

Sulfidická mineralizace ze Skalky u Kraslic (Česká republika)

Sulfide mineralization from Skalka near Kraslice (Czech Republic)

JIŘÍ SEJKORA^{1)*}, MILAN KRIŠTŮFEK²⁾, PETR PAULIŠ^{1,3)} A KAREL JAKOBEK⁴⁾

¹⁾Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice;

*e-mail: jiri_sejkora@nm.cz

²⁾Spartakiádní 1965, 356 01 Sokolov

³⁾Smíškova 564, 284 01 Kutná Hora

⁴⁾Slovenská 1948, 356 01 Sokolov

SEJKORA J., KRYŠTŮFEK M., PAULIŠ P., JAKOBEK K. (2016) Sulfidická mineralizace ze Skalky u Kraslic (Česká republika). *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha) 24, 2, 278-284. ISSN 1211-0329.*

Abstract

An interesting hydrothermal sulfide mineralization has been found in the dumps of the Skalka ore occurrence near Kraslice, western Bohemia, Czech Republic. The most abundant jamesonite forms there steel to black grey acicular crystals up to 2 mm in length and their irregular aggregates in quartz gangue in association with boulangerite and ullmannite. Jamesonite is monoclinic, space group $P2_1/a$ and its refined unit-cell parameters are: a 15.709(2), b 19.127(3), c 4.031(1) Å, β 91.78(2)° and V 1210.6(3) Å³. Its empirical formula (mean of 12 point analyses) is $Pb_{4.14}Fe_{1.01}Sb_{6.12}S_{13.73}$. Boulangerite occurs as well-formed acicular crystals up to 200 µm together with earlier jamesonite and Fe-rich sphalerite; in association also Ag-rich tetrahedrite, bournonite and ullmannite were observed. Its chemical composition (mean of 10 point analyses) corresponds to empirical formula $Pb_{5.18}Sb_{4.02}S_{10.79}$. Ag-rich tetrahedrite was found as steel black-grey aggregates up to 1 mm in size in association with earlier Fe-rich tetrahedrite and later bournonite. Its empirical formula (mean of 3 point analyses) is $(Cu_{3.02}Ag_{2.98})_{\Sigma 6.00}Cu_{4.03}(Fe_{1.19}Zn_{0.83})_{\Sigma 2.02}Sb_{4.21}S_{12.73}$. Fe-rich sphalerite forms irregular dark brown to black-brown aggregates up to several mm across in association with boulangerite and Ag-rich tetrahedrite. It shows chemical composition with Fe contents about 0.17 apfu (ca 10 wt. %) with empirical formula (mean of 4 point analyses) $(Zn_{0.83}Fe_{0.17})_{\Sigma 1.00}S_{1.00}$. Bournonite occurs there only rarely as irregular aggregates up to 10 µm across and thin margins of aggregates of Ag-rich tetrahedrite; its empirical formula is $Pb_{1.01}Cu_{0.99}Sb_{1.01}S_{2.99}$. Rare ullmannite was found as microscopic aggregates up to 20 µm in size in association with jamesonite and boulangerite. Its chemical composition (mean of 4 point analyses) corresponds to empirical formula $(Ni_{0.96}Fe_{0.01})_{\Sigma 0.97}(Sb_{1.03}As_{0.01})_{\Sigma 1.04}S_{0.99}$.

Key words: jamesonite, boulangerite, Ag-rich tetrahedrite, Fe-rich sphalerite, ullmannite, bournonite, chemical composition, Skalka near Kraslice, Czech Republic

Obdrženo: 7. 11. 2016; přijato: 22. 12. 2016

Úvod

Při západním okraji historického horního města Kraslice bylo v rámci geologického mapování uskutečněného ve druhé polovině minulého století nalezeno několik starých štol, z nichž mineralogicky nejzajímavější jsou štoly označované „na Skalce“ (obr. 1). Byly raženy jako úpadnice ve směru zapadání fylitového komplexu. Jejich stáří je nejasné. Podle některých průvodních znaků zřejmě pocházejí z doby 2. světové války, kdy byly v okolí Kraslic prováděny kutací práce. Při ústí jedné z nich bylo zjištěné sulfidické zrudnění stratiformního typu, odlišné minerální asociace než je známa z nedalekého ložiska Tisová u Kraslic (Lienert 1988; Lienert et al. 1986).

Tento výskyt je lokalizován na částečně zalesněném příkrém svahu pod skalním masivem Skalky (obr. 2). Je představován dvěma štolami, jejichž ústí jsou v současnosti proti vstupu zabezpečena mřížemi, pod kterými se na svahu nacházejí zbytky haldového materiálu. Tato stará důlní díla jsou v databázi České geologické služby-Geofondu označena čísly 14144 (štola Skalka I) a 7026 (štola Skalka) (obr. 3, 4). Nacházejí se cca 200 m j. od kóty Skalka (646 m), cca 1 km jz. od centra Kraslic (sou-

řadnice: 50°19'21.743"N, 12°30'0.507"E). Při podrobném terénním výzkumu zde byly v haldovém materiálu nalezeny úlomky s rudní mineralizací, výsledky jejich podrobného mineralogického výzkumu jsou námětem tohoto příspěvku.

