

Bismutem bohaté tennantity z Jáchymova (Česká republika)

Bi-rich tennantites from Jáchymov (Czech Republic)

DALIBOR VELEBIL* A JIŘÍ SEJKORA

Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice;
*e-mail: dalibor_velebil@nm.cz

VELEBIL D, SEJKORA J (2018) Bismutem bohaté tennantity z Jáchymova (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 26(2): 213-222. ISSN 2570-7337

Abstract

Six samples of minerals of the tetrahedrite group from the Jáchymov ore district, Krušné hory Mountains (Czech Republic) were studied by EPMA. The significant variable contents of As, Sb and Bi in trigonal pyramidal position of the crystal structure are characteristic for the studied samples. The sample from the mine Rovnost (Geister vein) is the most interesting. Beside prevailing Bi-rich tennantite and rare Bi-rich tetrahedrite, the zones and aggregates up to 50 μm in size with a probable new Bi-dominant member of tetrahedrite group were observed. The determined Bi contents in the range 1.57 - 1.89 *apfu* prevails over the As (1.38 - 1.72 *apfu*) and Sb (0.25 - 0.77 *apfu*) ones. The minimum size of found aggregates and complicated intergrowths with Bi-rich tetrahedrite unfortunately do not allow to obtain the necessary structural data for full characterization of the new mineral species.

Key words: tennantite, tetrahedrite, annivite, chemical composition, Jáchymov, Czech Republic

Obdrženo 6. 10. 2018; přijato 14. 12. 2018

Úvod

V roce 2016 byl zkoumán chemismus tetraedritů z několika výskytů v České republice. V rámci tohoto výzkumu byl mimo jiné analyzován vzorek tennantitu z Jáchymova s vysokým obsahem Bi, a to průměrně 1.02 (0.72 - 1.48) *apfu* (Velebil et al. 2016). Takové zjištění je zajímavé z hlediska krystalochemie skupiny tetraedritu, proto bylo přistoupeno k výzkumu dalších vzorků tennantitů, respektive tetraedritů z ložiska Jáchymov, uložených ve sbírce Národního muzea v Praze (tab. 1). Výsledky studia jsou předloženy v této práci.

Bismut byl přítom v jáchymovských tennantitech zjištěn již dříve. Ondruš et al. (2003) uvádějí v souhrnné práci o primárních minerálech jáchymovského revíru sedm analýz tennantitu s obsahem Bi, přičemž ve čtyřech případech byl obsah Bi v tennantitu nižší než 1 hm. %, ostatní analýzy vykazaly obsahy 9.70, 9.78 a 10.05 hm. % Bi (0.73, 0.74 a 0.78 *apfu* Bi).

Bi v minerálech skupiny tetraedritu

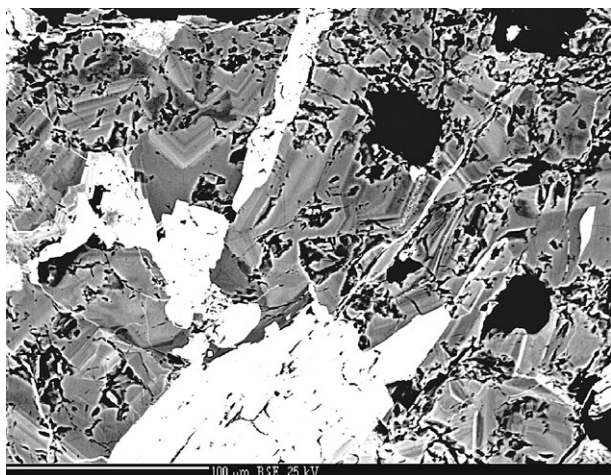
Minerály skupiny tetraedritu představují jednu z nejvíce komplexních izotypních sérií mezi sulfosolemi v přírodě, což je způsobeno četnými izo- a heterovalentními substitucemi (Makovicky 2006; Moëlo et al. 2008). Zjednodušeně může být podle Moëla et al. (2008) vyjádřen obecný vzorec minerálů skupiny tetraedritu jako ${}^{[III]}A_6{}^{[IV]}(B,C)_6{}^{[III]}X_4{}^{[IV]}Y_{12}{}^{[VI]}Z_1$, kde A je Cu nebo Ag v trigonální koordinaci; B je Cu^{1+} nebo Ag v tetraedrické koordinaci, C je obecně dvojmocný kov (typicky Fe nebo Zn, ale také Hg, Mn, Cd, Cu^{2+} etc.) ve stejné koordinaci jako B; X je Sb, As, Bi nebo Te v trigonálně pyramidální koordinaci; Y je S nebo Se v tetraedrické koordinaci a Z je S nebo Se ve specifické oktaedrické koordinaci. Výsledky studia krystalové struktury potvrdily také přítomnost vakancí nebo intersticiálních atomů (např. Cu) nebo komplikované heterovalentní substituce vyvolané vstupem Fe^{3+} nebo Te^{4+} (Moëlo et al. 2008).

Tabulka 1 Přehled studovaných vzorků minerálů skupiny tetraedritu z Jáchymova

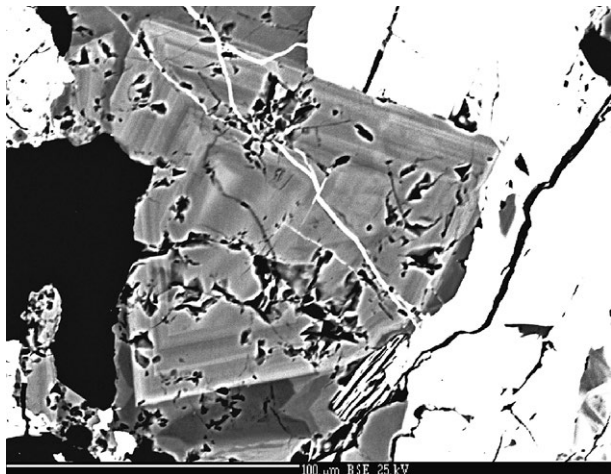
č. vzorku	inv. č. NM	lokalita	popis makrovzorku
D31 a D103	P1N 38896	Jáchymov - důl Rovnost (Eliáš); 7. Dušní patro, žíla Geister	masivní agregát velikosti 7 × 6 cm; tvořený minerály skupiny tetraedritu, emplektitem, bismitem, bismutem, bismutinitem a chalkozínem
D105	P1N 26557	Jáchymov	lesklé krystaly o velikosti do 6 mm v dutinách kalcitu s chalkopyritem
D106	P1N 4854	Jáchymov	zrnité až celistvé agregáty v dolomitu
D107	P1N 86945	Jáchymov - důl Bratrství	1 mm mocná žilka v dolomitu
D108	P1N 69226	Jáchymov	až 4 mm krystaly izolovaně narostlé na dolomitu
D109	P1N 69287	Jáchymov	zrnité agregáty s křemenem



Obr. 1 Tennantit z Jáchymova, komplexní agregát tvořený směsí Bi-tennantitu (převládá), emplektitu, bismutinu, bismitu, bismutu, chalkozínu a dalších minerálů (Národní muzeum P1N38896, analyzované vzorky D31 a D103) velikost ukázky 7 × 6 cm. Foto D. Velebil.



Obr. 2 Výrazně zonální Bi-bohatý tennantit (analýzy provedeny v zónách různého stupně šedi) srůstající s bílým bismitem, Jáchymov, nábrus D103; BSE foto Z. Dolníček.



Obr. 3 Výrazně oscilačně zonální krystal Bi-bohatý tennantitu (analýzy provedeny v zónách různého stupně šedi) srůstající s bílým emplektitem, Jáchymov, nábrus D103; BSE foto J. Sejkora.

Obsahy Bi jsou v minerálech skupiny tetraedritu známy již dlouhou dobu, minerál „annivit“ (Fellenberg 1854) popsán z typové lokality Einfish nebo Anniviers valley z kantonu Wallis ve Švýcarsku s obsahem jen 0.42 *apfu* Bi je však jen Bi-bohatou varietou tennantitu a nikoliv platným druhem (Moëlo et al. 2008). V převážně většině Bi-bohatých členů skupiny tetraedritu však Bi není převládajícím prvkem v trigonálně pyramidální pozici; výskyty Bi-bohatých tetraedritů jsou uváděny z pegmatitu Mangualde (0.96 *apfu* Bi) v Portugalsku (Oen, Kieft 1976), z ložiska Tyrnyauz (1.32 *apfu*) v Rusku (Vinogradova et al. 1985) a z hydrotermální mineralizace v kontaktu dolomitových mramorů na lokalitě Ředziny (1.38 *apfu*) v Polsku (Gołębiowska et al. 2012). Breskovska, Tarkian (1994), kteří studovali složení minerálů skupiny tetraedritu z řady lokalit, uvádějí maximální zjištěný obsah Bi v tetraedritu 1.69 *apfu*. Bi-bohaté tennantity jsou hojnější než tetraedrity; popisovány jsou například výskyty v pegmatitu Mangualde (1.56 *apfu* Bi) v Portugalsku (Oen, Kieft 1976), z ložiska Jubilejnoe-Šegirichinskoe (1.36 *apfu*) v Rusku (Sergeyeva, Shatagin 1980), ložiska Tyrnyauz (1.11 *apfu*) v Rusku (Vinogradova et al. 1985), Sn-W ložiska Altenberg (1.36 *apfu*) v Německu (Förster et al. 1986) a Cínovec (1.48 *apfu*) v ČR (Jansa, Novák 1990), z hydrotermálních žil v granitech v oblasti Schwarzwald (1.83 *apfu*) v Německu (Staude et al. 2010), lokality Ředziny (1.51 *apfu*) v Polsku (Gołębiowska et al. 2012) a jáchymovského rudního revíru (1.48 *apfu*) v České republice (Velebil et al. 2016). Breskovska, Tarkian (1994) pak uvádějí maximální zjištěný obsah 1.57 *apfu* Bi.

