70	31,32	26,62
Sb	29,44	29,47	29,49	29,32	28,75	29,28	28,54	28,95	29,27	29,45	28,33	27,55	29,06	27,59	27,31
S	24,79	24,89	24,71	24,53	24,61	24,91	25,00	24,70	24,64	24,54	23,83	24,37	23,63	23,40	22,47
<b>total</b>	<b>99,99</b>	<b>100,33</b>	<b>100,03</b>	<b>100,32</b>	<b>99,38</b>	<b>100,39</b>	<b>100,77</b>	<b>99,95</b>	<b>101,00</b>	<b>99,56</b>	<b>98,69</b>	<b>100,20</b>	<b>99,83</b>	<b>98,62</b>	<b>98,93</b>
Ag	0,237	0,290	0,306	0,430	0,440	0,439	0,463	0,484	0,532	0,684	0,955	1,167	1,301	1,568	2,778
Cu	5,763	5,710	5,694	5,570	5,560	5,561	5,537	5,516	5,468	5,316	5,045	4,833	4,699	4,432	3,222
$\Sigma A$	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Cu															
<i>Bpos.</i>	4,000	4,000	4,000	3,892	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,815	4,000	4,000
Fe	1,606	1,537	1,473	1,837	1,505	1,428	1,385	1,410	1,621	1,620	1,588	1,150	1,748	1,494	1,618
Pb	0,000	0,017	0,000	0,010	0,013	0,000	0,014	0,024	0,015	0,023	0,017	0,011	0,013	0,019	0,024
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000	0,035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,108	0,000	0,000	0,029
Zn	0,376	0,224	0,336	0,271	0,044	0,437	0,442	0,113	0,326	0,136	0,073	0,440	0,350	0,412	0,063
Cu	0,000	0,196	0,157	0,000	0,443	0,122	0,234	0,461	0,065	0,101	0,339	0,438	0,000	0,135	0,260
$\Sigma C$	1,983	1,973	1,966	2,118	2,024	1,987	2,109	2,008	2,027	1,879	2,017	2,146	2,111	2,061	1,994
Sb	4,017	4,027	4,034	3,990	3,976	4,013	3,891	3,992	3,973	4,121	3,983	3,854	4,074	3,939	4,006
S	12,845	12,913	12,834	12,676	12,924	12,965	12,940	12,933	12,698	13,038	12,720	12,945	12,578	12,686	12,516

Koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 16 kationtů *apfu*.

Coefficients of the empirical formula calculated on the basis of 16 cations *apfu*.





Obr. 13. Chemické složení minerálů série *freibergitu* z havlíčkobrodského rudního revíru v grafu S vs. Ag (apfu); arbitrární hranice mezi argentotetraedritem a kenoargentotetraedritem je 12,5 apfu S.

Fig. 13. Chemical composition of *freibergite*-series minerals from the Havlíčkův Brod ore district in the S vs. Ag (apfu) graph; the arbitrary boundary between argentotetraedrite and kenoargentotetraedrite is 12.5 apfu S.

Tabulka 9. Chemické složení kenoargentotetraedritu-(Fe) z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 9. Chemical composition of kenoargentotetraedrite-(Fe) from Havlíčkův Brod (wt. %).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag	19,02	20,25	20,47	21,05	23,47	25,45	27,07	28,32	29,07
Fe	5,96	5,44	5,97	5,71	5,35	4,72	4,64	4,80	4,90
Pb	0,17	0,00	0,00	0,15	0,14	0,00	0,13	0,12	0,13
Cd	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,13	0,14	0,31	0,25
Zn	0,08	0,53	0,08	0,51	0,65	1,59	1,37	1,13	1,11
Cu	24,38	24,15	23,19	23,32	21,58	19,42	18,23	17,20	16,45
Sb	27,52	27,56	27,45	27,11	27,27	27,59	26,69	26,24	25,91
S	22,29	22,20	22,20	22,13	22,02	21,25	20,88	20,52	20,20
total	99,42	100,24	99,36	99,98	100,48	100,15	99,15	98,64	98,02
Ag	3,153	3,335	3,418	3,486	3,922	4,299	4,653	4,911	5,080
Cu	2,847	2,665	2,582	2,514	2,078	1,701	1,347	1,089	0,920
$\Sigma A$	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Cu <sub>Bpos.</sub>	4,000	4,000	3,991	4,000	4,000	3,867	3,972	3,975	3,960
Fe	1,908	1,731	1,925	1,827	1,727	1,540	1,540	1,608	1,654
Pb	0,015	0,000	0,000	0,013	0,012	0,000	0,012	0,011	0,012
Cd	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,021	0,023	0,052	0,042
Zn	0,022	0,144	0,022	0,139	0,179	0,443	0,389	0,323	0,320
Cu	0,013	0,087	0,000	0,043	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000
$\Sigma C$	1,958	1,979	1,948	2,022	1,962	2,004	1,964	1,993	2,028
Sb	4,042	4,021	4,061	3,978	4,038	4,129	4,064	4,032	4,012
S	12,431	12,300	12,471	12,331	12,380	12,075	12,074	11,972	11,876

Koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 16 kationtů apfu.

Coefficients of the empirical formula calculated on the basis of 16 cations apfu.

## DALŠÍ PRIMÁRNÍ MINERÁLY

Zcela převládající žilnou výplň zjištěnou na lokalitě je bílý křemen. Lokálně byl v křemenné žilovině zjištěn **muskovit**, tvořící lupenité agregáty o velikosti do 40  $\mu\text{m}$ , ojedinelé muskovit zarůstá i do galenitu. Jeho chemické složení bylo ověřeno prostřednictvím 11 bodových analýz, které jsou uvedeny v tabulce 10. Obsahy Si jsou oproti ideálnímu vzorci muskovitu v dané fázi zvýšené (3,13–3,40 *apfu*; bezvodá báze přepočtu 11 atomů kyslíku), obsahy Al naopak nižší (2,25–2,76 *apfu*), obsahy Mg a Fe jsou též zvýšené (0,08–0,23 resp. 0,03–0,12 *apfu*). Obsahy mezivrstevních kationtů jsou mezi 0,86 a 0,94 *apfu*. Převažuje mezi nimi draslík, zatímco sodík je jen minoritní komponentou (do 0,07 *apfu*). U větší části analýz muskovitu z křemenné žiloviny jde klasifikačně (obr. 14a) o „fengitické“ muskovity (tj. členy řady muskovit – (alumino)seladonit; RIEDER *et al.* (1998). Obsah fluoru je v dané fázi z křemenné žiloviny nízký (do 0,09 *apfu*). Zjištěné složení je velmi blízké muskovitům z rudních žil lomu Pohled (DOLNÍČEK *et al.* 2023; obr. 14a).

S muskovitem v okolí zrn galenitu srůstají listkovité, až 1 mm velké vějířovité agregáty **chloritu**, tvořené až 0,1 mm velkými jemnými lupínky. Často jimi pronikají žilkovité a zrnité agregáty cerusitu jakožto produktu přeměny galenitu (obr. 15). Někdy s chlority úzce asociují zrna pyritu. V BSE obraze je chlorit často zonální. Podle provedených WDS analýz jsou v BSE tmavší partie bohatší Mg, zatímco světlejší jsou bohatší Fe. Při přepočtu empirického vzorce na bezvodou bázi 14 atomů kyslíku (tab. 11) se pohybují obsahy Si mezi 2,76 a 3,08 *apfu*, obsahy Al mezi 2,20 a 2,65 *apfu* a obsahy Mg v poměrně širokém rozmezí mezi 1,87 a 3,53 *apfu*. Obsahy Ca a K jsou pod mezi stanovitelnosti, zatímco vysoké jsou obsahy Mn (0,18–0,97 *apfu*) a Fe (0,73–1,71 *apfu*). Poměr Fe/(Fe+Mg)

Tabulka 10. Chemické složení muskovitu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