Historie dolování v okolí Kraslic

První pokusy o dolování v okolí Kraslic nelze bezpečně datovat, ale první fáze spadá patrně do 13. století, kdy dal král Přemysl Otakar II. v léno statek a zámek Kraslice spolu s rudnými doly Jindřichu staršímu z Plavna. Horní podnikání je prokázáno historicky k roku 1370, kdy byly Kraslice povýšeny Karlem IV. na královské horní město. Roku 1437 daroval císař Zikmund kraslické panství svému kancléři, hraběti Kašparu Šlikovi. Za tohoto majitele panství se hornímu podnikání dostalo pevného řádu, bylo utvořeno právní hornické bratrstvo a založena bratrská pokladna. Největší rozmach dobývání nastal až v 15. a 16. století, kdy bylo v dolech zaměstnáno kolem 2000 pracovníků, v činnosti byly čtyři hutě, tři hamry a mosazárna. Na měď se dolovalo na Zelené a hlavně Tisové hoře (Eibenberg), doly na olovo a stříbro se nacházely

hlavně na Hansbergu, Schneiderbergu a Krawanzbergu, méně se olovo dolovalo v severní části v oblasti obce Stříbrná. Centrem zájmu hornického podnikání byly doly na měď. Vybíraly se tehdy pouze rudy o prvotřídní kvalitě, jejichž obsahy se pohybovaly kolem 5 % Cu. V roce 1627 byla v kraslických dolech zavedena střelná práce, ale ani ta neodvrátila pozvolný úpadek (Beran 1997; Urban et al. 2014).

Po třicetileté válce došlo následkem emigrace horních podnikatelů i havírů k opuštění dolů a k jejich zatopení. Krátkodobé oživení nastává počátkem 18. století, kdy jsou zcela vydobyt zásoby nad štolou Daniel, která byla s délkou 1140 m nejdelším dílem revíru. Tato štola, která podfárávala připovrchovou vydobytou část ložiska byla ražena v Tisové v údolí Bublavského potoka. Otevírala především rudní horizont Segen Gottes. Jejím rolí měla později převzít dědičná štola Tiefer Ort, která byla koncem 18. století zaražena 18 - 30 m pod štolou Daniel, ale nepodařilo se ji dokončit z finančních důvodů. Postupný úpadek kapitálově slabých těžařů vedl v roce 1826 k ukončení hornické činnosti. Neúspěšným byl i pokus o znovuotevření dolů v roce 1858. Až v roce 1899 se vznikem nové hornické společnosti Klingenthal-Graslitzer-Kupferbergbaugesellschaft byla na německé straně vyhloubena 105 m hluboká jáma August-Erhardt a z ní ve 100 m hloubky tzv. Český překop východním směrem pod Tisovou horu. Tento překop dosáhl délky 1700 m. V roce 1902 bylo na české straně zahájeno ražení výdušné jámy Helena, která dosáhla hloubky 150 m. Dobývala se měděná ruda a pyrit. Intenzivní těžba měděných rud však trvala pouze do roku 1907. Úpadek těžby byl dovršen ohromným poklesem světové ceny mědi. Doly byly opuštěny po neúspěšném jednání o prodeji v roce 1913. V období 1902 - 1910 bylo vytěženo 51 300 tun rudniny s obsahem 1 až 1.5 % mědi (Beran 1997; Urban et al. 2014).

Nový zájem o otvírku ložiska přichází v roce 1950, kdy byly zahájeny geologicko-průzkumné práce. V roce 1951



Obr. 1 Topografické schéma rudního výskytu Skalka u Kraslic (podle www.mapy.cz)



Obr. 2 Svah pod skalním masívem Skalky u Kraslic, kde jsou lokalizovány průzkumné štoly, foto M. Křišťůfek, leden 2016.

Obr. 3 Uzavřené ústí štoly Skalka I na rudním výskytu Skalka u Kraslic, foto M. Křišťůfek, leden 2016.