Výskyty minerálů skupiny tetraedritu, ve kterých je Bi převládajícím prvkem v trigonálně pyramidální pozici, jsou dosud uváděny pouze ze čtyř lokalit - Pb-Zn rud na lokalitě Vindfall (2.64 *apfu* Bi) ve Švédsku (Kieft, Eriksson 1984), ložiska Tary-Ekan (1.63 *apfu*) v centrální Asii (Bortnikov et al. 1986), ložiska Tyrnyauz (1.60 *apfu*) v Rusku (Spiridonov et al. 1986) a lokality Ředziny (2.65 *apfu*) v Polsku (Gołębiowska et al. 2012). Pro žádný z těchto známých výskytů Bi-dominantního členu skupiny tetraedritu se však nepodařilo získat strukturní data a tak tento člen dosud nemohl být popsán jako platný minerální druh (Gołębiowska et al. 2012). Pokusy syntetizovat Bi-dominantní analog tetraedritu a tennantitu nebyly dosud úspěšné; Klünder et al. (2003) uvádějí obsahy Bi v synteticky připravených tetraedritech a tennantitech do 0.8 *apfu* při 350 °C a do 1 *apfu* při 450 a 520 °C.

Metodika výzkumu

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 s digitální kamerou Nikon DXM1200F.

Chemické složení tetraedritů bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha, analytik Zdeněk Dolníček, Jiří Sejkora) za podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 25 kV, proud 20 nA, průměr svazku 2 μm, standardy a použité vlnové délky: CuFeS₃ (SKα, CuKα), Ag (AgLα), Bi₂Se₃ (BiMβ), CdTe (CdLα), Co (CoKα), FeS₂ (FeKα), HgTe (HgLα), NiAs (AsLβ), Ni (NiKα), PbS (PbMα), PbSe (SeLβ), Sb₂S₃ (SbLα), ZnS (ZnKα), Mn (MnKα), Au (AuMα), InAs (InLα), PbTe (TeLα), Sn (SnLα), NaCl (ClKα), Ge (GeLα) a GaAs (GaLα). V tabulkách chemických analýz nejsou uvedeny prvky, které byly rovněž

zjišťovány, ale jejich obsahy byl ve všech vzorcích pod detekčním limitem (cca 0.01 - 0.05 hm. %). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985). Celkem bylo provedeno více než 240 bodových analýz v sedmi nábrusech pocházejících ze šesti vzorků. Empirické vzorce byly přepočteny na sumu kationtů rovnou 16 *apfu*.

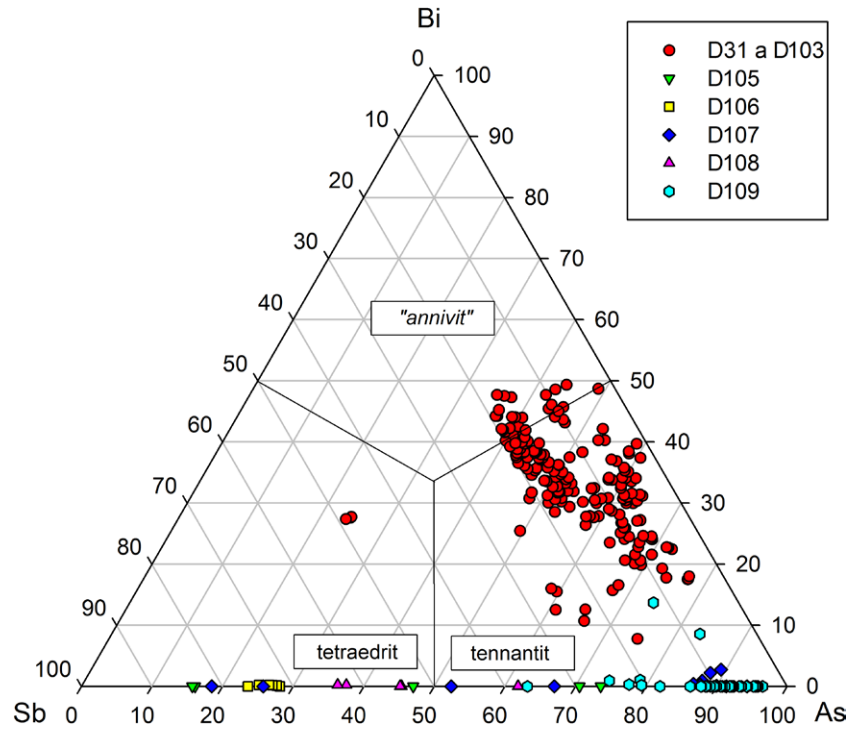
Výsledky

Bi-bohaté členy skupiny tetraedritu

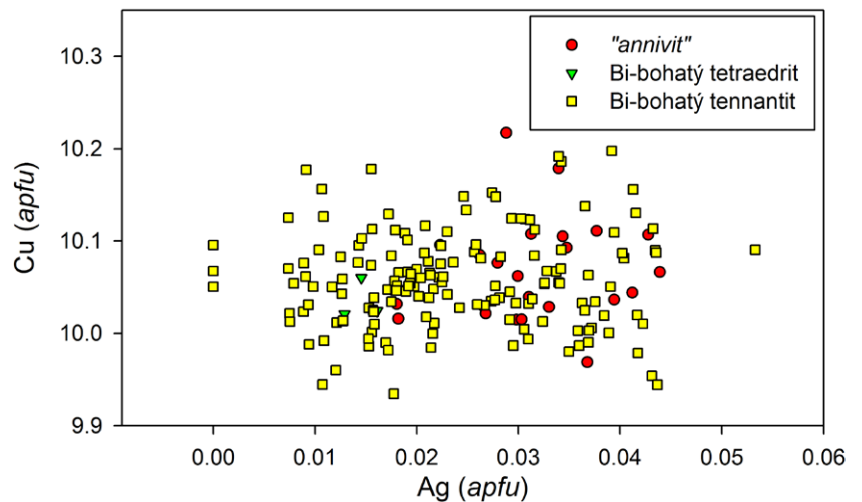
Nábrusy **D31** a **D103** byly připraveny z úlomků odebraných z různých míst vzorku (obr. 1) s evidenčním číslem P1N 38896 (tab. 1). Vzorek **D31** je představován 2 mm velkým úlomkem komplexní rudniny tvořené nepravidelnými agregáty výrazně oscilačně zonálních minerálů skupiny tetraedritu srůstajícími se zrny bismutu s relikty ryzího bismutu a izometrickými agregáty emplektitu o velikosti do 0.7 mm. Vzorek je částečně alterován za vzniku supergenních minerálních fází s obsahem As, Bi, Pb a U. Charakter druhého odebraného vzorku (nábrus **D103**) je analogický - výrazně oscilačně zonální agregáty minerálů skupiny tetraedritu (obr. 2 a 3) srůstají s bismitem (s relikty ryzího Bi) a emplektem.

Charakter agregátů minerálů skupiny tetraedritu i jejich chemické složení zjištěné v nábrusech D31 a D103 jsou prakticky identické. Pro oba dva vzorky je charakteristickým rysem výrazně rozvinutá izomorfní v trigonálně pyramidální pozici X obecného vzorce (obr. 4). Nejhojnější zjištěnou minerální fází je **Bi-bohatý tennantit**, kteří tvoří více než 95 % objemu studovaných zonálních agregátů. Obsahy Bi v pozici X se pohybují v rozmezí 0.31 - 1.89 *apfu*, dominantním prvkem je zde však As s obsahy 1.62 - 3.08 *apfu* doprovázený Sb (0.06 - 1.06 *apfu*). V trigonální A pozici vysoce převládá Cu, nalezené obsahy Ag nepřevyšují 0.05 *apfu* (obr. 5). Podle zjištěného obsazení tetraedrické C pozice vzorce je zřejmé (obr. 6), že zde vystupují jak hojnější Zn-dominantní členy, tak i méně zastoupené Fe-dominantní fáze; v této pozici byly dále zjištěny i nepravidelné obsahy Pb (do 0.14 *apfu*) a ojedinělé minoritní zastoupení Cd a In (do 0.01 *apfu*).