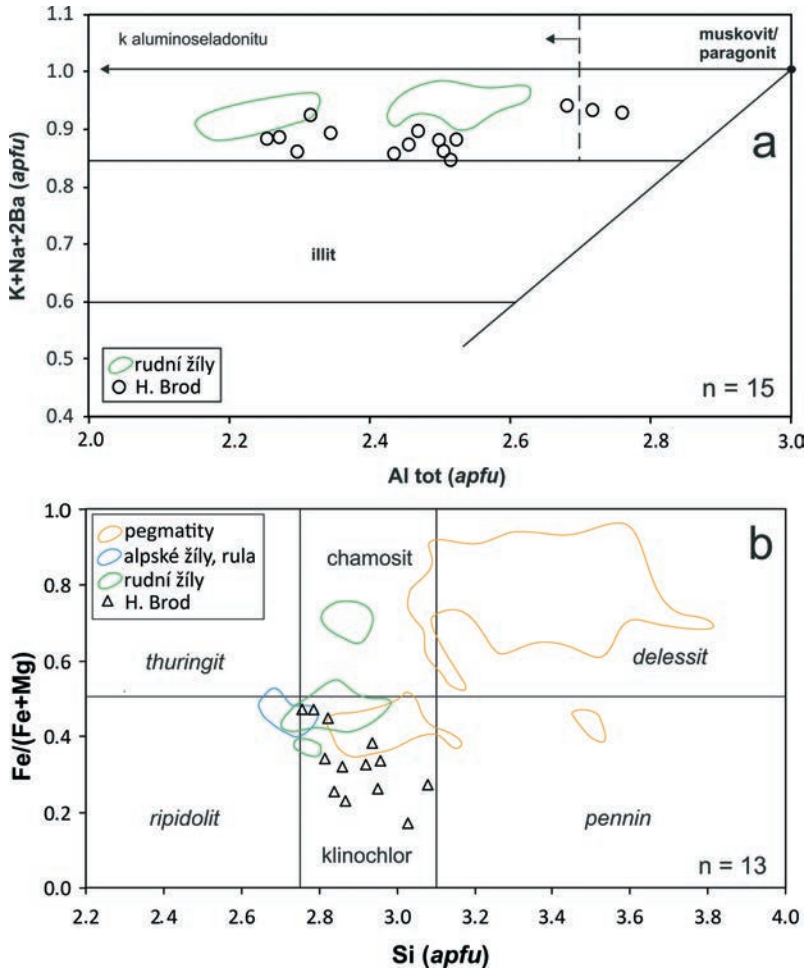
Table 10. Chemical composition of muscovite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	50,93	49,80	50,06	50,29	47,81	47,21	50,18	50,93	47,91	48,96	49,40
TiO <sub>2</sub>	0,24	0,25	0,24	0,20	0,19	0,14	0,15	0,16	0,12	0,17	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,64	31,42	29,55	32,57	34,21	35,32	32,39	31,48	35,05	31,08	31,79
MgO	2,34	1,90	2,02	1,51	0,84	0,77	1,51	1,49	0,91	1,91	1,77
FeO	2,13	1,14	1,24	0,84	0,89	0,88	1,05	1,35	0,90	0,71	0,62
Na <sub>2</sub> O	0,07	0,08	0,09	0,13	0,57	0,56	0,08	0,07	0,50	0,07	0,08
K <sub>2</sub> O	10,27	10,21	10,27	9,94	10,24	10,14	10,18	10,14	10,36	10,33	10,24
F	0,45	0,37	0,40	0,32	0,00	0,00	0,30	0,25	0,22	0,33	0,35
H <sub>2</sub> O	4,28	4,35	4,26	4,42	4,51	4,52	4,43	4,45	4,45	4,29	4,33
Total	99,35	99,52	98,13	100,22	99,26	99,54	100,27	100,32	100,39	97,85	98,70
Si	3,401	3,302	3,370	3,295	3,178	3,129	3,293	3,342	3,153	3,299	3,294
Ti	0,012	0,012	0,012	0,010	0,010	0,007	0,007	0,008	0,006	0,009	0,006
Al	2,254	2,456	2,345	2,515	2,681	2,759	2,505	2,435	2,717	2,469	2,499
Mg	0,233	0,188	0,203	0,147	0,083	0,076	0,148	0,146	0,089	0,192	0,176
Fe	0,119	0,063	0,070	0,046	0,049	0,049	0,058	0,074	0,050	0,040	0,035
Na	0,009	0,010	0,012	0,017	0,073	0,072	0,010	0,009	0,064	0,009	0,010
K	0,875	0,864	0,882	0,831	0,868	0,857	0,852	0,849	0,870	0,888	0,871
Σ kat	6,902	6,895	6,893	6,861	6,943	6,944	6,878	6,862	6,949	6,906	6,891
OH	1,907	1,925	1,914	1,932	2,001	1,999	1,940	1,948	1,855	1,929	1,927
F	0,095	0,078	0,085	0,066	0,000	0,000	0,062	0,052	0,046	0,070	0,074
Itot	0,884	0,874	0,894	0,847	0,942	0,929	0,862	0,858	0,934	0,897	0,882

Koeficienty empirických vzorců počítány na bezvodou bázi 11 atomů kyslíku *apfu*, obsah vody dopočten na OH+F = 2 *pfu*. Itot – suma mezivrstevních kationtů.

Coefficients of the empirical formula calculated on anhydrous basis of 11 O *apfu*, content of water calculated to OH+F = 2 *pfu*. Itot – sum of interlayer cations.

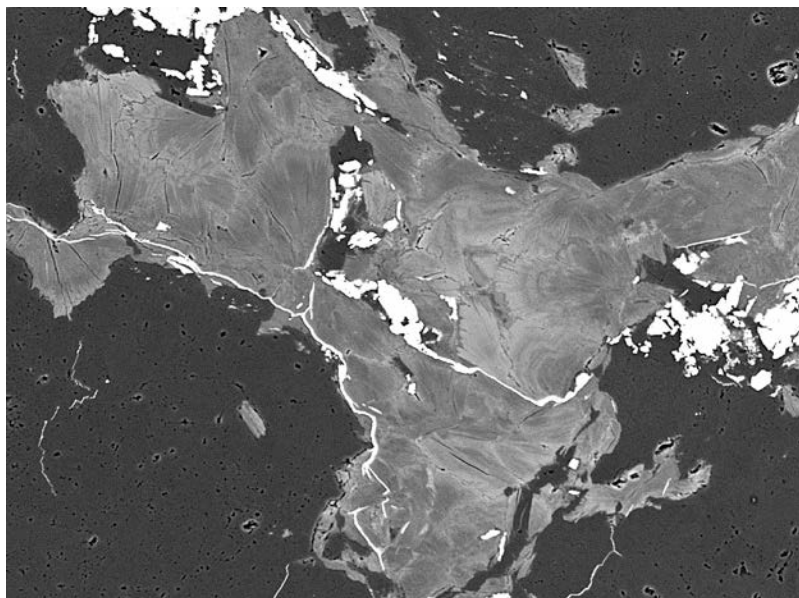
kolísá mezi 0,17 a 0,47 (tab. 11, obr. 14b). Jde tedy o trioktaedrické Fe-Mg-Al chlority klinochlor-chamositové řady (WIEWIÓRA a WEISS 1990), jejichž chemické složení odpovídá **klinochloru** v klasifikacích BAYLISSE (1975) i MELKY (1965; obr. 14b). V porovnání s chlority z rudních žil z lomu Pohled lze zmínit obdobné obsahy Si, výrazně vyšší obsahy Mn a nižší poměr Fe/(Fe+Mg) (obr. 14b). Chloritový termometr podle CATHELINEAU (1988) nasvědčuje vzniku chloritu z Havlíčkova Brodu v širším teplotním intervalu mezi 235 a 339 °C (tab. 11).



Obr. 14. Variace v chemismu fylosilikátů ze studované mineralizace. (a) muskovit v diagramu Al vs.  $Itot$ . Diagram podle MAYDAGÁN *et al.* (2016) s hranicemi pro illit modifikovanými podle RIEDERA *et al.* (1998). (b) chlority v klasifikačním diagramu Si vs.  $Fe/(Fe+Mg)$  podle MELKY (1965). Srovnávací data (vše z lokality Pohled) jsou převzata z prací MASTÍKOVÉ (2011) a DOLNÍČKA *et al.* (2020, 2023).

Fig. 14. Variations in chemical composition of phyllosilicates from the studied mineralization. (a) Muscovite in the plot Al vs.  $Itot$ . The diagram is according to MAYDAGÁN *et al.* (2016) with boundaries for illite modified after RIEDER *et al.* (1998). (b) Chlorites in classification scheme Si vs.  $Fe/(Fe+Mg)$  after MELKA (1965). The comparative data (all for the Pohled locality) are taken from MASTÍKOVÁ (2011) and DOLNÍČEK *et al.* (2020, 2023).





Obr. 15. Vějířovité agregáty chloritu (šedé) se zrny galenitu (bílé) a drobnými žilkovitými výplněmi cerusitu (bílé) v křemenu ze Skalky. Šířka záběru 0,8 mm, BSE foto Z. Dolníček.

Fig. 15. Fan-shaped aggregates of chlorite (grey) with grains of galena (white) and small cerusite veinlets (white) in quartz from Skalka. Field of view 0.8 mm, BSE photo Z. Dolníček.

Tabulka 11. Chemické složení chloritu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 11. Chemical composition of chlorite from Havlíčkův Brod (wt. %).

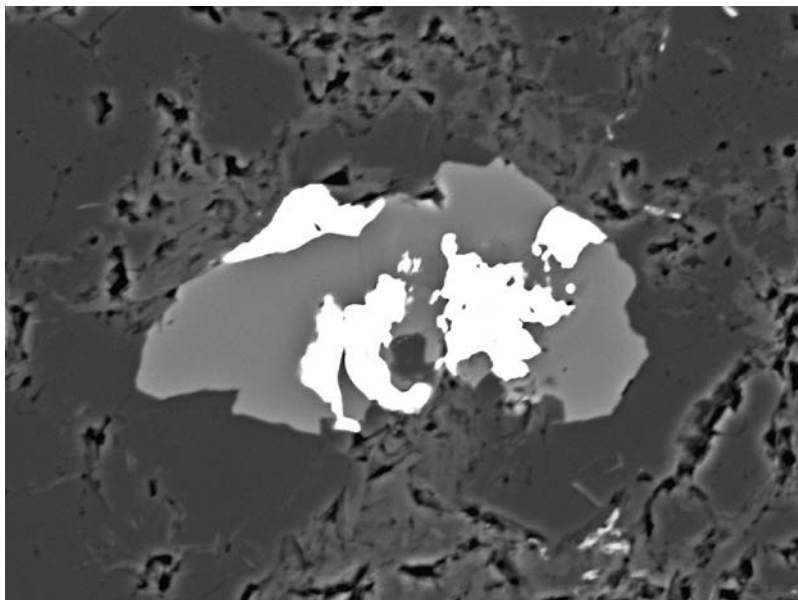
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	30,07	28,35	28,17	30,48	27,57	27,62	29,04	28,44	26,63	25,89	25,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,65	19,74	20,42	18,76	21,46	19,52	19,98	20,66	20,94	20,65	20,84
MgO	17,95	17,02	16,65	23,87	18,68	14,85	19,22	21,25	12,73	11,68	11,98
MnO	5,99	5,23	6,92	4,58	2,09	7,23	6,59	5,15	8,81	10,60	9,50
FeO	11,98	15,31	14,29	8,76	17,25	16,37	12,14	11,26	18,39	18,47	19,00
F	0,28	0,24	0,00	0,31	0,23	0,00	0,29	0,25	0,00	0,00	0,00
H <sub>2</sub> O	11,57	11,38	11,57	11,92	11,63	11,28	11,66	11,77	11,31	11,14	11,11
Total	97,49	97,27	98,02	98,68	98,91	96,87	98,92	98,78	98,81	98,43	97,97
Si	3,079	2,957	2,920	3,028	2,815	2,936	2,951	2,867	2,822	2,785	2,756
Al	2,371	2,427	2,495	2,197	2,583	2,446	2,393	2,455	2,616	2,619	2,651
Mg	2,740	2,647	2,572	3,535	2,843	2,353	2,911	3,194	2,011	1,873	1,927
Mn	0,520	0,462	0,608	0,385	0,181	0,651	0,567	0,440	0,791	0,966	0,868
Fe	1,026	1,336	1,239	0,728	1,473	1,455	1,032	0,949	1,630	1,662	1,715
Σ kat	9,735	9,829	9,833	9,873	9,894	9,841	9,853	9,905	9,870	9,905	9,918
OH	7,905	7,922	8,002	7,902	7,923	8,001	7,905	7,918	7,998	7,998	8,001
F	0,091	0,079	0,000	0,097	0,074	0,000	0,093	0,080	0,000	0,000	0,000
F/FM	0,27	0,34	0,33	0,17	0,34	0,38	0,26	0,23	0,45	0,47	0,47
T (°C)	235	274	286	251	320	281	276	303	317	329	339