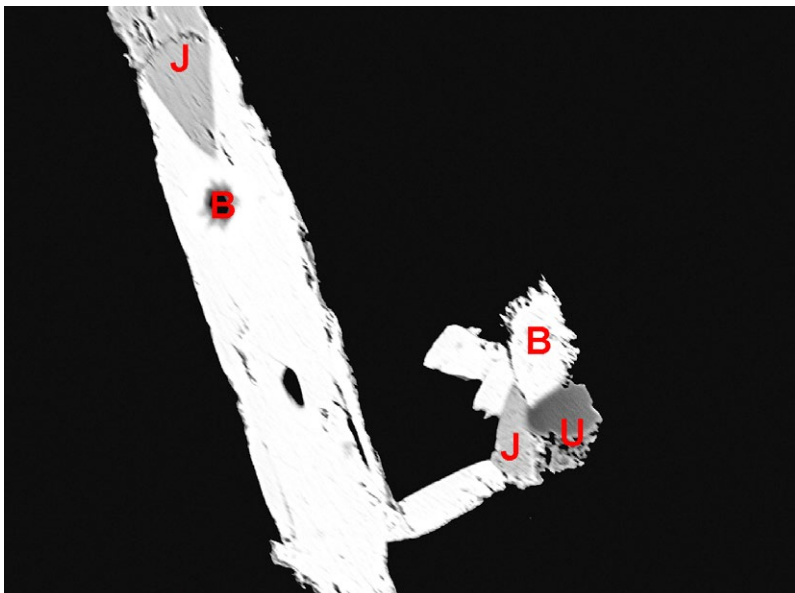
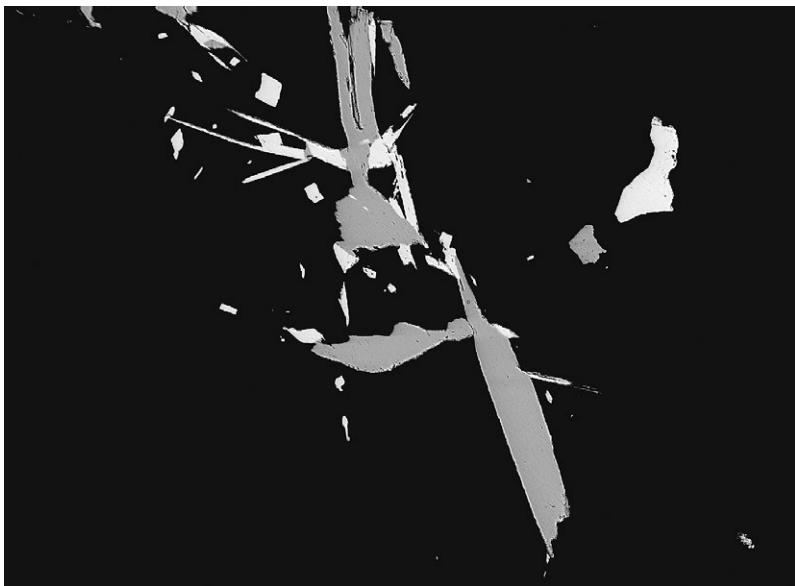
Obr. 4 Uzavřené ústí štoly Skalka na rudním výskytu Skalka u Kraslic, foto M. Křišťůfek, leden 2016.

byly zahájeny zmáhací práce starých štol a jámy Helena. Od roku 1959 bylo ložisko těženo a vytěžená surovina byla převážena do úpravny v Horním Slavkově. Těžba bylo zastavena v roce 1973 z důvodu nutné celkové rekonstrukce dolu a již nebyla obnovena. Až do roku 1989 na ložisku probíhal poměrně rozsáhlý báňský a vrtný průzkum včetně rekonstrukce a prohloubení jámy Helena na celkovou hloubku 358 m. Vzhledem ke změně ekonomických podmínek po roce 1989 nebyl celkový průzkum ložiska dokončen, zjištěné zásoby byly přeřazeny do nebilančních a důl byl zatopen. V období 1960 - 1973 bylo těženo průměrně 60 000 tun rudy ročně. Do roku 1973 bylo vytěženo 561 234 tun rudy v průměrné kvalitě 0.6 % Cu (Beran 1997; Suček 1994).

Geologická a ložisková charakteristika popisovaného území

Ložisková oblast náleží k české části epizonálně metamorfovaného komplexu fylitů durynsko-saské zóny. Rudní zóny jsou stratiformně uloženy v mohutném komplexu fylitů v pruhu širokém několik set metrů mezi Kraslicemi a Bublavou. Fylitová série, která je v ložiskové oblasti uložena v přibližně rovnoběžných vrstvách generelního směru S - J s úklonem 20 - 30° k západu, tvoří spolu s polohami metabazitů sedimentárně-vulkanický komplex, který je prorážen řadou žil porfyrů, porfyrítů a lamprofyrů. Fylity vznikly epizonální metamorfózou ve facii glaukofánových a zelených břidlic z původně pelitických a peliticko-aleuritických sedimentů. Stáří fylitového komplexu je považováno za staropaleozoické, podle některých autorů za ordovické (Chrt et al. 1972; Neumann 1968).

Na největším zdejším ložisku Tisová jsou vyvinuta tři rudní pásma (podložní, střední a nadložní), tvořená řadou samostatných čoček rud od drobných žilek až po masivní ložní polohy (Beran 1997). Rudnina je tvořena jednotlivými zrny, drobnými žilkami až masivními poloha-



Obr. 5 Jehlicovité agregáty jamesonitu (šedý) obrůstané mladším boulangeritem (bělavý), Skalka u Kraslic; šířka záběru 800 μ m, BSE foto J. Sejkora.