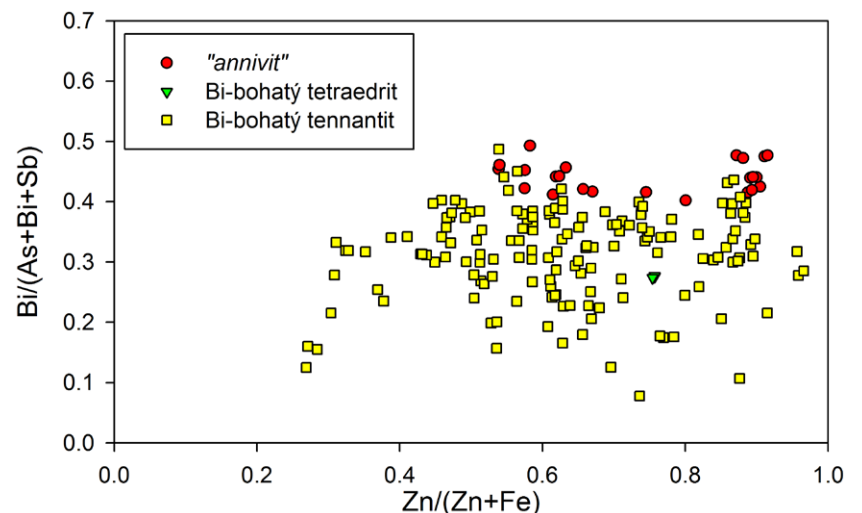
Obr. 6 Graf obsahů poměrů Zn/(Zn+Fe) vs. Bi/(As+Bi+Sb)(*apfu*) v minerálech skupiny tetraedritu z nábrusů D31 a D103.



Obr. 4 Ternární graf Sb, As a Bi (*apfu*) v trigonálně pyramidální pozici X studovaných členů skupiny tetraedritu z Jáchymova.



Obr. 5 Graf obsahů Ag a Cu (*apfu*) v minerálech skupiny tetraedritu z nábrusů D31 a D103.



Tabulka 2 Reprezentativní chemické analýzy Bi-bohatého tennantitu z Jáchymova (nábrus D31, Národní muzeum P1N38896) v hm. % a příslušné hodnoty apfu

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ag	0.28	0.00	0.10	0.14	0.27	0.24	0.21	0.25	0.15	0.17	0.16	0.33	0.21	0.23
Fe	3.13	2.37	1.21	0.88	3.94	3.03	2.63	3.22	0.75	1.62	3.35	2.77	2.80	2.91
Pb	0.36	0.00	0.11	0.23	0.29	0.38	0.42	0.00	0.06	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
In	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
Zn	4.23	5.30	6.42	6.69	2.92	3.77	4.23	3.65	6.51	5.41	3.72	4.00	3.94	3.98
Cu	39.43	40.08	38.65	38.30	38.77	36.86	36.93	37.77	36.59	36.31	38.39	36.82	36.48	37.58
Sb	5.12	1.49	2.92	3.46	1.25	5.06	4.53	4.62	5.33	5.38	0.41	4.42	2.95	0.65
Bi	8.17	9.38	13.04	14.81	16.62	16.98	17.57	17.95	18.19	18.42	19.14	19.73	20.63	23.03
As	12.60	14.44	11.58	10.28	10.78	8.05	7.90	7.96	7.30	6.93	10.18	7.10	7.56	8.30
S	26.46	26.22	25.65	25.37	26.83	24.71	24.61	25.49	24.36	23.90	26.36	25.00	24.38	25.61
total	99.78	99.28	99.68	100.16	101.75	99.08	99.03	100.96	99.24	98.14	101.82	100.17	98.95	102.35
Ag	0.042	0.000	0.015	0.022	0.042	0.038	0.034	0.039	0.024	0.028	0.025	0.053	0.034	0.037
Cu ^A	5.958	6.000	5.985	5.978	5.958	5.962	5.966	5.961	5.976	5.972	5.975	5.947	5.966	5.963
A-site	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 ^B	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Fe	0.901	0.676	0.357	0.263	1.171	0.937	0.816	0.981	0.234	0.510	1.006	0.864	0.881	0.893
Pb	0.028	0.000	0.009	0.019	0.023	0.032	0.035	0.000	0.005	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000
In	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009
Zn	1.041	1.292	1.619	1.706	0.742	0.996	1.121	0.950	1.734	1.456	0.955	1.066	1.059	1.044
Cu ^C	0.020	0.050	0.043	0.070	0.172	0.058	0.101	0.149	0.052	0.079	0.158	0.144	0.125	0.174
C-site	1.990	2.019	2.028	2.057	2.120	2.023	2.073	2.087	2.025	2.045	2.128	2.073	2.065	2.120
Sb	0.676	0.195	0.395	0.474	0.170	0.718	0.645	0.645	0.762	0.777	0.056	0.632	0.426	0.092
Bi	0.629	0.715	1.029	1.181	1.321	1.403	1.456	1.461	1.516	1.550	1.536	1.644	1.735	1.889
As	2.705	3.071	2.548	2.288	2.389	1.856	1.827	1.807	1.697	1.627	2.279	1.650	1.774	1.899
X-site	4.010	3.981	3.972	3.943	3.880	3.977	3.927	3.913	3.975	3.955	3.872	3.927	3.935	3.880
S	13.271	13.030	13.188	13.191	13.894	13.311	13.295	13.521	13.231	13.112	13.790	13.578	13.365	13.692

Koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 16 kationtů; obsah Cu rozpočten do strukturálních pozic (Cu^A, Cu^B, Cu^C) za předpokladu ideálního obsazení A pozice 6 apfu a B pozice 4 apfu.

Tabulka 3 Reprezentativní chemické analýzy Bi-bohatého tennantitu a Bi-bohatého tetraedritu z Jáchymova (nábrus D103, Národní muzeum P1N38896) v hm. % a příslušné hodnoty apfu

	Bi-bohatý tetraedrit				Bi-bohatý tennantit									
	mean	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ag	0.09	0.08	0.09	0.10	0.09	0.06	0.05	0.12	0.06	0.10	0.10	0.07	0.10	0.27
Fe	1.54	1.54	1.52	1.56	1.91	4.92	4.96	2.22	0.22	4.07	0.28	4.32	4.23	1.58
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.07	0.29	0.06	1.02	0.23	0.69	0.53	1.65
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
In	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	5.59	5.62	5.55	5.60	6.24	2.12	2.16	5.15	7.30	2.59	7.19	2.43	2.42	5.46
Cu	36.65	36.61	36.70	36.65	42.05	40.11	40.21	39.06	37.50	38.14	37.45	38.55	38.60	36.70
Sb	13.45	13.42	13.29	13.63	5.48	8.05	7.71	1.67	5.42	5.71	4.62	4.06	4.63	2.27
Bi	13.18	13.23	13.21	13.11	4.22	6.51	8.34	11.47	14.23	15.27	15.41	15.55	15.41	16.30
As	4.15	4.19	4.17	4.09	14.62	11.40	10.96	12.94	9.45	8.29	9.03	9.41	8.95	9.88
S	24.05	24.03	24.15	23.96	28.13	27.00	27.06	26.19	24.69	25.40	24.86	25.67	25.70	24.95
total	98.70	98.72	98.68	98.70	102.74	100.29	101.57	99.11	98.93	100.64	99.25	100.75	100.57	99.06
Ag	0.015	0.013	0.015	0.016	0.013	0.009	0.007	0.018	0.009	0.016	0.016	0.011	0.016	0.043
Cu ^A	5.985	5.987	5.985	5.984	5.987	5.991	5.993	5.982	5.991	5.984	5.984	5.989	5.984	5.957
A-site	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 ^B	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Fe	0.480	0.480	0.474	0.486	0.520	1.406	1.413	0.651	0.067	1.228	0.085	1.291	1.269	0.488
Pb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.005	0.023	0.005	0.083	0.019	0.056	0.043	0.137
Cd	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000
In	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn	1.488	1.495	1.479	1.489	1.451	0.518	0.526	1.290	1.890	0.668	1.874	0.621	0.620	1.440
Cu ^C	0.050	0.034	0.075	0.041	0.072	0.085	0.077	0.084	0.000	0.128	0.055	0.137	0.193	0.000
C-site	2.017	2.009	2.028	2.015	2.043	2.018	2.029	2.048	1.957	2.114	2.045	2.105	2.126	2.059
Sb	1.922	1.917	1.901	1.946	0.684	1.055	1.008	0.225	0.753	0.790	0.646	0.557	0.637	0.321
Bi	1.098	1.101	1.101	1.090	0.307	0.497	0.635	0.899	1.152	1.231	1.256	1.242	1.236	1.344
As	0.964	0.973	0.970	0.949	2.966	2.429	2.328	2.828	2.135	1.864	2.053	2.097	2.002	2.273
X-site	3.983	3.991	3.972	3.985	3.957	3.982	3.971	3.952	4.041	3.886	3.955	3.895	3.874	3.938
S	13.048	13.036	13.120	12.988	13.336	13.442	13.431	13.376	13.033	13.347	13.207	13.364	13.430	13.411