Koeficienty empirických vzorců počítány na bezvodou bázi 14 atomů kyslíku *apfu*, obsah vody dopočten na OH+F = 8 *pfu*. F/FM = Fe/(Fe+Mg), T – chloritový termometr podle CATHELINÉAU (1988).

Coefficients of the empirical formula calculated on anhydrous basis of 14 O *apfu*, content of water calculated to OH+F = 8 *pfu*. F/FM = Fe/(Fe+Mg), T – chlorite thermometer according to CATHELINÉAU (1988).

Dalším primárním minerálem, který byl ojediněle zjištěn v křemenné žilovině, je **fluorapatit**. Tvoří xenomorfně omezená zrna až 0,1 mm velká, někdy srůstající s monazitem (obr. 16). V BSE obraze jsou homogenní. Deset WDS analýz (tabulka 12) ukázalo, že jde o stechiometrické fluorapatity (2,91–3,02 *apfu* P a 1,00–1,18 *apfu* F) s malými obsahy Si (průměr 0,03 *apfu*), Al (průměr 0,02 *apfu*), Y (průměr 0,03 *apfu*), Ce, La a Nd (pod 0,01 *apfu*). Jeho chemické složení (průměr 10 bodových analýz) je možno na bázi 12,5 atomů kyslíku vyjádřit empirickým vzorcem  $(Ca_{4,88}Y_{0,03}Al_{0,02}Ce_{0,01}Nd_{0,01})_{\Sigma 4,95}[(PO_4)_{2,98}(SiO_4)_{0,04}]_{\Sigma 3,02}F_{1,11}$ .

V chloritu byla též zjištěna nepravidelná zrna **rutilu** o velikosti kolem 15  $\mu m$  a shluky jeho jehličkovitých krystalů o délce do 50  $\mu m$ . Tvoří též prizmatické krystaly o velikosti do 20  $\mu m$  zarůstající v křemeni. V BSE obraze je výrazně nepravidelně zonální. Zonalita je způsobena variabilními obsahy W (0,000–0,017 *apfu*; báze přepočtu 2 atomy kyslíku). Vedle W byly v rutilu zjištěny malé obsahy Fe, Si, Nb, Sn, Al, Ca a Mn (tab. 13). Chemismus rutilu z Havlíčkova Brodu je velmi podobný  $TiO_2$  fázím z dalších hydrotermálních žil v havlíčkobrodském rudním revíru (DOLNÍČEK *et al.* 2023; DOLNÍČEK *et al.* v tisku), ale odlišný od alteračních  $TiO_2$  fází z tamních pegmatitů (DOLNÍČEK *et al.* 2020).



Obr. 16. Fluorapatit (šedý) srůstající s monazitem-(Ce) (bílé) v křemeni s muskovitem ze Skalky. Šířka záběru 200  $\mu m$ , BSE foto Z. Dolníček.

Fig. 16. Fluorapatite (grey) intergrows with monazite-(Ce) (white) in quartz with muscovite from Skalka. Field of view 200  $\mu m$ , BSE photo Z. Dolníček.

Tabulka 12. Chemické složení fluorapatitu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 12. Chemical composition of fluorapatite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	42,30	42,79	42,81	42,28	42,25	42,34	41,98	42,10	41,81	42,56
SiO <sub>2</sub>	0,43	0,74	0,59	0,08	0,00	0,13	0,00	0,32	0,79	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,19	0,21	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,85	0,07
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,65	1,01	1,59	0,54	0,36	0,46	0,29	1,42	0,28	0,37
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,29	0,47	0,93	0,14	0,08	0,09	0,00	1,07	0,04	0,12
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12	0,16	0,35	0,00	0,00	0,00	0,05	0,58	0,00	0,02
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20	0,19	0,61	0,08	0,11	0,00	0,08	0,63	0,15	0,05
CaO	54,79	54,63	52,92	55,62	55,15	55,23	55,24	53,05	54,92	55,47
F	4,23	4,20	4,62	4,32	3,75	4,48	4,05	4,43	4,04	4,05
O=F	-1,78	-1,77	-1,95	-1,82	-1,58	-1,89	-1,71	-1,87	-1,70	-1,71
Total	101,42	101,63	102,47	101,26	100,13	100,83	99,98	101,73	101,18	101,15
P	2,979	2,975	3,017	2,998	2,986	2,995	2,994	2,990	2,935	2,994
Si	0,035	0,059	0,049	0,006	0,000	0,020	0,000	0,050	0,065	0,010
Al	0,019	0,021	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,080	0,007
Y	0,029	0,044	0,070	0,024	0,016	0,020	0,013	0,060	0,012	0,016
Ce	0,009	0,014	0,032	0,004	0,002	0,003	0,000	0,030	0,001	0,004
La	0,004	0,005	0,011	0,000	0,000	0,000	0,002	0,030	0,000	0,001
Nd	0,006	0,006	0,018	0,002	0,003	0,000	0,002	0,019	0,004	0,001
Ca	4,884	4,807	4,671	4,993	4,952	4,949	4,987	4,769	4,880	4,939
Σ kat	7,965	7,931	7,868	8,029	7,970	7,987	7,998	7,948	7,977	7,972
F	1,113	1,094	1,220	1,148	0,997	1,186	1,079	1,176	1,059	1,064

Mean – průměr z 9 bodových analýz; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 12,5 atomů kyslíku *apfu*.

Mean – average of 9 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of 12.5 O *apfu*.

Tabulka 13. Chemické složení rutilu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 13. Chemical composition of rutile from Havlíčkův Brod (wt. %).

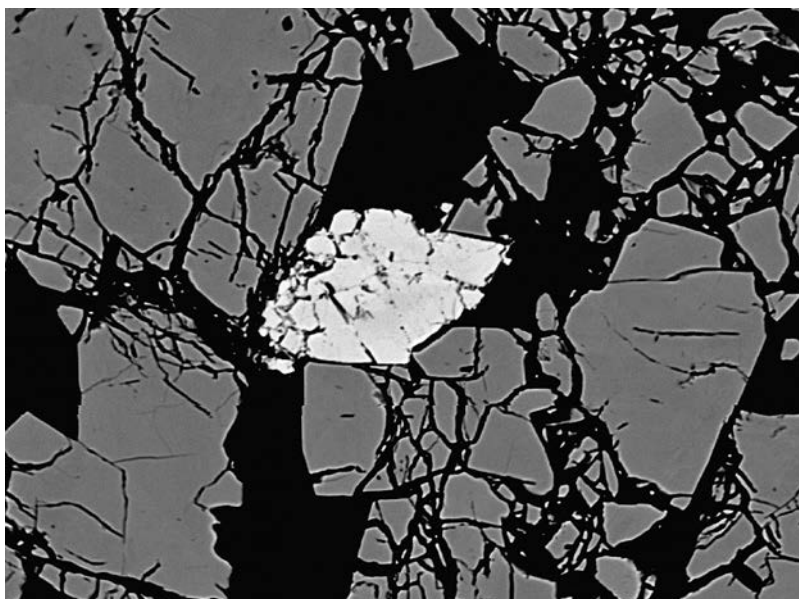
	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9
WO <sub>3</sub>	0,93	5,95	1,06	0,24	0,08	0,54	0,30	0,00	0,23	0,00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20	0,41	0,11	0,27	0,22	0,39	0,06	0,21	0,07	0,02
TiO <sub>2</sub>	95,48	89,52	93,75	95,93	94,20	96,66	95,81	99,52	97,26	96,69
SiO <sub>2</sub>	0,35	0,25	0,21	0,37	0,65	0,36	0,20	0,07	0,49	0,41
SnO <sub>2</sub>	0,57	1,02	1,02	0,45	0,43	0,51	0,99	0,00	0,32	0,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,19	0,10	0,38	0,04	0,07	0,15	0,48	0,00	0,37	0,09
CaO	0,10	0,03	0,06	0,11	0,08	0,04	0,02	0,01	0,90	0,44
FeO	0,97	1,39	1,43	1,29	1,72	1,08	1,25	0,32	0,14	0,13
MnO	0,14	0,10	0,13	0,20	0,32	0,15	0,44	0,08	0,01	0,02
Total	98,93	98,77	98,15	98,90	97,86	99,88	99,55	100,21	99,79	98,19
W	0,003	0,017	0,003	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000
Nb	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,000
Ti	0,977	0,961	0,972	0,975	0,970	0,972	0,971	0,994	0,975	0,986
Si	0,004	0,004	0,002	0,004	0,007	0,008	0,002	0,001	0,005	0,005
Sn	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,000	0,001	0,002
Al	0,002	0,001	0,005	0,001	0,001	0,002	0,006	0,000	0,005	0,001
Ca	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,010	0,005
Fe	0,009	0,009	0,013	0,013	0,015	0,010	0,011	0,003	0,001	0,001
Mn	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001	0,004	0,001	0,000	0,002
Σ kat	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Mean – průměr z devíti bodových analýz; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 2 atomů kyslíku *apfu* a Σkat = 1.