Obr. 6 Drobné agregáty ullmannitu (U) v asociaci s jamesonitem (J) a boulangeritem (B), Skalka u Kraslic; šířka záběru 220 μ m, BSE foto J. Sejkora.

mi sulfidických minerálů reprezentovanými prakticky jen chalkopyritem, pyrrhotinem a pyritem. Z dalších minerálů jsou poměrně časté arsenopyrit a sfalerit, vzácnější pak galenit, tetraedrit, markazit, bornit, chalkozín, kobaltin, jamesonit, ullmannit apod. Z nerudných minerálů se kromě křemene vyskytují siderit, kalcit a vzácně baryt. Souhrnný přehled zjištěných minerálů ložiska uvádí Beran (1997).

Odlíšná minerální asociace byla zjištěna v materiálu ze štol na Skalce. Tato mineralizace byla studována v rámci geologicko-průzkumných prací širšího okolí Kraslic (Lienert et al. 1986). Štoly byly zdokumentovány a byly odebrány orientační otlukové vzorky ze zrudněných poloh. Kvantitativní analýzy zjistily vysoké obsahy zejména Ag (až 852 g/t), dále Pb (1.5 - 3 %) a Zn (okolo 2 %). Zvýšené obsahy rudních prvků byly zjištěny i v nadložní a podložní zrudněných poloh (Ag 13 - 249 g/t, Pb 0.25 - 2.45, Zn 0.3 - 1.78 % a Sb 0.11 - 2.11 %). Zrudnění není tedy vázáno pouze na 40 - 60 cm mocnou polohu, kterou Novák (1985) popsal jako chloriticko-muskovitický svorový fylit, ale je vtoušeno v nadložních i podložních partiích a je přítomno v celém profilu vyražených štol. Sulfidy jsou ve fylitech vtoušeny v krátkých nesouvislých páscích, které sledují foliaci horniny. Místy tvoří drobné žilníky a sitivo žilek tvořených asociací tetraedritu, sfaleritu a jamesonitu. Tetraedrit tu není pouze akcesorií jako v ložiskových polohách Tisové, ale představuje hlavní rudní komponentu.

Obsahy Ag v tetraedritu byly odhadnuty na 5 %. Kašpar a Šrein (in Lienert et al. 1986) identifikovali ve vzorcích jamesonit s příměsí zinku a mědi, chalkopyrit a kobaltin. Obdobné zrudnění bylo zjištěno i v šesti vrtech, které byly realizovány v okolí štol (Lienert 1988; Lienert et al. 1986).

Metodika výzkumu

Povrchová morfologie vzorků byla sledována v dopadajícím světle pomocí optického mikroskopu Nikon SMZ25 s digitální kamerou D-Ri1. Nábrusy studovaných vzorků byly pro výzkum v odraženém světle a následně chemické analýzy připraveny standardním leštěním pomocí diamantové suspenze. Optické vlastnosti v odraženém světle byly studovány pomocí mikroskopu Nikon Eclipse ME600.

Rentgenová prášková difrakční data jamesonitu byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s polovodičovým pozicičně citlivým detektorem LynxEye za užití CuK α záření (40 kV, 40 mA). Práškový preparát byl nanesen v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku a následně pak byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.01°, načítací čas 8 s/krok detektoru, celkový čas experimentu cca 15 hod.). Data byla vyhodnocena pomocí softwaru ZDS pro DOS (Ondruš 1993) za použití profilové funkce Pearson VII a indexována na