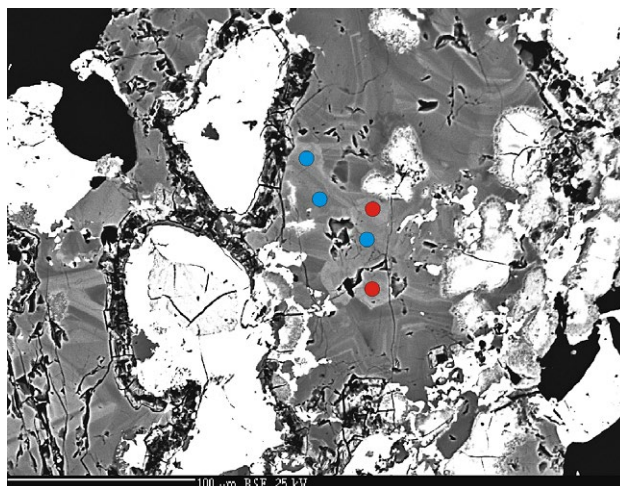
Koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 16 kationtů; obsah Cu rozpočten do strukturálních pozic (Cu^A, Cu^B, Cu^C) za předpokladu ideálního obsazení A pozice 6 apfu a B pozice 4 apfu.

Obsahy Pb a Cd v této pozici minerálů skupiny tetraedritu jsou neobvyklé; popsány ale již byly i vzácné Pb- (Maronia, Řecko - Vavelidis, Melfos 1997) a Cd-dominantní členy (Tyndrum, Skotsko - Patrick 1978; Evia Island, Řecko - Voudouris et al. 2011). Reprezentativní chemické analýzy a vypočtené koeficienty empirického vzorce Bi-bohatého tennantitu z Jáchymova jsou uvedeny v tabulce 2 a 3.

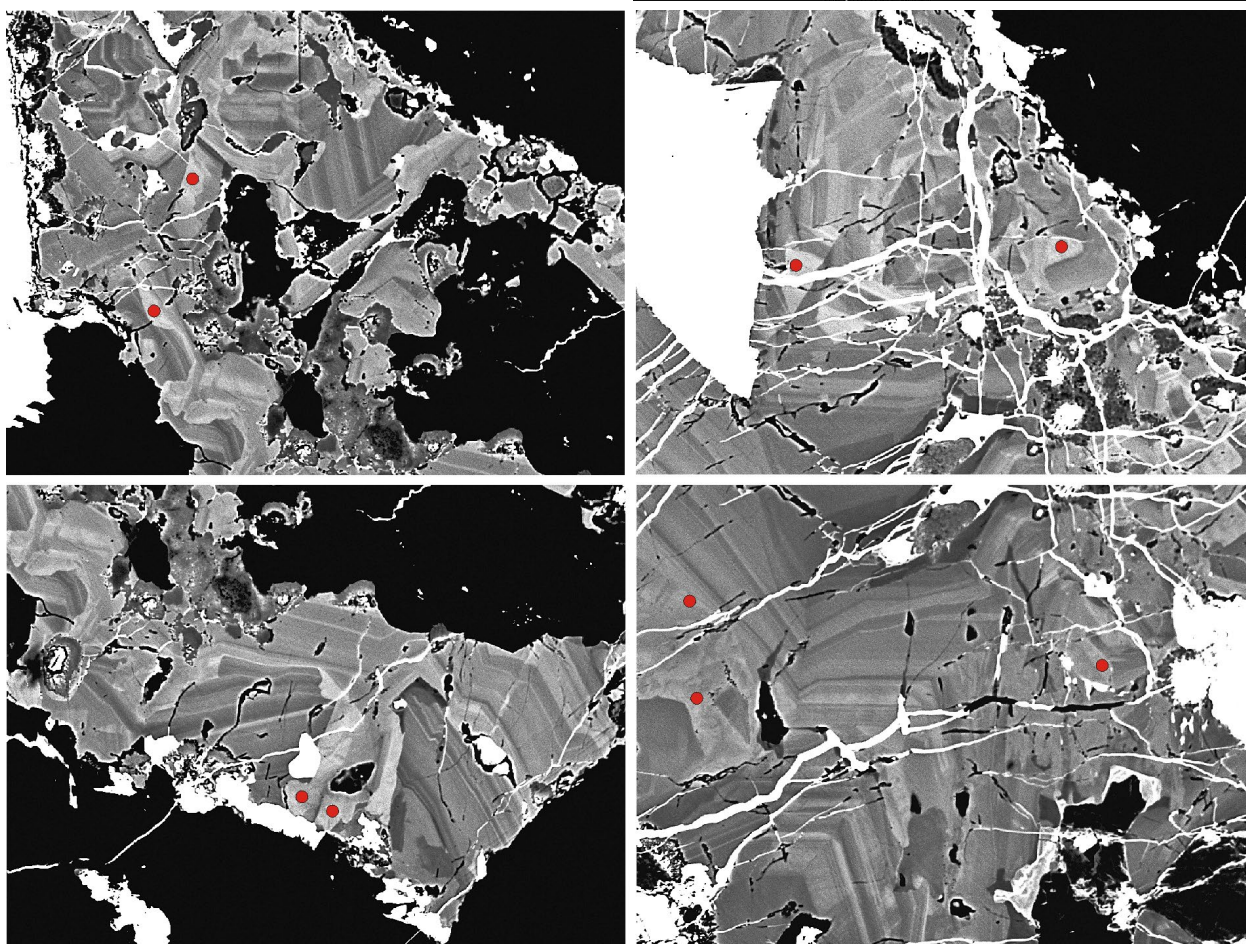
Jen zcela ojediněle byl v nábruse D103 zjištěn **Bi-bohatý tetraedrit**, který vytváří nepravidelnou zónu, cca 40 × 70 μm velkou, v Bi-bohatém tennantitu, ve které jsou vtroušeny drobné agregáty „annivitu“ (obr. 7). V jeho chemickém složení (tab. 3) převládá Sb (1.90 - 1.95 apfu) nad Bi (1.09 - 1.10 apfu) a As (0.95 - 0.97 apfu); je Zn-dominantní a odpovídá empirickému vzorci (průměrná analýza) $(\text{Cu}_{5.99}\text{Ag}_{0.01})_{\Sigma 6.00}(\text{Cu}_{4.05}\text{Zn}_{1.49}\text{Fe}_{0.48})_{\Sigma 6.02}(\text{Sb}_{1.92}\text{Bi}_{1.10}\text{As}_{0.96})_{\Sigma 3.98}\text{S}_{13.05}$.

Některé protáhlé i izometrické až nepravidelné zóny o velikosti do 50 μm ve studovaných agregátech Bi-bohatého tennantitu a tetraedritu (obr. 7 a 8) již odpovídají dosud nedefinovanému **Bi-dominantnímu členu** skupiny tetraedritu, v následujícím textu pro zjednodušení pou-

žíváme označení „**annivit**“ s tím, že se v současné době nejedná o platné jméno minerálu. V trigonálně pyramidální pozici X obecného vzorce „annivitu“ (obr. 4) převládá Bi s obsahy 1.57 - 1.89 apfu nad As (1.38 - 1.72) a Sb (0.25 - 0.77 apfu). V trigonální pozici A byly vedle převládající Cu (obr. 5) zjištěny pravidelné minoritní obsahy Ag v rozmezí 0.02 - 0.04 apfu. V tetraedrické C pozici vždy převládá Zn s obsahy 1.03 - 1.79 apfu (obr. 6) nad Fe (0.17 - 0.89 apfu); zjištěny byly i nepravidelné obsahy Pb nepřevyšující 0.07 apfu. Jednotlivé bodové analýzy „annivitu“ s odpovídajícími koeficienty empirických vzorců jsou podány v tabulkách 4 a 5.



Obr. 7 Nepravidelné agregáty Bi-bohatého tetraedritu (modře vyznačeny analyzované body) srůstající s „annivitem“ (červeně vyznačené analyzované body) uzavřené v zonálním Bi-bohatém tennantitu; bílý je bismut a další supergenní minerály Bi a U; Jáchymov, nábrus D103; BSE foto J. Sejkora. →



Obr. 8 Výrazně zonální agregáty Bi-bohatého tennantitu se zónami tvořenými „annivitem“ (červeně vyznačené analyzované body), bílý je bismut a další supergenní minerály Bi a U; Jáchymov, nábrus D31; BSE foto J. Sejkora, širší záběr všech obrázků je 265 μm.