Mean – average of 9 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of 2 O *apfu* and Σcat = 1.

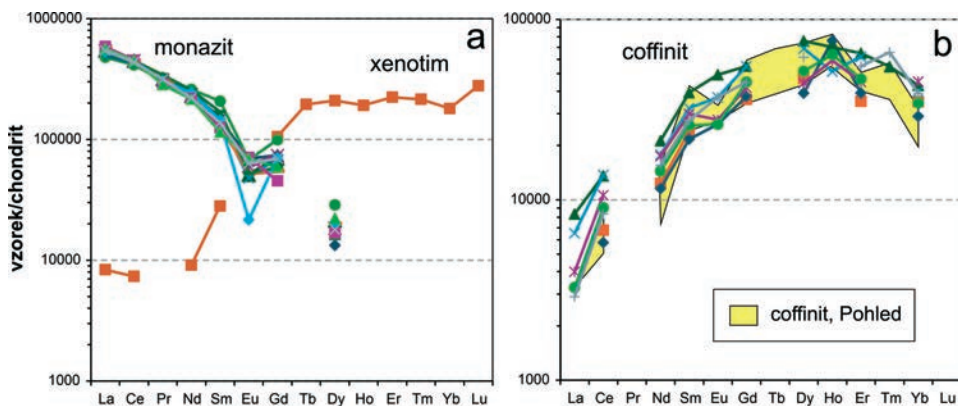


Další zjištěnou akcesorií je **monazit-(Ce)**, který tvoří xenomorfní, někdy laločnatá zrna až 20  $\mu\text{m}$  velká, která srůstají s fluorapatitem či jsou v něm uzavřena (obr. 16). Až 50  $\mu\text{m}$  velké izolované rozpraskané krystaly zarůstají též spolu s muskovitem do křemenné žiloviny či v křemenu srůstají se sfaleritem či arsenopyritem (obr. 17). V BSE obraze nejví zrna monazitu-(Ce) žádnou zonalitu. Jeho chemické složení bylo studováno prostřednictvím 12 bodových WDS analýz, které jsou uvedeny v tabulce 14. Klasifikačně jde ve všech případech o monazit-(Ce), který se vyznačuje podobným chemickým složením, charakterizovaným dobrou stechiometrií a také uspokojivými analytickými sumami mezi 99,0 a 100,5 hm. %. Monazit vykazuje minoritní obsahy Ca (do 0,038 *apfu*), Zr (do 0,006 *apfu*), As (do 0,004 *apfu*) a Th (do 0,007 *apfu*). Z REE vedle dominujícího Ce (0,41–0,46 *apfu*) mají největší podíl Nd (0,16–0,19 *apfu*) a La (0,19–0,23 *apfu*). Obsahy Y jsou nízké (0,02–0,04 *apfu*). Chondritem normalizované křivky REE vykazují plynulý pokles od La k Dy (obr. 18a), přerušovaný negativní Eu anomálií ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,21\text{--}0,94$ ). Ce anomálie chybí ( $\text{Ce}/\text{Ce}^* = 1,04\text{--}1,13$ ). Chondritem normalizovaný poměr La/Sm nabývá hodnot 2,30–4,87. Malý stupeň frakcionace REE indikuje nízký obsah silných REE-komplexujících ligandů v matečných fluidech, zejména iontů fluoridových, karbonátových či hydroxidových (např. BAU a MÖLLER 1992). Stálá negativní Eu anomálie svědčí pro relativně vysokoteplotní vznik minerálu (nad cca 200–250 °C; SVERJENSKY 1984; BAU a MÖLLER 1992) a/nebo nízkou fugacitu kyslíku v matečných roztocích (BAU a MÖLLER 1992; LEE *et al.* 2003).



Obr. 17. Kataklažovaný krystal monazitu-(Ce) (bílý) v křemenu se zrny arsenopyritu (šedý) ze Skalky. Šířka záběru 200  $\mu\text{m}$ , BSE foto Z. Dolníček.

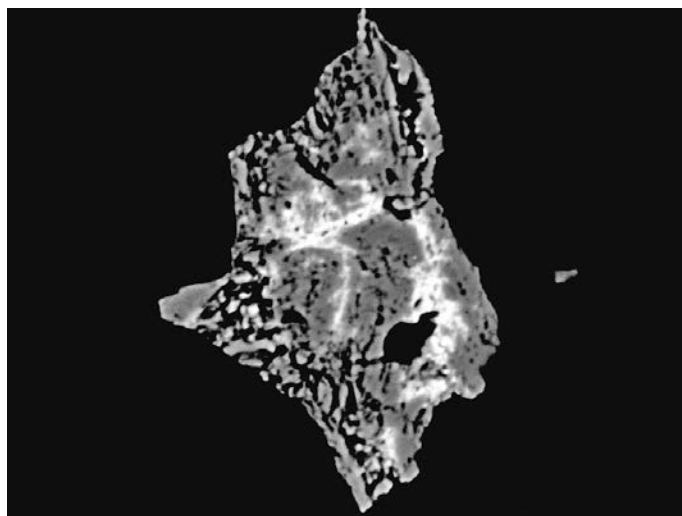
Fig. 17. Cataclased crystal of monazite-(Ce) (white) in quartz with arsenopyrite grains (grey) from Skalka. Field of view 200  $\mu\text{m}$ , BSE photo Z. Dolníček.



Obr. 18. Chondritem normalizované distribuce REE v monazitu-(Ce) a xenotimu-(Y) (a) a ve fázi blízké coffinitu (b) z Havlíčkova Brodu. Srovnávací data pro coffinit z Pohledu jsou převzata z DOLNÍČKA *et al.* (2023).  
 Fig. 18. Chondrite-normalized REE patterns of monazite-(Ce) and xenotime-(Y) (a) and of a coffinite-like phase (b) from Havlíčkův Brod. The comparative data for coffinite from Pohled are taken from DOLNÍČEK *et al.* (2023).

V jednom případě byla v monazitu-(Ce) zjištěna 4  $\mu\text{m}$  velká inkluze **xenotimu-(Y)**, jehož jediná analýza je uvedena v tabulce 14. Yttrium je významně substituováno REE (0,22 *apfu*), méně i Ca (0,018 *apfu*), ve stopách i U a Th (do 0,003 *apfu*). Chondritem normalizovaná křivka REE vykazuje nabohacení na střední a těžké REE (obr. 18a), negativní Eu anomálii ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = <0,31$ ) a negativní Yb anomálii ( $\text{Yb}/\text{Yb}^* = 0,74$ ). Chondritem normalizovaný poměr Dy/Yb má hodnotu 0,75. Negativní Eu anomálie podtrhuje vysokoteplotní původ dané fáze a/nebo redukční charakter nerostotvorného prostředí (shodně jako u monazitu).

V jednom nábruse byl zjištěn výskyt U-REE-Si-P fáze, která vytváří výlučně srůsty s jemně rozpukaným pyritem; agregáty U-REE-Si-P fáze dosahují velikosti do 10  $\mu\text{m}$  (obr. 19).



Obr. 19. Shluky fáze blízké coffinitu (šedobílá) v silně rozpukaném pyritu (šedý) v křemenné žilovině (černá). Šířka záběru 150  $\mu\text{m}$ , BSE foto Z. Dolníček.

Fig. 19. Aggregates of a coffinite-like mineral (greyish-white) in strongly fractured pyrite (grey) in quartz gangue (black). Field of view 150  $\mu\text{m}$ , BSE photo Z. Dolníček.

Tabulka 14. Chemické složení xenotimu(Y) a monazitu-(Ce) z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 14. Chemical composition of xenotime-(Y) and monazite-(Ce) from Havlíčkův Brod (wt. %).