Tabulka 1 Rentgenová prášková data jamesonitu z Kraslic

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}
0	2	0	9.574	2.1	9.564	4	1	1	2.740	6.5	2.740	1	2	-2	1.9623	1.5	1.9632
1	2	0	8.174	5.4	8.168	3	6	0	2.722	27.9	2.723	8	1	0	1.9521	1.4	1.9525
2	2	0	6.070	4.3	6.068	1	7	0	2.691	4.3	2.692	4	7	1	1.9451	1.4	1.9449
1	3	0	5.909	2.7	5.907	3	4	1	2.629	1.5	2.628	7	5	0	1.9346	1.4	1.9350
3	1	0	5.049	3.6	5.048	2	7	0	2.580	2.2	2.581	8	2	0	1.9228	1.0	1.9226
1	4	0	4.576	1.4	4.574	4	3	1	2.540	0.4	2.540	0	10	0	1.9125	13.2	1.9127
2	4	0	4.085	21.2	4.084	6	2	0	2.524	2.6	2.524	1	10	0	1.8984	6.4	1.8987
3	3	0	4.045	2.0	4.045	1	6	-1	2.4783	0.5	2.4763	4	9	0	1.8687	7.9	1.8689
4	0	0	3.926	8.7	3.925	5	2	-1	2.4337	0.7	2.4323	7	6	0	1.8342	7.8	1.8345
4	1	0	3.845	23.3	3.845	5	1	1	2.4216	0.5	2.4207	6	6	-1	1.8250	2.6	1.8253
1	1	1	3.805	2.2	3.797	0	8	0	2.3904	1.6	2.3909	2	4	2	1.7963	1.2	1.7951
0	2	1	3.717	5.4	3.713	2	6	1	2.3638	3.7	2.3689	8	0	-1	1.7869	0.9	1.7865
1	2	1	3.593	3.0	3.590	6	4	0	2.2953	13.5	2.2956	8	1	-1	1.7790	0.5	1.7787
3	4	0	3.530	6.8	3.530	5	3	1	2.2821	1.5	2.2791	7	5	-1	1.7633	1.0	1.7628
2	5	0	3.439	100.0	3.439	1	7	-1	2.2427	9.2	2.2439	5	9	0	1.7597	1.9	1.7601
1	3	-1	3.344	5.6	3.347	5	6	0	2.2370	3.0	2.2372	9	1	0	1.7371	2.2	1.7374
2	3	-1	3.158	3.8	3.155	2	7	-1	2.1836	1.9	2.1832	8	2	1	1.7157	1.5	1.7150
1	6	0	3.124	2.9	3.124	3	8	0	2.1745	2.0	2.1747	4	9	-1	1.7052	0.6	1.7051
5	1	0	3.099	10.7	3.099	7	3	0	2.1156	1.2	2.1160	1	6	2	1.6844	0.8	1.6883
2	3	1	3.096	4.0	3.095	6	2	1	2.1108	2.6	2.1107	8	6	0	1.6709	1.2	1.6713
3	5	0	3.088	14.4	3.088	3	7	-1	2.0899	0.9	2.0893	3	11	0	1.6500	1.4	1.6502
1	4	-1	3.034	1.0	3.037	0	8	1	2.0570	3.9	2.0561	9	4	0	1.6385	1.5	1.6389
3	2	1	2.989	1.6	2.988	4	8	0	2.0488	0.6	2.0420	1	12	0	1.5855	0.5	1.5858
2	6	0	2.954	14.3	2.954	7	4	0	2.0304	11.0	2.0308	10	0	0	1.5697	0.6	1.5702
3	3	-1	2.892	1.6	2.890	6	6	0	2.0224	6.1	2.0227	10	1	0	1.5645	1.5	1.5649
4	1	-1	2.824	9.8	2.825	6	4	-1	2.0189	2.6	2.0184	10	2	0	1.5492	0.8	1.5494
4	0	1	2.769	0.7	2.769	0	1	2	2.0040	0.8	2.0034						

Tabulka 2 Parametry základní cely jamesonitu (pro monoklinickou prostorovou grupu P2₁/a)

	<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	β [°]	<i>V</i> [Å ³]
tato práce	15.709(2)	19.127(3)	4.031(1)	91.78(2)	1210.6(3)
Matsushita, Ueda (2003)	15.750(6)	19.125(3)	4.030(4)	91.68(8)	1213(1)

základě teoretického záznamu vypočteného programem Lazy Pulverix (Yvon et al. 1977) z publikovaných krystalových strukturálních dat. Parametry základní cely pak byly zpřesněny pomocí programu Burnhama (1962).

Chemické složení bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Masarykova univerzita, Brno, analytik J. Sejkora) za podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 25 kV, proud 20 nA, průměr svazku 2 μm , použité standardy: Ag

(AgL α), Bi (BiM β), Cd (CdL β), Co (CoK α), Cu (CuK α), CuFeS₂ (SK α), FeS₂ (FeK α), HgTe (HgM α), NaCl (ClK α), NiAs (AsL β , NiK α), PbS (PbM α), PbSe (SeL β), Sb (SbL β) a ZnS (ZnK α). Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou zahrnuty v tabulkách, byly kvantitativně analyzovány, ale zjištěné obsahy byly pod detekčním limitem (cca 0.03 - 0.08 hm. % pro jednotlivé prvky). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Tabulka 3 Chemické složení jamesonitu z Kraslic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fe	2.67	2.65	2.65	2.67	2.67	2.63	2.69	2.67	2.70	2.69	2.68	2.67	2.68
Pb	40.60	39.82	39.90	40.37	40.45	40.63	40.63	40.70	40.71	40.84	40.89	41.08	41.14
Sb	35.28	35.22	35.30	34.94	35.50	35.04	34.78	35.30	35.67	35.39	35.47	35.59	35.12
Bi	0.03	0.00	0.00	0.00	0.18	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	20.86	20.58	20.83	20.64	20.79	20.98	20.82	20.90	21.04	20.82	21.08	21.00	20.82
total	99.43	98.27	98.69	98.61	99.59	99.48	98.92	99.57	100.11	99.74	100.12	100.34	99.75
Fe	1.009	1.012	1.007	1.018	1.010	0.992	1.021	1.007	1.012	1.017	1.003	1.001	1.012
Pb	4.137	4.104	4.082	4.152	4.123	4.133	4.158	4.142	4.114	4.158	4.132	4.154	4.192
Sb	6.117	6.177	6.146	6.115	6.157	6.066	6.057	6.112	6.134	6.131	6.100	6.125	6.089
Bi	0.003	0.000	0.000	0.000	0.018	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S	13.733	13.708	13.765	13.714	13.693	13.789	13.764	13.739	13.739	13.694	13.766	13.721	13.707

Mean - průměr 12 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 25 *apfu*.