Bi-chudé členy skupiny tetraedritu

Vzorek **D105** (Národní muzeum P1N 26557) je představen asi 1 mm velkým agregátem, v němž v BSE zonální tetraedrit/tennantit srůstá vrstevnatě až nepravidelně s chalkopyritem (obr. 9); v chalkopyritu byly pozorovány ojedinělé inkluze kasiteritu a galenitu. Analyzované členy skupiny tetraedritu jsou zcela bez obsahu Bi a podle poměru As/Sb (obr. 4) jsou zde přítomny jak **As-bohatý tetraedrit** (0.61 - 1.85 *apfu* As), tak i **Sb-bohatý tennantit** (1.03 - 1.14 *apfu* Sb). Oba členy mají jen minimální obsahy Ag do 0.13 *apfu* (obr. 10) a jsou Zn-dominantní

vány ojedinělé inkluze kasiteritu a galenitu. Analyzované členy skupiny tetraedritu jsou zcela bez obsahu Bi a podle poměru As/Sb (obr. 4) jsou zde přítomny jak **As-bohatý tetraedrit** (0.61 - 1.85 *apfu* As), tak i **Sb-bohatý tennantit** (1.03 - 1.14 *apfu* Sb). Oba členy mají jen minimální obsahy Ag do 0.13 *apfu* (obr. 10) a jsou Zn-dominantní

Tabulka 4 Chemické analýzy „annivitu“ z Jáchymova (nábrus D31, Národní muzeum P1N38896) v hm. % a příslušné hodnoty *apfu*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ag	0.16	0.19	0.17	0.20	0.25	0.24	0.23	0.19	0.27	0.21	0.21	0.26	0.18	0.21
Fe	1.25	2.40	0.70	1.58	2.02	2.12	2.60	2.32	2.34	2.56	2.79	2.79	0.79	2.61
Pb	0.07	0.00	0.00	0.06	0.11	0.20	0.09	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00
Zn	5.87	4.48	6.48	5.40	4.80	4.75	4.12	4.41	4.53	4.06	3.81	3.83	6.29	4.26
Cu	36.28	36.22	36.12	35.80	35.89	36.00	36.35	36.20	36.46	35.94	36.41	36.19	35.64	37.09
Sb	5.31	5.00	5.16	4.69	5.15	5.26	4.89	5.10	5.24	4.90	3.01	2.78	2.74	1.76
Bi	18.55	19.36	19.18	19.32	19.38	19.60	19.50	20.41	20.74	20.90	21.27	21.30	21.75	22.67
As	6.63	6.85	6.50	6.85	6.55	6.43	6.56	6.10	6.16	6.06	7.31	7.22	6.87	7.27
S	24.25	23.64	24.03	23.82	24.06	24.04	24.22	24.21	24.88	23.99	24.08	24.06	24.03	25.57
total	98.37	98.14	98.34	97.72	98.21	98.64	98.56	99.01	100.62	98.62	98.89	98.43	98.43	101.44
Ag	0.026	0.031	0.028	0.033	0.041	0.039	0.038	0.031	0.044	0.035	0.034	0.043	0.030	0.034
Cu ^A	5.974	5.969	5.972	5.967	5.959	5.961	5.962	5.969	5.966	5.965	5.966	5.957	5.970	5.966
A-site	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 ^B	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Fe	0.395	0.757	0.222	0.504	0.643	0.673	0.823	0.737	0.735	0.818	0.881	0.887	0.254	0.815
Pb	0.006	0.000	0.000	0.005	0.009	0.017	0.008	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000
Zn	1.586	1.207	1.757	1.471	1.306	1.287	1.114	1.197	1.216	1.108	1.028	1.040	1.726	1.136
Cu ^C	0.085	0.039	0.076	0.029	0.044	0.036	0.111	0.108	0.066	0.093	0.105	0.107	0.062	0.179
C-site	2.072	2.003	2.056	2.008	2.003	2.013	2.055	2.048	2.017	2.019	2.014	2.033	2.054	2.130
Sb	0.770	0.723	0.751	0.686	0.752	0.765	0.710	0.743	0.755	0.718	0.436	0.405	0.404	0.252
Bi	1.568	1.632	1.627	1.646	1.649	1.662	1.649	1.733	1.741	1.785	1.795	1.809	1.867	1.892
As	1.563	1.610	1.538	1.628	1.555	1.520	1.548	1.445	1.443	1.443	1.721	1.710	1.645	1.692
X-site	3.901	3.965	3.916	3.959	3.956	3.947	3.907	3.921	3.939	3.946	3.952	3.924	3.916	3.836
S	13.359	12.986	13.286	13.224	13.345	13.282	13.351	13.397	13.614	13.351	13.245	13.316	13.445	13.907

Koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 16 kationtů; obsah Cu rozpočten do strukturálních pozic (Cu^A, Cu^B, Cu^C) za předpokladu ideálního obsazení A pozice 6 *apfu* a B pozice 4 *apfu*.

Tabulka 5 Chemické analýzy „annivitu“ z Jáchymova (nábrus D103, Národní muzeum P1N38896) v hm. % a příslušné hodnoty *apfu*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag	0.11	0.11	0.14	0.16	0.18	0.18	0.22	0.16	0.18
Fe	0.66	0.59	0.71	0.61	0.65	2.40	0.73	0.54	0.51
Pb	0.46	0.30	0.18	0.27	0.25	0.10	0.83	0.38	0.61
Zn	6.46	6.58	6.78	6.42	6.48	4.84	6.33	6.47	6.43
Cu	35.68	36.06	37.37	35.60	35.63	37.63	35.13	35.27	35.03
Sb	5.20	4.58	4.26	4.45	4.55	2.33	4.09	4.35	4.56
Bi	19.42	19.88	20.70	20.40	20.36	20.61	21.54	21.76	21.66
As	6.44	6.83	6.84	6.55	6.46	7.36	6.10	5.94	5.71
S	23.86	23.96	25.16	23.61	23.85	25.27	23.60	23.56	23.49
total	98.29	98.89	102.14	98.07	98.41	100.72	98.57	98.43	98.18
Ag	0.018	0.018	0.022	0.027	0.030	0.029	0.037	0.027	0.030
Cu ^A	5.982	5.982	5.978	5.973	5.970	5.971	5.963	5.973	5.970
A-site	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Cu ^B	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Fe	0.211	0.187	0.218	0.196	0.208	0.741	0.236	0.175	0.166
Pb	0.040	0.026	0.015	0.023	0.022	0.008	0.072	0.033	0.053
Zn	1.763	1.779	1.781	1.758	1.771	1.277	1.747	1.787	1.787
Cu ^C	0.016	0.032	0.096	0.029	0.020	0.217	0.000	0.022	0.015
C-site	2.029	2.024	2.109	2.006	2.021	2.244	2.055	2.016	2.022
Sb	0.762	0.665	0.601	0.654	0.668	0.330	0.606	0.645	0.680
Bi	1.658	1.682	1.700	1.748	1.741	1.702	1.860	1.880	1.883
As	1.533	1.612	1.567	1.565	1.541	1.695	1.469	1.432	1.385
X-site	3.953	3.958	3.868	3.967	3.950	3.727	3.934	3.957	3.948
S	13.274	13.210	13.471	13.182	13.292	13.598	13.279	13.267	13.310

Koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 16 kationtů; obsah Cu rozpočten do strukturálních pozic (Cu^A, Cu^B, Cu^C) za předpokladu ideálního obsazení A pozice 6 *apfu* a B pozice 4 *apfu*.

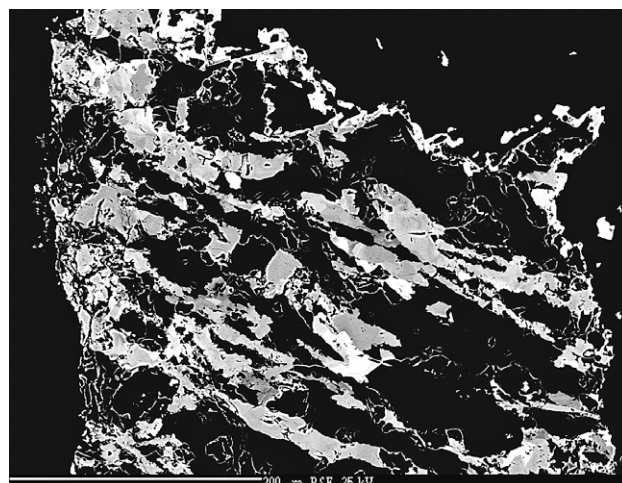
s 1.45 - 1.49 *apfu* Zn (obr. 11). Jednotlivé bodové chemické analýzy s odpovídajícími koeficienty empirických vzorců jsou uvedeny v tabulce 6.