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Minerál	Xnt	Mnz	Mnz	Mnz	Mnz	Mnz	Mnz	Mnz	Mnz	Mnz	Mnz	Mnz	Mnz
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	35,01	30,35	29,94	29,81	30,14	31,00	31,20	30,66	30,22	29,76	30,08	30,08	30,06
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,14	0,15	0,21	0,17	0,16	0,17	0,18	0,14	0,20	0,20	0,18	0,10
ZrO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,11	0,13	0,00	0,11	0,00	0,15	0,18	0,22	0,19	0,32	0,23
ThO <sub>2</sub>	0,17	0,00	0,18	0,17	0,00	0,30	0,40	0,00	0,70	0,36	0,46	0,79	0,50
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43,71	1,20	1,44	2,00	1,35	1,38	1,47	1,64	0,72	1,23	1,74	1,66	1,81
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,23	15,01	15,01	14,34	14,91	13,19	13,67	15,85	14,43	14,62	16,23	15,52	15,01
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52	31,59	31,53	31,33	31,70	29,25	30,44	31,77	31,68	32,01	32,00	31,84	30,80
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	3,38	3,30	3,35	3,23	3,21	3,31	3,36	3,57	3,19	3,04	2,97	3,28
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,48	12,75	12,08	12,14	12,38	13,67	13,07	11,82	13,54	12,89	11,55	11,36	11,60
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,48	2,52	2,58	2,45	2,53	3,54	2,52	2,20	2,89	2,47	2,14	1,97	2,36
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,45	0,33	0,31	0,39	0,44	0,42	0,34	0,34	0,14	0,46	0,45	0,41
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,40	1,68	1,58	1,60	1,67	2,26	1,48	1,24	1,33	1,59	1,03	1,34	1,57
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,85	0,37	0,59	0,46	0,51	0,80	0,47	0,56	0,42	0,55	0,47	0,62	0,50
CaO	0,51	0,36	0,84	0,42	0,09	0,53	0,29	0,35	0,13	0,21	0,51	0,57	0,91
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,31	0,09	0,00	0,39	0,31	0,22
total	100,64 <sup>a</sup>	99,80	99,66	99,01 <sup>c</sup>	99,07	99,84	99,41	100,43	100,38	99,44	100,49	99,98	99,44 <sup>c</sup>
P	0,990	1,001	0,991	0,989	1,002	1,012	1,017	1,000	0,998	0,992	0,988	0,991	0,992
As	0,000	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,002
Subtot.	0,990	1,004	0,995	1,004 <sup>d</sup>	1,006	1,015	1,020	1,004	1,001	0,997	0,992	0,995	0,996 <sup>f</sup>
Zr	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002	0,000	0,003	0,003	0,004	0,004	0,006	0,004
Th	0,001	0,000	0,002	0,002	0,000	0,003	0,004	0,000	0,006	0,003	0,004	0,007	0,004
Y	0,777	0,025	0,030	0,042	0,028	0,028	0,030	0,034	0,015	0,026	0,036	0,034	0,038
La	0,003	0,216	0,217	0,207	0,216	0,188	0,194	0,225	0,208	0,212	0,232	0,223	0,216
Ce	0,006	0,451	0,452	0,449	0,456	0,413	0,429	0,448	0,452	0,462	0,455	0,454	0,439
Pr	0,000	0,048	0,047	0,048	0,046	0,045	0,046	0,047	0,051	0,046	0,043	0,042	0,047
Nd	0,006	0,177	0,169	0,170	0,174	0,188	0,180	0,163	0,189	0,181	0,160	0,158	0,161
Sm	0,006	0,034	0,035	0,033	0,034	0,047	0,033	0,029	0,039	0,034	0,029	0,026	0,032
Eu	0,000	0,006	0,004	0,004	0,005	0,006	0,006	0,004	0,005	0,002	0,006	0,006	0,005
Gd	0,027	0,022	0,020	0,021	0,022	0,029	0,019	0,016	0,017	0,021	0,013	0,017	0,020
Dy	0,063	0,005	0,007	0,006	0,006	0,010	0,006	0,007	0,005	0,007	0,006	0,008	0,006
Ca	0,018	0,015	0,035	0,017	0,004	0,022	0,012	0,014	0,005	0,009	0,021	0,023	0,038
Fe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,010	0,003	0,000	0,013	0,010	0,007
Subtot.	1,022 <sup>b</sup>	0,998	1,019	1,001	0,991	0,980	0,974	1,001	0,998	1,006	1,021	1,015	1,018
La/Sm	0,30	3,68	3,60	3,62	3,65	2,30	3,36	4,46	3,09	3,66	4,69	4,87	3,93
Ce/Ce*	n.a.	1,06	1,07	1,08	1,10	1,08	1,09	1,04	1,06	1,12	1,09	1,13	1,05
Eu/Eu*	<0,31	0,66	0,50	0,48	0,58	0,47	0,66	0,62	0,53	0,21	0,94	0,84	0,65

Koeficienty empirických vzorců jsou počítány na bázi 4 atomů kyslíku.

<sup>a</sup> včetně (hm. %) 0,47 UO<sub>2</sub>, 0,81 Tb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1,23 Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4,07 Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,59 Tm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3,35 Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

a 0,76 Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; <sup>b</sup> včetně (*apfu*) 0,003 U, 0,009 Tb, 0,013 Ho, 0,043 Er, 0,006 Tm, 0,034 Yb

a 0,008 Lu; <sup>c</sup> včetně 0,29 hm. % SiO<sub>2</sub>; <sup>d</sup> včetně 0,011 *apfu* Si; <sup>e</sup> včetně 0,08 hm. % SO<sub>3</sub>;

<sup>f</sup> včetně 0,002 *apfu* S.

Coefficients of the empirical formula calculated on basis 4 O *apfu*.

<sup>a</sup> including (wt. %) 0.47 UO<sub>2</sub>, 0.81 Tb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1.23 Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4.07 Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.59 Tm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3.35 Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

and 0.76 Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; <sup>b</sup> including (*apfu*) 0.003 U, 0.009 Tb, 0.013 Ho, 0.043 Er, 0.006 Tm, 0.034 Yb

and 0.008 Lu; <sup>c</sup> including 0.29 wt. % SiO<sub>2</sub>; <sup>d</sup> including 0.011 *apfu* Si; <sup>e</sup> including 0.08 wt. % SO<sub>3</sub>;

<sup>f</sup> including 0.002 *apfu* S.

Tabulka 15. Chemické složení U-REE-Si-P fáze z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 15. Chemical composition of U-REE-Si-P phase from Havlíčkův Brod (wt. %).

	1	2	3	4	5	6	7
K <sub>2</sub> O	0,95	0,12	0,13	0,14	0,11	0,19	0,23
CaO	1,03	0,89	1,25	1,26	1,04	0,98	0,99
PbO	0,24	0,19	0,36	0,27	0,37	0,39	0,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,26	0,02	0,14	0,09	0,06	0,09	0,10
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,47	9,05	12,90	12,58	10,92	11,46	11,80
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,23	0,18	0,11	0,09	0,08
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,48	0,41	0,96	0,97	0,75	0,64	0,59
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,24
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,65	0,61	1,12	0,94	0,92	0,76	0,82
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,41	0,37	0,67	0,55	0,51	0,44	0,47
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,17	0,32	0,24	0,18	0,17	0,24
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,82	0,85	1,25	1,25	0,95	1,02	1,02
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,31	1,09	2,12	1,92	1,24	1,44	1,72
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,49	0,45	0,33	0,38	0,41	0,00
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,64	0,71	1,18	1,13	0,82	0,85	1,00
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,18
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,65	0,54	0,80	0,74	0,84	0,64	0,72
SiO <sub>2</sub>	9,34	6,68	10,22	9,33	7,59	10,71	12,12
ZrO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,15	0,16
UO <sub>2</sub>	32,68	27,25	42,41	37,66	30,66	39,65	44,57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,99	5,22	5,80	5,95	4,70	4,86	5,41
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,00	1,04	3,76	3,89	3,60	2,94	3,00
WO <sub>3</sub>	0,54	0,81	0,95	0,58	0,72	1,01	0,78
F	0,63	0,70	1,01	0,93	0,94	0,94	0,99
O=F	-0,27	-0,29	-0,43	-0,39	-0,40	-0,40	-0,42
Fe	12,89	20,02	3,01	6,36	11,46	6,79	3,26
S	7,77	12,22	1,84	3,99	8,98	4,55	1,81
total	87,49	89,15	92,71	91,16	87,45	90,77	92,13
K	0,096	0,017	0,012	0,014	0,013	0,020	0,022
Ca	0,058	0,069	0,063	0,068	0,068	0,056	0,052
Pb	0,003	0,004	0,005	0,004	0,006	0,006	0,003
Al	0,139	0,002	0,008	0,005	0,004	0,006	0,006
Zr	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,004	0,004
U	0,381	0,437	0,443	0,425	0,417	0,470	0,488
Σ	0,678	0,528	0,533	0,516	0,509	0,561	0,575

Y	0,236	0,347	0,322	0,339	0,355	0,325	0,309
La	0,000	0,000	0,004	0,003	0,002	0,002	0,001
Ce	0,009	0,011	0,017	0,018	0,017	0,012	0,011
Pr	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,004
Nd	0,012	0,016	0,019	0,017	0,020	0,014	0,014
Sm	0,007	0,009	0,011	0,010	0,011	0,008	0,008
Eu	0,000	0,004	0,005	0,004	0,004	0,003	0,004
Gd	0,014	0,020	0,019	0,021	0,019	0,018	0,017
Dy	0,022	0,025	0,032	0,031	0,024	0,025	0,027
Ho	0,000	0,011	0,007	0,005	0,007	0,007	0,000
Er	0,011	0,016	0,017	0,018	0,016	0,014	0,015
Tm	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003
Yb	0,010	0,012	0,011	0,011	0,016	0,010	0,011
$\Sigma$	0,322	0,472	0,467	0,484	0,491	0,439	0,425
Si	0,489	0,482	0,480	0,473	0,464	0,571	0,597
P	0,221	0,319	0,231	0,255	0,243	0,219	0,225
As	0,027	0,039	0,092	0,103	0,115	0,082	0,077
W	0,007	0,015	0,012	0,008	0,011	0,014	0,010
$\Sigma$	0,745	0,855	0,815	0,839	0,834	0,886	0,909
F	0,104	0,160	0,150	0,149	0,182	0,158	0,154
Eu/Eu*	–	0,92	1,06	0,88	0,78	0,77	1,05

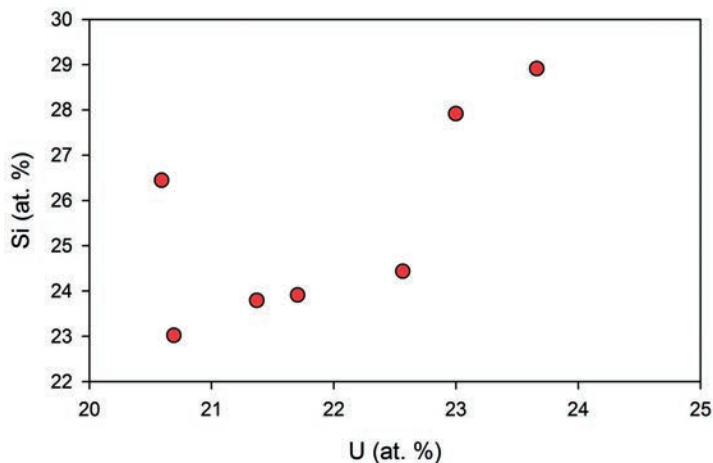
Koeficienty empirických vzorců počítány na bázi sumy kationtů v pozici U = 1 *apfu*. Obsahy anizominerálního Fe a S jsou ignorovány.