Tabulka 4 Chemické složení boulangeritu z Kraslic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pb	56.15	55.12	55.36	55.48	55.66	55.70	55.95	56.57	56.78	57.35	57.56
Sb	25.60	25.60	25.28	26.16	25.86	25.87	25.90	25.90	25.82	24.78	24.87
S	18.09	17.84	17.96	18.19	17.90	18.35	17.92	18.34	18.50	18.01	17.87
total	99.84	98.55	98.60	99.83	99.42	99.92	99.77	100.82	101.10	100.14	100.29
Pb	5.185	5.153	5.162	5.101	5.169	5.104	5.185	5.162	5.155	5.314	5.346
Sb	4.023	4.072	4.013	4.093	4.087	4.034	4.085	4.023	3.989	3.907	3.930
S	10.792	10.775	10.825	10.807	10.744	10.863	10.730	10.815	10.856	10.779	10.724

Mean - průměr 10 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 20 *apfu*.

Tabulka 5 Chemické složení tetraedritu, sfaleritu a bournonitu z Kraslic (hm. %)

	tetraedrit				sfalerit				bournonit	
	mean	1	2	3	mean	1	2	3	4	1
Ag	17.84	18.23	18.03	17.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	2.56	2.51	2.81	2.37	9.88	10.00	9.70	9.96	9.87	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.94
Zn	4.33	4.74	3.98	4.26	55.07	55.22	54.86	55.14	55.07	0.00
Cu	24.85	25.08	24.75	24.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.65
Sb	28.42	28.15	28.15	28.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.58
S	22.63	22.27	22.64	22.97	32.79	32.82	32.65	32.80	32.88	19.23
total	100.62	100.98	100.36	100.52	97.74	98.05	97.21	97.89	97.81	98.40
Ag	2.984	3.049	3.020	2.882	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.828	0.812	0.908	0.765	0.173	0.175	0.171	0.174	0.173	0.000
Pb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.010
Zn	1.194	1.309	1.101	1.172	0.825	0.825	0.826	0.825	0.824	0.000
Cu	7.053	7.123	7.036	7.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.993
Sb	4.210	4.172	4.177	4.281	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.007
S	12.731	12.535	12.759	12.899	1.002	1.000	1.003	1.001	1.003	2.991
báze	29	29	29	29	2	2	2	2	2	6

Mean - průměr 3 (tetraedrit) a 4 (sfalerit) bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi uvedené v tabulce.

Charakteristika rudní mineralizace

Nově studovaná rudní mineralizace vystupuje jako součást drobných nepravidelných křemenných žilek o mocnosti do 2 cm vtroušených podle foliace hornin, zejména chloriticko-muskovitických fylitů.

Nejhojnějším rudním minerálem je **jamesonit**, který vytváří ocelově šedé až černošedé jehlicovité krystaly o délce do 2 mm a jejich nepravidelné shluky zarůstající do křemenné žiloviny. V asociaci s jamesonitem byly jehlicovité krystaly boulangeritu (obr. 5) a vzácně i nepravidelné mikroskopické agregáty ullmannitu (obr. 6).

Rentgenová prášková data jamesonitu z Kraslic (tab. 1) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalových strukturálních dat publikovaných v práci Matsushita, Ueda (2003); zpřesněné parametry jeho základní cely jsou uvedeny v tabulce 2.

Chemické složení jamesonitu (tab. 3) se blíží ideálnímu vzorci, jen lokálně byly zjištěny nevelké obsahy Bi (do 0.02 *apfu*), který v jeho krystalové struktuře izomorfne zastupuje Sb. Jeho chemické složení (průměr 12 bodových analýz) je možno na bázi 25 *apfu* vyjádřit empirickým vzorcem $Pb_{4.14}Fe_{1.01}Sb_{6.12}S_{13.73}$.

Boulangerit vytváří v křemenné žilovině dobře vyvinuté jehlicovité krystaly o délce do 200 μm , které obrůstají starší krystaly jamesonitu (obr. 5) a agregáty Fe-bohatého sfaleritu (obr. 7); v asociaci vystupuje i Ag-bohatý tetraedrit, bournonit a ullmannit.

Při studiu chemického složení boulangeritu (tab. 4) byly zjištěny podstatné obsahy Pb, Sb a S, které dobře odpovídají ideálnímu vzorci tohoto minerálního druhu; další prvky (Ag, Cu, Fe, Bi...) nebyly zjištěny ani v minoritním zastoupení. Empirický vzorec boulangeritu (průměr 10 bodových analýz) je možno na bázi 20 *apfu* vyjádřit jako $Pb_{5.18}Sb_{4.02}S_{10.79}$.

Ag-bohatý tetraedrit byl zjištěn jako nepravidelné ocelově černošedé agregáty o velikosti do 1 mm zarůstající do křemenné žiloviny; při mikroskopickém studiu bylo pozorováno, že jeho agregáty jsou mladší než Fe-bohatý sfalerit a lokálně jsou obrůstány nejmladším bournonitem (obr. 7).