Coefficients of the empirical formula calculated on the basis of sum of cations in the position of U = 1 *apfu*. The contents of anizomineral Fe and S are ignored.

Její chemické složení (tab. 15) při vyloučení obsahů Fe a S, vždy v analýzách v různé míře přítomných a velmi pravděpodobně pocházejících z hostitelské minerální fáze, je možno interpretovat jako extrémně Y+REE a P+As bohatý **coffinit**, kde v cca polovině bodových analýz suma Y+REE (0,47–0,49 *apfu*) převažuje nad obsahy U (0,42–0,44 *apfu*) a obsahy P+As se pohybují v rozmezí 0,25–0,36 *apfu*. Obdobně vysoké obsahy Y+REE (0,43 *apfu* vedle 0,42 *apfu* U) uvádí DOLNÍČEK *et al.* (2023) pro coffinit ze žilné křemenné mineralizace s molybdenitem z blízkého lomu Pohled, obsahy P zde ale nepřevyšovaly 0,05 *apfu*. Pro všechny bodové analýzy je charakteristická nestechiometrie empirického vzorce, vyjádřená deficitem sumy prvků v aniontu v rozmezí 0,75–0,91 *apfu* (při přepočtu na bázi prvků v pozici U = 1 *apfu*), uvedené projevy nestechiometrie jsou však zejména pro metamiktní coffinity běžné (DOLNÍČEK *et al.* 2023) a mohou souviset se substitucí typu (SiO<sub>4</sub>)<sup>4-</sup> ↔ (OH,F)<sub>4</sub>. Vzhledem k pozorované pozitivní korelaci mezi obsahy U a Si (obr. 20) a mezi  $\Sigma$ Y+REE a P+As (obr. 21) lze tuto fázi alternativně interpretovat i jako submikrokrystalické srůsty **coffinitu** a **xenotimu-(Y)**; v tomto případě při přepočtu na bázi As+P = 1 *apfu* vychází v xenotimu-(Y)  $\Sigma$ Y+REE v rozmezí 1,30–1,46 *apfu*, což by stejně naznačovalo významnému uplatnění části Y+REE v koexistujícím coffinitu. Z pohledu distribuce REE fáze vykazuje nabohacení na středně těžké REE s maximem mezi Dy a Er (obr. 18b). Eu anomálie je slabě negativní nebo chybí (Eu/Eu\* = 0,77–1,06). Distribuce REE jsou rovněž velmi dobře srovnatelné s Y+REE-bohatým coffinitem z lomu Pohled (obr. 18b); roz-

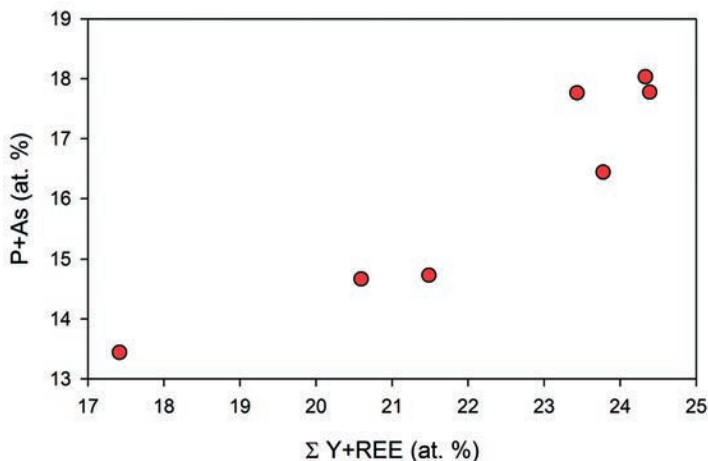


díl je v charakteru Eu anomálie, která je u analýz coffinitu z Pohledu vždy negativní ( $<0,43-0,87$ ; DOLNÍČEK *et al.* 2023). Proměnlivost Eu anomálie v coffinitu z Havlíčkova Brodu může nasvědčovat změnám Eh při vzniku tohoto minerálu (např. BAU a MÖLLER 1992; LEE *et al.* 2003). Zvýšené obsahy některých prvků ve vysokých valenčních stavech (As a W) spolu s U jsou v souladu s představou zvýšeného Eh matečných fluid, z nichž se U-fáze srážela pouze při kontaktu s vhodnou redukční bariérou, již byl v daném případě jemně rozpučený pyrit.



Obr. 20. Korelace mezi obsahy U a Si (at. %) v agregátu U-REE-Si-P fáze.

Fig. 20. Correlation between U and Si contents (at.%) in the aggregate of U-REE-Si-P phase.



Obr. 21. Korelace mezi obsahy Σ Y+REE a P+As (at. %) v agregátu U-REE-Si-P fáze.

Fig. 21. Correlation between Σ Y+REE and P+As contents (at.%) in the aggregate of U-REE-Si-P phase.

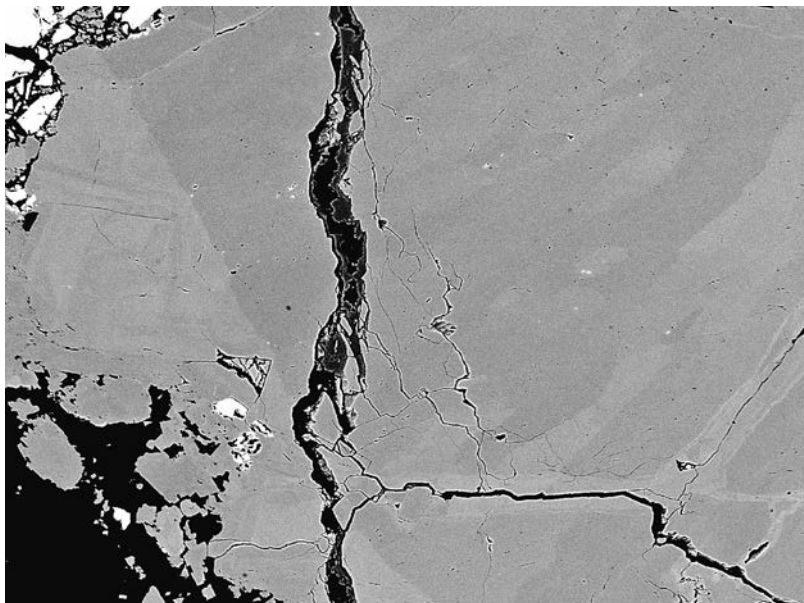
## SUPERGENNÍ MINERALIZACE

Ze supergenní mineralizace byl v nábrusech zjištěn poměrně častý **skorodit**, tvořící výplně kolem 30  $\mu\text{m}$  mocných žilek v pyritu a arsenopyritu (obr. 22). Jeho chemické složení (průměr 5 bodových analýz - tab. 16) je možno na bázi  $\text{S}+\text{As} = 1 \text{ apfu}$  vyjádřit empirickým vzorcem  $(\text{Fe}_{1,01}\text{Zn}_{0,01}\text{Al}_{0,02})_{\Sigma 1,04}(\text{AsO}_4)_{0,99}(\text{SO}_4)_{0,01} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Přeměnou galenitu byly v blízkosti anglesitu zjištěny kolem 30  $\mu\text{m}$  velké agregáty **schultenitu**. Má jednoduchý chemismus odpovídající jeho teoretickému složení, který je možno na bázi  $\text{S}+\text{As} = 1 \text{ apfu}$  vyjádřit empirickým vzorcem  $\text{Pb}_{1,06}(\text{AsO}_3\text{OH})_{0,99}(\text{SO}_4)_{0,01}$  (průměr 5 bodových stanovení, tab. 17). Vzácný Pb-arsenát schultenit byl v havlíčkovobrodském rudním revíru již zjištěn nedaleko Štukhejského mlýna nedaleko Utína (PAULIS *et al.*, 2023).

Častějším produktem oxidace galenitu je **cerusit**, vyplňující až 5  $\mu\text{m}$  mocné výplně žilek v agregátech chloritu, ve kterém vytváří drobné žilkovité sitivo. Vzácněji se v nábrusech vyskytuje v podobě úzkých (do 20  $\mu\text{m}$ ) lemů kolem galenitových zrn **anglesit**. Jeho chemické složení (průměr 9 bodových analýz - tab. 18) je možno na bázi  $\text{S}+\text{As} = 1 \text{ apfu}$  vyjádřit empirickým vzorcem  $(\text{Pb}_{1,02}\text{Cu}_{0,01}\text{Zn}_{0,01})_{\Sigma 1,04}(\text{SO}_4)_{0,99}(\text{AsO}_4)_{0,01}$ .

Ojedinelý **smithsonit** vznikající přeměnou sfaleritu vytváří na navětralých sfaleritových zrncích až 0,2 mm silné povlaky či žilkovité agregáty (obr. 23). Vedle převažujícího zinku (tab. 19) byly zjištěny obsahy Mn (do 0,23 *apfu*), Fe (do 0,10 *apfu*) a Ca (do 0,06 *apfu*). Spolu se smithsonitem vyplňuje až 0,1 mm mocné žilky v blízkosti arsenopyritu supergenní **kalcit**, jehož chemické složení je uvedeno v tabulce 20. Vedle vápníku v něm bylo zjištěno zastoupení Mn (do 0,08 *apfu*), Zn a Fe (do 0,01 *apfu*).



Obr. 22. Pyrit (šedý) s inkluzemi arsenopyritu (bílý) a žilkou vyplněnou skoroditem (černá) v křemenu ze Skalky. Šířka záběru 1,1 mm, BSE foto Z. Dolníček.

Fig. 22. Pyrite (grey) with inclusions of arsenopyrite (white) and a veinlet of scorodite (black) in quartz from Skalka. Field of view 1.1 mm, BSE photo Z. Dolníček.

Tabulka 16. Chemické složení skoroditu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 16. Chemical composition of scorodite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5
ZnO	0,54	0,64	0,67	0,49	0,48	0,41
PbO	0,16	0,17	0,14	0,13	0,13	0,21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,74	38,00	35,78	34,85	34,67	35,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,49	0,34	0,37	0,82	0,62	0,28
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	50,57	52,59	50,89	49,92	49,46	49,97
SO <sub>3</sub>	0,35	0,30	0,20	0,40	0,47	0,37
H <sub>2</sub> O*	16,26	17,01	16,19	16,09	15,94	16,02
total	104,11	109,05	104,24	102,70	101,77	102,68
Zn	0,015	0,017	0,018	0,013	0,013	0,011
Pb	0,002	0,002	0,001	0,003	0,001	0,002
Fe	1,007	1,032	1,006	0,993	0,996	1,010
Al	0,021	0,016	0,016	0,037	0,027	0,012
As	0,990	0,992	0,994	0,989	0,987	0,991
S	0,010	0,008	0,006	0,011	0,013	0,009
H <sub>2</sub> O	2	2	2	2	2	2

Mean – průměr 5 bodových analýz, koeficienty empirických vzorců počítány na bázi S+As = 1 *apfu*; obsah H<sub>2</sub>O vypočtený na základě teoretického obsahu.

Mean – average of 5 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of S+As = 1 *apfu*; content H<sub>2</sub>O\* was calculated on the base of ideal formula.

Tabulka 17. Chemické složení schultenitu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 17. Chemical composition of schultenite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5
PbO	63,48	62,10	63,78	64,81	63,06	63,64
SO <sub>3</sub>	0,20	0,16	0,22	0,30	0,11	0,20
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30,60	31,30	30,49	29,68	31,19	30,34
H <sub>2</sub> O*	2,42	2,47	2,41	2,36	2,46	2,40
total	96,70	93,03	96,90	97,15	96,82	96,58
Pb	1,058	1,014	1,066	1,108	1,036	1,070
S	0,009	0,007	0,010	0,014	0,005	0,009
As	0,991	0,993	0,990	0,986	0,995	0,991
OH	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Mean – průměr 5 bodových analýz, koeficienty empirických vzorců počítány na bázi S+As = 1 *apfu*; obsah H<sub>2</sub>O vypočtený na základě teoretického obsahu.

Mean – average of 5 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of S+As = 1 *apfu*; content H<sub>2</sub>O\* was calculated on the base of ideal formula.



Obr. 23. Zrna sfaleritu (bílá) s kalcitem (šedočerný) a smithsonitem (šedý) v křemeni ze Skalky. Šírka záběru 0,6 mm, BSE foto Z. Dolníček.

Fig. 23. Sphalerite grains (white) with calcite (greyish black) and smithsonite (grey) in quartz from Skalka. Field of view 0.6 mm, BSE photo Z. Dolníček.

Tabulka 18. Chemické složení anglesitu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 18. Chemical composition of anglesite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PbO	72,78	73,88	72,72	73,77	72,93	72,17	72,25	72,05	72,57	72,69
CuO	0,17	0,16	0,13	0,76	0,07	0,00	0,00	0,13	0,14	0,13
ZnO	0,14	0,00	0,11	0,20	0,00	0,00	0,37	0,25	0,07	0,40
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,24	0,00	0,01	0,13	0,00	0,85	0,29	0,28	0,04	0,52
SO <sub>3</sub>	25,54	26,10	25,91	24,95	25,50	24,73	25,44	25,65	26,06	25,52
total	98,85	100,14	98,88	99,81	98,50	97,75	98,37	98,33	98,88	99,26
Pb	1,016	1,015	1,006	1,057	1,026	1,022	1,011	1,000	0,998	1,007
Cu	0,007	0,006	0,005	0,031	0,003	0,000	0,000	0,005	0,005	0,005
Zn	0,005	0,000	0,004	0,008	0,000	0,000	0,014	0,010	0,003	0,015
As	0,007	0,000	0,000	0,004	0,000	0,023	0,008	0,008	0,001	0,014
S	0,993	1,000	1,000	0,996	1,000	0,977	0,992	0,992	0,999	0,986

Mean – průměr 9 bodových analýz, koeficienty empirických vzorců počítány na bázi S+As = 1 *apfu*.

Mean – average of 9 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of S+As = 1 *apfu*.

Tabulka 19. Chemické složení smithsonitu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 19. Chemical composition of smithsonite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FeO	3,89	2,98	5,46	4,52	4,04	4,58	2,28	2,39	4,18	4,59
MnO	8,46	7,32	7,85	9,45	9,11	8,56	6,25	6,95	8,51	12,11
CaO	1,37	0,65	1,20	1,06	1,15	1,19	1,18	1,41	1,94	2,52
ZnO	43,29	45,17	42,61	41,18	42,78	43,37	48,12	46,91	42,32	37,20
CO <sub>2</sub>	32,12	31,31	32,20	31,74	32,17	32,51	32,23	32,25	32,25	32,42
total	89,13	87,43	89,32	87,95	89,25	90,21	90,06	89,91	89,20	88,84
Fe	0,074	0,058	0,104	0,087	0,077	0,086	0,043	0,045	0,079	0,087
Mn	0,163	0,145	0,151	0,185	0,176	0,163	0,120	0,134	0,164	0,232
Ca	0,033	0,016	0,029	0,026	0,028	0,029	0,029	0,034	0,047	0,061
Zn	0,730	0,781	0,716	0,702	0,719	0,722	0,808	0,787	0,710	0,620
Σ kat	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Mean – průměr 9 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi Σkat = 1, obsah CO<sub>2</sub> byl dopočítán dle teoretického složení.

Mean – average of 9 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of Σcat = 1 *apfu*; content CO<sub>2</sub> was calculated on the base of ideal formula.

Tabulka 20. Chemické složení supergenního kalcitu z Havlíčkova Brodu (hm. %).

Table 20. Chemical composition of supergene calcite from Havlíčkův Brod (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5
FeO	0,29	0,41	0,30	0,20	0,26	0,27
MnO	4,46	5,29	4,29	3,62	4,40	4,71
CaO	51,56	50,43	52,03	52,90	51,51	50,95
ZnO	0,37	0,51	0,43	0,41	0,24	0,27
CO <sub>2</sub>	43,61	43,01	43,88	44,10	43,44	43,17
total	100,29	99,65	100,97	101,23	99,85	99,37
Fe	0,004	0,006	0,004	0,003	0,004	0,004
Mn	0,063	0,076	0,060	0,051	0,061	0,067
Ca	0,929	0,912	0,931	0,941	0,932	0,926
Zn	0,004	0,006	0,005	0,005	0,003	0,003
Σ kat	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Mean – průměr 5 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi Σkat = 1, obsah CO<sub>2</sub> byl dopočítán dle teoretického složení.

Mean – average of 5 point analyses; coefficients of the empirical formula calculated on the basis of Σcat = 1 *apfu*; content CO<sub>2</sub> was calculated on the base of ideal formula.



## ZÁVĚR

V souvislosti s budováním jihovýchodní větve silničního obchvatu Havlíčkova Brodu byly na podzim 2022 odkryty stopy po historickém dolování. Jedno z míst, kde byla nalezena větší koncentrace rudních minerálů, se nalézá nedaleko kóty Skalka, 2400 m jiv. od centra Havlíčkova Brodu. V nově nalezeném materiálu byly zjištěny především běžné sulfidické minerály se složením charakteristickým pro zdejší revír (pyrit, Fe bohatý sfalerit, arsenopyrit, galenit) v doprovodu se vzácnějšími sulfidy, chalkopyritem, pyrhotinem a ullmannitem, který nebyl dosud v havlíckobrodském revíru zjištěn. Ve studovaných nábrusech byly též nalezeny tetraedrity, které lze na základě nové nomenklatury klasifikovat jako tetraedrit-(Fe) s proměnlivými obsahy Ag a kenoargentotetraedrit-(Fe). Vedle sulfidů tu byly zjištěny muskovit, klinochlor, fluorapatit, rutil, monazit-(Ce), xenotim-(Y) a pravděpodobný Y+REE a P+As bohatý coffinit. Z řídkce zastoupené supergenní mineralizace byly zjištěny skorodit, schultenit, cerusit, anglesit, smithsonit a kalcit.

## PODĚKOVÁNÍ

Milou povinností autorů je poděkovat B. Burešovi z Prahy za poskytnutí fotografií studovaných vzorků. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2024-2028/1.I.a, 00023272).