Při studiu chemického složení Ag-bohatého tetraedritu (tab. 5) byly v trigonální pozici zjištěny obsahy Ag v rozmezí 2.88 - 3.05 *apfu* (cca 17 - 18 hm. %), které se pohybují kolem teoretické hranice mezi tetraedritem a freibergitem (3 *apfu*). Mezi dvojmocnými prvky v tetraedrické pozici Zn (1.10 - 1.31 *apfu*) mírně převládá nad Fe (0.76 - 0.81 *apfu*); pro Ag-bohaté tetraedrity a freibergity je výrazně obvyklejší převaha Fe nad Zn (např. Litochleb et al. 2008; Škácha et al. 2012; Sejkora et al. 2015; Velebil et al. 2016). Chemické složení Ag-bohatého tetraedritu z Kras-

lic (průměr tří bodových analýz) je možno na bázi 29 *apfu* vyjádřit empirickým vzorcem $(Cu_{3.02}Ag_{2.98})_{\Sigma 6.00}Cu_{4.03}(Fe_{1.19}Zn_{0.83})_{\Sigma 2.02}Sb_{4.21}S_{12.73}$.

Fe-bohatý sfalerit vystupuje v křemenné žilovině jako nepravidelné štěpné agregáty tmavě hnědé až černošedé barvy o velikosti několika mm; podle mikroskopického pozorování je zřetelně starší než boulangerit a Ag-bohatý tetraedrit (obr. 7).

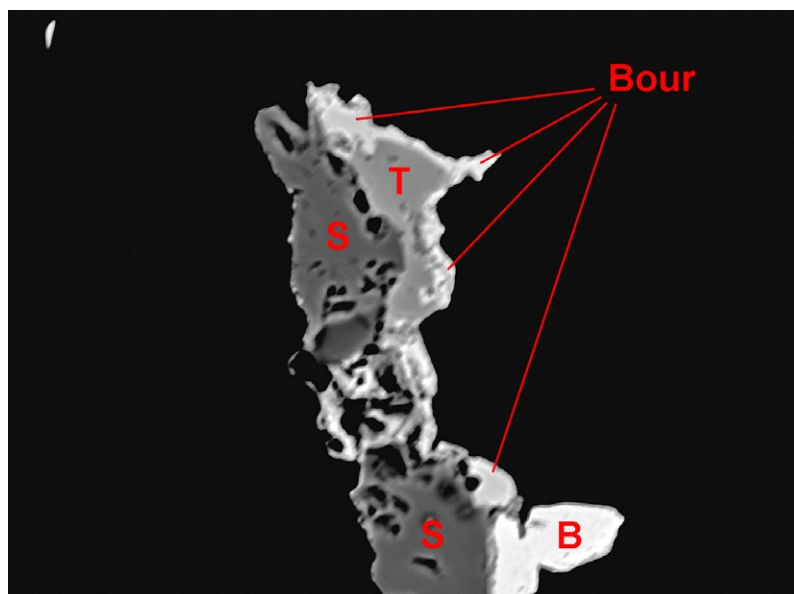
Pro jeho chemické složení (tab. 5) jsou charakteristické pravidelné obsahy Fe (0.17 *apfu*, cca 10 hm. %) izomorfne zastupujícího Zn. Empirický vzorec sfaleritu (průměr čtyř bodových analýz) je možno na bázi 2 *apfu* vyjádřit jako $(Zn_{0.83}Fe_{0.17})_{\Sigma 1.00}S_{1.00}$.

Bournonit byl pozorován pouze vzácně jako nepravidelné agregáty o velikosti do 10 μm nebo slabé lemy starších agregátů Ag-bohatého tetraedritu (obr. 7). Výsledky jeho chemické analýzy (tab. 5) odpovídají empirickému vzorci $Pb_{1.01}Cu_{0.99}Sb_{1.01}S_{2.99}$ vypočtenému na bázi 6 *apfu*.

Vzácný **ullmannit** vytváří jen mikroskopické agregáty o velikosti do 20 μm v asociaci s jamesonitem a boulangeritem (obr. 6). Při studiu jeho chemického složení byly vedle dominantního Ni, Sb a S (tab. 6) zjištěny i minoritní obsahy Fe (do 0.01 *apfu*) izomorfne zastupujícího Ni a As (do 0.02 *apfu*) zastupujícího Sb. Empirický vzorec ullmannitu (průměr čtyř bodových analýz) je možno na bázi 3 *apfu* vyjádřit jako $(Ni_{0.96}Fe_{0.01})_{\Sigma 0.97}(Sb_{1.03}As_{0.01})_{\Sigma 1.04}S_{0.99}$.

Tabulka 6 Chemické složení ullmannitu z Kraslic (hm. %)

	mean	1	2	3	4
Fe	0.15	0.12	0.19	0.13	0.18
Ni	26.38	26.39	26.48	26.47	26.18
Sb	58.22	58.05	58.79	58.08	57.96
As	0.38	0.49	0.22	0.54	0.29
S	14.87	14.78	14.90	14.93	14.87
total	100.00	99.82	100.57	100.15	99.47
Fe	0.006	0.005	0.007	0.005	0.007
Ni	0.964	0.966	0.963	0.964	0.961
Σ	0.969	0.971	0.971	0.969	0.968
Sb	1.025	1.025	1.031	1.020	1.025
As	0.011	0.014	0.006	0.015	0.008
Σ	1.036	1.039	1.037	1.035	1.034
S	0.994	0.991	0.992	0.996	0.999



Obr. 7 Agregáty Fe-bohatého sfaleritu (S) obrůstané Ag-bohatým tetraedritem (T) a boulangeritem (B); bournonit (Bour) vystupuje jako nejmladší fáze obrůstající Ag-bohatý tetraedrit; Skalka u Kraslic; šířka záběru 160 μm , BSE foto J. Sejkora.