## LITERATURA

- ANDERS, E., GREVESSE, N., 1989: Abundances of the elements: Meteoritic and solar. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 197-214.
- BAU, M., MÖLLER, P., 1992: Rare earth element fractionation in metamorphogenic hydrothermal calcite, magnetite and siderite. - *Mineralogy and Petrology*, 45, 231-246.
- BAYLISS, P., 1975: Nomenclature of the trioctahedral chlorites. - *Canadian Mineralogist*, 13, 178-180.
- BECKER, M., DE VILLIERS, J., BRADSHAW, D., 2010: The mineralogy and crystallography of pyrrhotite from selected nickel and PGE ore deposits. - *Economic Geology*, 105, 1025-1037.
- BERNARD, J. H., 1967: Kurze Übersicht der isogenetischen erzlagerbildenden Mineralassoziationen hydrothermalen Ursprungs im tschechoslowakischen Teil der Böhmisches Masse. - *Časopis pro mineralogii a geologii*, 12, 13-20.
- BERNARD, J. H., POUBA, Z. a kolektiv, 1986: Rudní ložiska a metalogeneze československé části Českého masívu: 1-320. Ústřední ústav geologický, Praha.
- BIAGIONI, C., LUKE, L. G., NIGEL, J. C., MAKOVICKY, E., MOËLO, Y., PASERO, M., SEJKORA, J., STANLEY, CH. J., WELCH, M. D., BOSI, F., 2020: The tetrahedrite group: Nomenclature and classification. - *American Mineralogist*, 105, 109-122.
- BLÜML, A., HAK, J., 1968: Vazba vizmutu v polymetalických rudách ložiska Dlouhá Ves u Havlíčkova Brodu. - *Časopis pro mineralogii a geologii*, 13, 3, 279-284.
- CATHELINEAU, M., 1988: Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. - *Clay Minerals*, 23, 471-485.
- DOBĚŠ, P., MALÝ, K., 2001: Mineralogie polymetalických rudních výskytů ve střední části havlíckobrodského revíru. - *Vlastivědný sborník Vysočiny*, 15, 51-85.
- DOLNÍČEK, Z., MALÝ, K., ULMANOVÁ, J., HAVLÍČEK, J., VRTIŠKA, L., 2020: Minerály kontaminovaných granitových pegmatitů z lomu Pohled u Havlíčkova Brodu (moldanubikum), část I: oxidy, karbonáty, silikáty a fosfáty. - *Bulletin Mineralogie Petrologie*, 28, 1, 132-151.
- DOLNÍČEK, Z., ULMANOVÁ, J., MALÝ, K., HAVLÍČEK, J., SEJKORA, J., 2021: Minerály kontaminovaných granitových pegmatitů z lomu Pohled u Havlíčkova Brodu (moldanubikum), část II: prvky a sulfidy. - *Bulletin Mineralogie Petrologie*, 29, 1, 90-107.
- DOLNÍČEK, Z., ULMANOVÁ, J., MALÝ, K., HAVLÍČEK, J., KREJČÍ KOTLÁNOVÁ, M., KOUTNÁK, R., 2023: Mineralogická charakteristika žilné křemenné mineralizace s molybdenitem z lomu Pohled, havlíckobrodský rudní revír (Česká republika). - *Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae*, 108, 2, 145-170.

- DOLNÍČEK, Z., ULMANOVÁ, J., HAVLÍČEK, J., MALÝ, K., JAČKOVÁ, I. (v tisku): Fluorite-bearing vein mineralization from Bartoušov near Havlíčkův Brod: a complex fluid history related to post-Variscan uplift of the Moldanubian basement (Bohemian Massif, Czech Republic). – *Journal of Geosciences*, v tisku.
- HAK, J., NOVÁK, F., 1973: Mineralogie a geochemie ložiska Dlouhá Ves u Havlíčkova Brodu. – *Hornická Příbram ve vědě a technice, sekce Geologie ložisek nerostných surovin G*, 17, 247–262.
- HOUZAR, S., HRAZDIL, V., HRŠELOVÁ, P., TOMAN, J., BUŘIVALOVÁ, L., GROSSMANNOVÁ, D., HLADIŠOVÁ, T., LITOCHEB, J., MALÝ, K., ŠKRDLA, P., ŠMERDA, J., VEDRA, P., VIŠKOVÁ, E., VOKÁČ, M., 2021: Historické dolování drahých kovů na Českomoravské vrchovině: 1–476. Moravské zemské muzeum Brno.
- HRAZDIL, V., 2012: Minerální asociace s berthieritem v polymetalickém zrudnění u Jitkova nedaleko České Bělé (havlíckobrodský rudní revír), moldanubikum. – *Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae*, 97, 1, 39–45.
- HRUBÝ, P., 2014: K periodizaci počátku rané exploatace drahých kovů na Českomoravské vrchovině. – *Archaeo-Montan 2013, Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege*, 28, 147–155.
- HRUBÝ, P., MALÝ, K., 2019: Utín (okr. Havlíčkův Brod) důlní středisko Buchberg (Mons Fagus). – *Exkurzní průvodce semináře „Stříbrná Jihlava 2019“*, 3 str.
- IMRAMOVSKÝ, L., 1955: Geologie širšího okolí Stříbrných Hor. – MS, dipl. práce, Geofond Praha.
- KANEDA, H., TAKENOCHI, S., SHOJI, T., 1986: Stability of pentlandite in the Fe-Ni-Co-S system. – *Mineralium Deposita*, 21, 169–180.
- KERESTEDJIAN, T., 1997: Chemical and morphological features of arsenopyrite, concerning its use as a geothermometer. – *Mineralogy and Petrology*, 60, 231–243.
- KOUTEK, J., 1960: Rudní ložiska v okolí České Bělé na Českomoravské vrchovině. – *Časopis Národního muzea*, 79, 135–143.
- KRÁLIK, M. a kolektiv, 1985: Zhodnocení prognózních zdrojů Ag v Českém masivu. – MS, Geindustria Praha.
- KUDELÁSKOVÁ, S., 1960: Mineralogické poměry na ložisku barevných kovů u Dlouhé Vsi na Havlíckobrodsku. – *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské (Ostrava), řada hornicko-geologická*, 3–4, 399–406.
- LEE, S. G., LEE, D. H., KIM, Y., CHAE, B. G., KIM, W. Y., WOO, N. C., 2003: Rare earth elements as indicators of groundwater environment changes in a fractured rock system: Evidence from fracture-filling calcite. – *Applied Geochemistry*, 18, 135–143.
- 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. – *Bulletin of Geosciences*, 80, 4, 307–319.
- MASTÍKOVÁ, E., 2011: Mineralogie a podmínky vzniku vybraných mineralizací v lomu Pohled (moldanubikum). – MS, dipl. práce, Universita Palackého Olomouc.
- MAYDAGAN, L., FRANCHINI, M., IMPICINI, 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. – *Journal of Geochemical Exploration*, 167, 83–109.
- MCLENNAN, S. M., 1989: Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. – *Reviews in Mineralogy*, 21, 169–200.
- MELKA, K., 1965: Návrh na klasifikaci chloritových minerálů. – *Věstník Ústředního ústavu geologického*, 40, 23–27.
- MORIMOTO, N., CLARK, L. A., 1961: Arsenopyrite crystal-chemical relations. – *American Mineralogist*, 46, 1448–1469.
- NĚMEC, D., 1965: Geologické a paragenetické poměry ložiska formace Pb-Zn-Ag u Bartoušova na Havlíckobrodsku. – *Sborník geologických věd, Ložisková geologie*, 6, 47–86.
- PAULIŠ, P., KOPECKÝ, S., DOLNÍČEK, Z., SEJKORA, J., 2023: Sulfidická mineralizace s Au-bohatým stříbrem z Utína v havlíckobrodském rudním revíru (Česká republika). – *Bulletin Mineralogie Petrologie*, 31, 1, 25–34.
- PETROŠ, R., 1958: Předběžná zpráva o geologickém mapování ve starém rudním revíru utínském a okolí. – MS, Geindustria Praha.
- POUCHOU, J. L., PICOIR, F., 1985: “PAP” ( $\phi\rho Z$ ) procedure for improved quantitative microanalysis. – In: ARMSTRONG, J. T. (ed): *Microbeam Analysis*. San Francisco Press, San Francisco: 104–106.
- RIEDER, M., CAVAZZINI, G., DYAKONOV, Y. S., KAMENETSKII, V. A. F., GOTTARDI, G., GUGGENHEIM, S., KOVAL, P. V., MUELLER, G., NEIVA, A. M. R., RADOSLOVICH, E. W., ROBERT, J. L., SASSI, F. P., TAKEDA, H., WEISS, Z., WONES, D. R., 1998: Nomenclature of micas. – *Canadian Mineralogist*, 36, 905–912.
- SEJKORA, J., KOPECKÝ, S., PAULIŠ, P., KOPECKÝ, S. JUN., 2015: Nové poznatky o primární mineralizaci v havlíckobrodském rudním revíru (Česká republika). – *Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze*, 23, 2, 277–296.
- SHU, Z., SHEN, C., LU, A., GU, X., 2022: Chemical composition and crystal structure of kenoargentotetrahedrite-(Fe),  $Ag_6Cu_4Fe_2Sb_4S_{12}$ , from the Bajiazhi Pb-Zn deposit, Liaoning, China. – *Crystals*, 12(4), 467.
- SCHARMOVÁ, M., 1995: Nové mineralogické poznatky z havlíckobrodského rudního revíru. – In: *Symposium Hornická Příbram ve vědě a technice, T18 Příbram*.

- SCHARMOVÁ, M., 2000: Polymetalické zrudnění od Svaté Anny u Havlíčkova Brodu. – Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze, 8, 165–169.
- SVERJENSKY, D. A., 1984: Europium redox equilibria in aqueous solution. – Earth and Planetary Science Letters, 67, 70–78.
- VÍŠKOVÁ, E., HOUZAR, S., ŠKODA, R., KOPECKÝ, S., TOMAN, J., PAULÍŠ, P., 2022: Olovem bohatá oxidační zóna polymetalické mineralizace na lokalitě Kvasetice u Havlíčkova Brodu: distribuce minerálních asociací s pyromorfitem a arzenáty. – Bulletin Mineralogie Petrologie, 30, 2, 171–187.
- WIEWIÓRA, A., WEISS, Z., 1990: Crystallochemical classifications of phyllosilicates based on the unified system of projection of chemical composition: II. The chlorite group. – Clay Minerals 25, 83–92.