Závěr

Rudní mineralizace zjištěná v materiálu ze štol na Skalce se výrazně mineralogicky odlišuje od zrudnění blízkého ložiska Tisová u Kraslic jen minimálním zastoupením chalkopyritu, pyrhotinu a pyritu. Převládajícím rudním minerálem je zde jamesonit doprovázený boulangeritem, Ag-bohatým tetradritem, Fe-bohatým sfaleritem; jako akcesorie byly zjištěny i bournonit a ullmannit. Z výsledků nového mineralogického studia vyplývá, že obsahy Pb zjištěné v otlukových vzorcích na tomto výskytu jsou vázány na výskytu jamesonitu a boulangeritu, Ag na Ag-bohatý tetradrit a Zn pak na Fe-bohatý sfalerit. Na rozdíl od publikovaných analýz (Beran 1997) byly ve studovaném materiálu zjištěny vyšší obsahy Fe ve sfaleritu (kolem 10 hm. %) a výrazně vyšší obsahy Ag v tetradritu (17 - 18 hm. %).

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat Radku Škodovi z Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity (Brno) za spolupráci při laboratorním studiu. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 - cíl DKRVO 2016/01).

Literatura

- Beran P. (1997) Mineralogie ložiska Cu (Ag, Au, Co) rud Tisová u Kraslic. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 4-5, 65-77.
- Burnham Ch. W. (1962) Lattice constant refinement. *Carnegie Inst. Washington Year Book* 61, 132-135.
- Chrt J., Neumann J., Hoffman V., Trdlička Z. (1972) Měděnokyzové ložisko Tisová u Kraslic. *Sbor. geol. Věd, ložisk. Geol.* 15, 7-45.
- Lienert H. (1988) Polymetalické stratiformní zrudnění mezi Kraslicemi a Mlýnskou. *Výběr prací Geoindustria* 16, 5-17.
- Lienert H. a kolektiv (1986) Kraslicko - surovina Cu rudy, závěrečná zpráva. *MS, Geoindustria Praha*.
- Litochleb J., Sejkora J., Fišera M. (2008) Freibergit a jamesonit z historického ložiska stříbra Šebestěnice u Čáslavi (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 16, 2, 193-196.
- Matsushita Y., Ueda Y. (2003) Structure and physical properties of 1D magnetic chalcogenide, jamesonite (Fe-Pb₄Sb₆S₁₄). *Inorg. Chem.* 42, 7830-7838.
- Neumann J. (1968) Závěrečná zpráva Tisová Cu rudy. *MS, Geoindustria Stříbro*.
- Novák J. (1985) Petrograficko-mineralogické rozbory. In: Lienert H. et al. (1986) Kraslicko - surovina Cu rudy. *MS, závěrečná zpráva, Geoindustria Praha*.
- Ondruš P. (1993) ZDS - A computer program for analysis of X-ray powder diffraction patterns. *Materials Science Forum*, 133-136, 297-300, EPDIC-2. *Enchede*.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" (φρZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis (J. T. Armstrong, ed.)*. San Francisco Press, San Francisco, 104-106.
- Sejkora J., Kopecký S., Pauliš P., Kopecký S. ml. (2015) Nové poznatky o primární mineralizaci v havlíčkovobrodském rudním revíru (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 23, 2, 277-296.
- Suček P. (1994) Závěrečná likvidační zpráva za ložisko Cu rud Tisová u Kraslic. *MS, Rudné doly Příbram*.
- Škacha P., Sejkora J., Knížek F., Slepíčka V., Litochleb J., Jebavá I. (2012) Výskytu unikátního monometalického stříbrného zrudnění na žíle H14F3 mezi 7. a 9. patrem šachty č. 21 Háje, příbramský uran-polymetalický revír (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 20, 2, 230-254.
- Urban M. a kolektiv (2014) Horní města Krušných hor, Karlovarský kraj. *Fornica publishing, Sokolov*, 1-319.
- Velebil D., Macek I., Soumar J. (2016) Příspěvek k poznání chemismu tetradritů z českých lokalit: Příbram, Obecnice, Zvěstov, Mníšek pod Brdy, Ratibořské Hory, Stará Vožice, Jáchymov, Kutná Hora a Stříbrná Skalice. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 24, 1, 132-143.
- Yvon K., Jeitschko W., Parthé E. (1977) Lazy Pulverix, a computer program for calculation X-ray and neutron diffraction powder patterns. *J. Appl. Cryst.* 10, 73-74.