Vzorek **D106** (Národní muzeum P1N 4854); vzorek tetraedritu byl ve sbírce Národního muzea původně označen jako *falkenhaynit*, který popsal z Jáchymova jako nový minerální druh Scharizer (1890). Falkenhaynit je dnes neplatné synonymum tetraedritu; analýza zveřejněná Scharizerem (1890) odpovídá As-bohatému tetraedritu. Analyzovaný vzorek se v BSE jevil jako masivní agregát bez známek zřetelné zonality a je tvořen Fe-dominantním (obr. 11) **As-bohatým tetraedritem** (0.93 - 1.12 *apfu* As) s minoritním obsahem Ag a jen nepatrným obsahem Bi nepřevyšujícím 0.01 *apfu* (tab. 6). Z průměru šesti analýz byl vypočten empirický vzorec $(\text{Cu}_{5.90}\text{Ag}_{0.10})_{\Sigma 6.00} [\text{Cu}_{4.00}(\text{Fe}_{1.38}\text{Zn}_{0.44}\text{Cu}_{0.21})_{\Sigma 2.03}\text{Sb}_{2.03}\text{As}_{2.60}]_{\Sigma 6.03} (\text{Sb}_{2.92}\text{As}_{1.04})_{\Sigma 3.96} \text{S}_{13.16}$

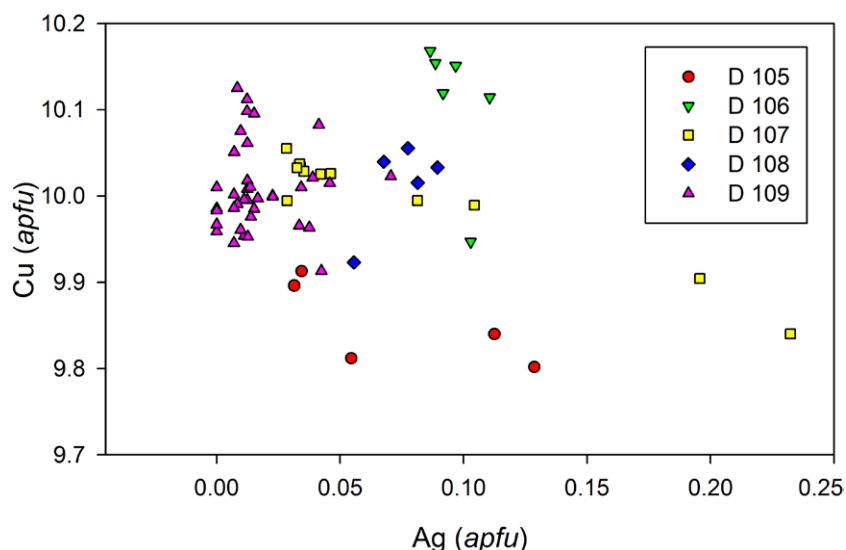
Vzorek **D107** (Národní muzeum P1N 86945) je podle BSE obrazu masivní, mírně zonální agregát s tenkým, výrazně světlejším lemem. Kromě toho je hlavní agregát proniknutý velmi tenkou, v BSE rovněž výrazně světlejší žilkou (obr. 12). Jak hlavní agregát, tak jeho lem a žilka uvnitř hlavní masy vykazují mírně odlišné složení, proto jsou charakterizovány samostatně. Převažující agregát je tvořen relativně Sb-chudým (do 0.52 *apfu*) **tennantitem** (obr. 4, 11) s minoritními obsahy Bi nepřevyšujícími 0.10 *apfu*. Tenký lem (v BSE světlejší) je představován As-bohatším **tetraedritem** (0.71 - 0.98 *apfu* As) bez obsahu Bi a minoritními obsahy Ag do 0.23 *apfu* (obr. 10). Tenká nepravidelná žilka (v BSE světlejší) pronikající hlavní agregát tennantitu je tvořena Sb-bohatším **tennantitem** (1.30 - 1.86 *apfu* Sb) bez obsahu Bi a zjištěnými obsahy Ag do 0.10 *apfu*. Všechny tři studované typy jsou zřetelně Fe-dominantní (obr. 11). Jednotlivé bodové chemické analýzy s odpovídajícími koeficienty empirických vzorců jsou uvedeny v tabulce 7.

Vzorek **D108** (Národní muzeum P1N 69226) je v BSE obraze relativně homogenní a podle výsledků chemických analýz je tvořen **As-bohatým tetraedritem** (1.43 - 1.79 *apfu* As) až **Sb-bohatým tennantitem** (1.55 *apfu* Sb) s nepravidelnými obsahy Bi nepřevyšujícími 0.01 *apfu*. Je vždy Zn-dominantní (1.37 - 1.58 *apfu* Zn) s minoritními obsahy Hg (do 0.06 *apfu*) a Ag (do 0.09 *apfu*). Jednotlivé bodové chemické analýzy s odpovídajícími koeficienty empirických vzorců jsou uvedeny v tabulce 8.

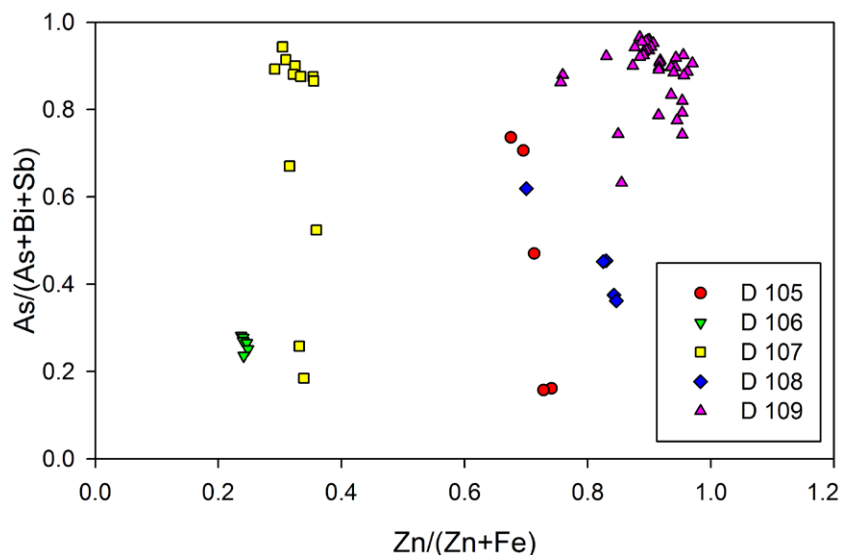
Vzorek **D109** (Národní muzeum P1N 69287) je představován podle BSE jen mírně a nepravidelně zonálním agregátem, lokálně s hojnými inkluzemi galenitu a ryzího Bi o velikostech 1 - 15 μm . Podle výsledků chemických analýz (tab. 9) je tvořen **tennantitem** s obsahy Sb v rozmezí 0.14 - 1.45 *apfu* (obr. 4 a 11); lokál-



Obr. 9 BSE obraz analyzovaného vzorku D105 z Jáchymova; šedé zóny odpovídají tetraedritu, černé chalkopyritu. BSE foto Z. Dolníček.



Obr. 10 Graf obsahů Ag a Cu (*apfu*) v minerálech skupiny tetraedritu z dalších studovaných vzorků z Jáchymova.



Obr. 11 Graf obsahů poměrů Zn/(Zn+Fe) vs. As/(As+Bi+Sb) (*apfu*) v minerálech skupiny tetraedritu z dalších studovaných vzorků z Jáchymova.

Tabulka 6 Chemické analýzy minerálů skupiny tetraedritu z Jáchymova (nábrusy D105 a D106) v hm. % a příslušné hodnoty apfu

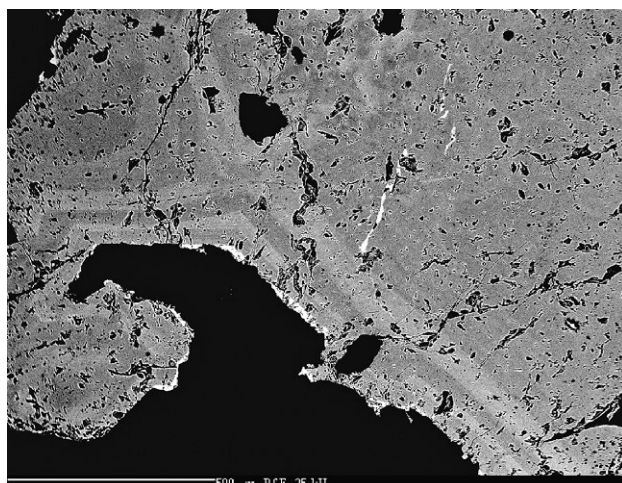
	D105					D106					
	tennantit		tetraedrit			tetraedrit					
Ag	0.23	0.25	0.38	0.76	0.88	0.61	0.59	0.62	0.75	0.66	0.70
Fe	2.59	2.48	2.29	1.93	2.10	4.87	4.75	4.76	4.76	4.74	5.35
Pb	0.11	0.08	0.06	0.13	0.06	0.08	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	6.29	6.63	6.67	6.46	6.59	1.77	1.76	1.76	1.82	1.83	1.99
Cu	41.87	42.48	40.56	39.17	39.49	41.23	40.89	40.32	40.42	40.79	39.88
Sb	8.39	9.37	16.48	25.00	25.25	22.15	22.09	22.24	22.31	22.81	23.17
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.07	0.11	0.11	0.00
As	14.41	13.86	9.01	2.96	2.90	5.34	5.21	5.08	4.97	4.72	4.41
S	27.93	28.26	26.71	25.99	26.08	26.85	27.04	26.48	26.51	26.58	26.54
total	101.80	103.41	102.17	102.40	103.35	102.90	102.46	101.33	101.65	102.24	102.04
Ag	0.031	0.034	0.054	0.112	0.129	0.089	0.086	0.092	0.111	0.097	0.103
Cu ^A	5.969	5.966	5.946	5.888	5.871	5.911	5.914	5.908	5.889	5.903	5.897
A-site	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Cu ^B	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Fe	0.696	0.659	0.631	0.552	0.593	1.365	1.344	1.359	1.355	1.342	1.518
Pb	0.008	0.006	0.004	0.010	0.005	0.006	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn	1.446	1.504	1.569	1.578	1.590	0.424	0.425	0.429	0.443	0.443	0.483
Cu ^C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.243	0.255	0.211	0.225	0.248	0.050
C-site	2.149	2.168	2.205	2.139	2.188	2.037	2.029	2.000	2.023	2.033	2.051
Sb	1.035	1.141	2.081	3.278	3.271	2.847	2.867	2.913	2.914	2.963	3.016
As	2.888	2.743	1.848	0.631	0.611	1.115	1.099	1.081	1.055	0.996	0.933
Bi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005	0.008	0.008	0.000
X-site	3.923	3.884	3.929	3.909	3.882	3.963	3.971	4.000	3.977	3.967	3.949
S	13.084	13.070	12.807	12.939	12.829	13.105	13.326	13.171	13.147	13.109	13.119

Koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 16 kationtů; obsah Cu rozpočten do strukturních pozic (Cu^A, Cu^B, Cu^C) za předpokladu ideálního obsazení A pozice 6 apfu a B pozice 4 apfu.

Tabulka 7 Chemické analýzy minerálů skupiny tetraedritu z Jáchymova (nábrus D107, Národní muzeum P1N 86945) v hm. % a příslušné hodnoty apfu

	hlavní agregát								žilka		lem	
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	1	2
Ag	0.21	0.25	0.21	0.25	0.26	0.34	0.24	0.31	0.58	0.74	1.33	1.58
Fe	5.21	5.31	5.15	5.00	5.10	4.82	5.08	4.86	5.01	4.68	4.89	4.85
Pb	0.08	0.00	0.09	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.08
In	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Co	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	2.67	2.56	2.70	2.81	2.83	3.09	2.98	3.13	2.70	3.07	2.84	2.91
Cu	43.29	43.36	43.52	43.09	43.43	43.48	43.56	43.49	41.87	41.74	39.66	39.42
Sb	1.87	2.61	2.80	3.23	3.20	3.81	3.97	4.29	10.40	14.92	21.76	24.01
Bi	0.00	1.54	0.00	0.06	1.24	0.52	0.16	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00
As	19.26	17.98	18.37	18.04	17.81	17.77	17.65	17.51	13.01	10.12	4.65	3.35
S	29.18	29.21	29.18	29.12	29.47	29.26	29.21	29.28	28.24	27.99	27.54	26.86
total	101.82	102.87	102.07	101.68	103.34	103.09	102.85	103.11	101.88	103.26	102.67	103.06
Ag	0.029	0.034	0.028	0.034	0.035	0.046	0.033	0.042	0.081	0.104	0.196	0.232
Cu ^A	5.971	5.966	5.972	5.966	5.965	5.954	5.967	5.958	5.919	5.896	5.804	5.768
A-site	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 ^B	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Fe	1.369	1.398	1.353	1.325	1.340	1.265	1.331	1.275	1.360	1.274	1.390	1.378
Pb	0.006	0.000	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.006
In	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Co	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn	0.599	0.576	0.607	0.637	0.635	0.693	0.667	0.701	0.628	0.714	0.689	0.706
Cu ^C	0.023	0.067	0.083	0.071	0.064	0.072	0.065	0.067	0.076	0.094	0.100	0.073
C-site	2.003	2.048	2.061	2.038	2.039	2.030	2.064	2.043	2.069	2.082	2.179	2.162
Sb	0.225	0.315	0.338	0.393	0.386	0.459	0.477	0.516	1.296	1.864	2.836	3.128
Bi	0.000	0.108	0.000	0.004	0.087	0.036	0.011	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000
As	3.772	3.529	3.601	3.564	3.488	3.475	3.448	3.424	2.635	2.054	0.985	0.709
X-site	3.997	3.952	3.939	3.962	3.961	3.970	3.936	3.957	3.931	3.918	3.821	3.838
S	13.352	13.395	13.359	13.441	13.486	13.372	13.333	13.377	13.363	13.276	13.630	13.288

Koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 16 kationtů; obsah Cu rozpočten do strukturních pozic (Cu^A, Cu^B, Cu^C) za předpokladu ideálního obsazení A pozice 6 apfu a B pozice 4 apfu.



Obr. 12 Převažující mírně zonální Sb-chudý tennantit je lemován bílým tetradritem, bílá žilka pronikající šedou masou je Sb-bohatší tennantit; Jáchymov - důl Bratrství, vzorek D107; BSE foto Z. Dolníček.

Koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 16 kationtů; obsah Cu rozpočten do strukturálních pozic (Cu^A, Cu^B, Cu^C) za předpokladu ideálního obsazení A pozice 6 *apfu* a B pozice 4 *apfu*. →

Tabulka 8 Chemické analýzy minerálů skupiny tetradritu z Jáchymova (nábrus D108 Národní muzeum P1N 69226) v hm. % a příslušné hodnoty *apfu*

	1	2	3	4	5
Ag	0.40	0.54	0.47	0.56	0.61
Fe	2.17	1.14	1.17	1.05	1.01
Pb	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
Zn	5.93	6.51	6.47	6.59	6.53
Hg	0.00	0.72	0.76	0.59	0.65
Cu	41.65	41.30	41.08	40.59	40.31
Sb	12.44	17.00	17.04	19.27	19.38
Bi	0.00	0.00	0.00	0.10	0.12
As	12.43	8.69	8.64	7.13	6.79
S	27.61	27.28	27.05	26.89	26.57
total	102.63	103.18	102.77	102.77	101.97
Ag	0.056	0.077	0.068	0.081	0.089
Cu ^A	5.944	5.923	5.932	5.919	5.911
A-site	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Cu ^B	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Fe	0.588	0.316	0.325	0.295	0.286
Pb	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000
Zn	1.373	1.541	1.537	1.581	1.580
Hg	0.000	0.056	0.059	0.046	0.051
Cu ^C	0.000	0.133	0.107	0.097	0.123
C-site	1.961	2.045	2.035	2.019	2.040
Sb	1.547	2.160	2.174	2.482	2.518
Bi	0.000	0.000	0.000	0.008	0.009
As	2.513	1.795	1.791	1.492	1.433
X-site	4.060	3.955	3.965	3.981	3.960
S	13.037	13.163	13.102	13.150	13.106

Tabulka 9 Reprezentativní chemické analýzy minerálů skupiny tetradritu z Jáchymova (nábrus D109, Národní muzeum P1N 69287) v hm. % a příslušné hodnoty *apfu*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ag	0.32	0.29	0.16	0.49	0.27	0.28	0.00	0.09	0.11	0.09	0.08	0.08	0.11	0.09
Fe	1.02	0.32	0.61	0.45	0.32	0.22	0.47	1.18	0.82	0.77	0.32	0.72	0.77	0.81
Pb	0.41	0.23	0.38	0.17	0.22	0.20	0.28	1.49	0.73	0.72	0.21	0.73	0.80	0.61
Cd	0.11	0.08	0.00	0.11	0.00	0.06	0.18	0.17	0.44	0.44	0.10	0.28	0.32	0.23
In	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
Co	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	7.03	7.70	7.68	7.66	8.13	8.32	7.94	6.76	7.37	7.35	8.00	7.53	7.13	7.26
Cu	41.24	39.97	41.54	41.04	42.22	42.51	42.44	41.97	42.54	42.64	42.58	42.41	43.09	43.15
Sb	11.47	3.78	6.41	2.48	3.99	3.03	3.43	2.53	2.59	2.47	2.50	2.13	1.46	1.13
Bi	0.00	7.38	0.56	4.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	12.13	14.34	15.31	15.84	17.69	17.90	18.29	18.43	18.44	18.61	18.78	18.96	19.03	19.49
S	27.38	26.43	27.45	27.06	27.88	28.27	27.92	27.59	27.76	28.06	28.15	27.93	27.95	28.11
total	101.11	100.57	100.15	99.85	100.72	100.79	100.95	100.26	100.80	101.15	100.78	100.77	100.66	100.88
Ag	0.046	0.042	0.023	0.070	0.038	0.039	0.000	0.013	0.015	0.012	0.011	0.011	0.015	0.012
Cu ^A	5.954	5.958	5.977	5.930	5.962	5.961	6.000	5.987	5.985	5.988	5.989	5.989	5.985	5.988
A-site	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 ^B	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Fe	0.282	0.090	0.167	0.125	0.086	0.059	0.125	0.318	0.219	0.205	0.085	0.192	0.205	0.215
Pb	0.031	0.017	0.028	0.013	0.016	0.014	0.020	0.108	0.053	0.052	0.015	0.053	0.057	0.044
Cd	0.015	0.011	0.000	0.015	0.000	0.008	0.024	0.023	0.058	0.058	0.013	0.037	0.042	0.030
In	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000
Co	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn	1.660	1.856	1.797	1.819	1.865	1.907	1.811	1.558	1.682	1.675	1.826	1.718	1.624	1.646
Cu ^C	0.061	0.000	0.023	0.093	0.001	0.060	0.000	0.000	0.000	0.008	0.007	0.000	0.111	0.074
C-site	2.048	1.982	2.027	2.065	1.968	2.048	1.981	2.014	2.012	1.998	1.954	2.000	2.040	2.008
Sb	1.454	0.489	0.805	0.316	0.491	0.373	0.420	0.313	0.317	0.302	0.306	0.261	0.179	0.138
Bi	0.000	0.557	0.041	0.338	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
As	2.498	3.016	3.126	3.281	3.541	3.579	3.640	3.707	3.671	3.700	3.739	3.774	3.782	3.854
X-site	3.952	4.062	3.973	3.935	4.032	3.952	4.060	4.020	3.988	4.002	4.046	4.035	3.960	3.992
S	13.177	12.991	13.097	13.097	13.039	13.208	12.984	12.967	12.913	13.036	13.097	12.991	12.978	12.990

Koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 16 kationtů; obsah Cu rozpočten do strukturálních pozic (Cu^A, Cu^B, Cu^C) za předpokladu ideálního obsazení A pozice 6 *apfu* a B pozice 4 *apfu*.

ně zjištěné zvýšené obsahy Bi (0.34 a 0.56 *apfu* ve dvou bodových analýzách) mohou být způsobeny ovlivněním analýzy inkluzemi minerálů Bi pod analyzovanou rovinou vzorku. V trigonální pozici A byly vedle převládající Cu (obr. 10) zjištěny jen minoritní obsahy Ag nepřevyšující 0.07 *apfu*. V tetraedrické C pozici (obr. 11) je vždy dominantní Zn (1.44 - 1.91 *apfu*), vedle Fe zde ale byly zjištěny i pravidelné minoritní obsahy Pb (do 0.11 *apfu*) a Cd (do 0.06 *apfu*) a ojediněle i In a Co do 0.01 *apfu*.

Závěr

Šest studovaných vzorků minerálů ze skupiny tetraedritu z jáchymovského rudního revíru se vyznačuje zejména výrazně proměnlivým zastoupením As, Sb a Bi v trigonálně pyramidální pozici krystalové struktury. Nejzajímavější je vzorek z dolu Eliáš v žilném uzlu Rovnost (Národní muzeum P1N 38896), kde vedle převládajícího Bi-bohatého tennantitu a ojedinělého Bi-bohatého tetraedritu byly zjištěny i Bi-dominantní zóny odpovídající dosud nedefinovanému novému členu skupiny tetraedritu. Minimální rozměry zjištěných zón/agregátů (do 50 μm) a zejména komplikované srůsty s Bi-bohatým tennantitem (a lokálně i tetraedritem) neumožňují pro tuto novou minerální fázi získat nezbytná strukturální data.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za spolupráci při laboratorním výzkumu Zdeňku Dolníčkovi z Národního muzea v Praze. Práce na článku byla finančně podpořena Ministerstvem kultury ČR v rámci institucionálního financování výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 - cíl DKRVO 2018/01).

Literatura

- BORTNIKOV NS, KUDRYAVTSEV AS, TRONEVA NV (1986) Bismuth-containing tetrahedrite-tennantite ores from Tary-Ekan deposit (East Karamazar, Central Asia). *Mineral Žurn* 8(3): 61-64 (rusky)
- BRESKOVSKA V, TARKIAN M (1994) Compositional variations in Bi-bearing fahlores. *N Jb Mineral, Mh* 1994: 230-240
- FELLENBERG VON LR (1854) Über ein eigenthümliches Fahlerz aus dem Einfischthale im Kanton Wallis. *Mitt Natur Gesell Bern* 317-318: 57-59.
- FÖRSTER H-J, HUNGER H-J, GRIMM L (1986) Elektronenstrahlmikroanalytische Untersuchungen von Erzmineralen aus Zinn-Lagerstätte Altenberg (Erzgebirge, DDR). *Mitteilung: Fahlerze - Chemismus und Nomenklatur. Chem Erde* 47: 111-115
- GOŁĘBIOWSKA B, PIECZKA A, PARAFINIUK J (2012) Substitution of Bi for Sb and As in minerals of the tetrahedrite series from Rędziny, Lower Silesia, Southwestern Poland. *Can Mineral* 50: 267-279
- JANSA J, NOVÁK F (1990) Mineralogický rozbor vzorků z Cínovce. MS Geofond Praha, GF P 111596, 16 pp.
- KIEFT K, ERIKSSON G (1984) Regional zoning and metamorphic evolution of the Vindfall Pb-Zn ore, east central Sweden. *Geol Fören Stockholm Förh* 106: 305-317
- KLÜNDER MH, KARUP-MØLLER S, MAKOVICKY E (2003) Exploratory studies on substitutions in the tetrahedrite-tennantite solid solution series. III. The solubility of bismuth in tetrahedrite-tennantite containing iron and zinc. *N Jb Mineral, Mh* 153-175
- MAKOVICKY E (2006) Crystal structures of sulfides and other chalcogenides. In: *Sulfide Mineralogy and Geochemistry, Reviews in Mineralogy* (ed. Vaughan DJ): 7-107. Mineralogical Society of America, Chantilly, USA
- MOÉLO Y, MAKOVICKY E, MOZGOVA N N, JAMBOR J L, COOK N, PRING A, PAAR W, NICKEL E H, GRAESER S, KARUP-MØLLER S, BALIĆ-ŽUNIĆ T, MUMME W G, VURRO F, TOPA D, BINDI L, BENTE K, SHIMIZU M (2008) Sulfosalt Systematics: A Review Report of the Sulfosalt Sub-Committee of the IMA Commission on Ore Mineralogy. *Eur J Mineral* 20(1), 7-46
- OEN IS, KIEFT C (1976) Bismuth-rich tennantite and tetrahedrite in the Mangualde pegmatite, Viseu district, Portugal. *N Jb Mineral, Mh* 1976: 94-96.
- ONDROUŠ P, VESELOVSKÝ F, GABAŠOVÁ A, HLOUŠEK J, ŠREIN V, VAVŘÍN I, SKÁLA R, SEJKORA J, DRÁBEK M (2003) Primary minerals of the Jáchymov ore district. *J Czech Geol Soc* 48(3-4): 19-147
- PATRICK RAD (1978) Microprobe analysis of cadmium-rich tetrahedrites from Tyndrum, Perthshire, Scotland. *Mineral Mag* 42: 286-288
- POUCHOU J L, PICOIR F (1985) "PAP" ($\phi\rho Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (JT Armstrong, ed.). San Francisco Press, San Francisco: 104-106
- SERGEYEVA NE, SHATAGIN NN (1980) On the bismuth mineralization of the Yubileino - Shegirikhinskii deposit (Rudnyi Altai). *Dokl Akad Nauk SSSR* 252: 956-962 (rusky)
- SCHARIZER R (1890) Falkenhaynit, ein neues Mineral aus der Wittichenitgruppe. *Jb Geol Bundesanst* 40: 433-436
- SPIRIDONOV EM, CHVILEVA TN, BORODAEV YS, VINOGRADOVA RA, KONONOV OV (1986) The influence of bismuth on optical properties of fahlores. *Dokl Akad Nauk SSSR* 290: 1475-1478 (rusky)
- STAUDE S, MORDHORST T, NEUMANN R, PREBECK W, MARKL G (2010) Compositional variation of the tennantite-tetrahedrite solid-solution series in the Schwarzwald ore district (SW Germany): the role of mineralization processes and fluid source. *Mineral Mag* 74: 309-339
- VAVELIDIS M, MELFOS V (1997) Two plumbian tetrahedrite-tennantite occurrences from Maronia area (Thrace) and Milos island (Aegean sea), Greece. *Eur J Mineral* 9: 653-658
- VELEBIL D, MACEK I, SOUMAR J (2016) Příspěvek k poznání chemismu tetraedritů 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
- VINOGRADOVA RA, KONONOV OV, BORODAYEV YS, BOCHEK LI, DVORTSOVA SP (1985) Bismuth-bearing fahlores of the Tyrnyauz. *Zap Vses Mineral Obschest* 140: 340-344 (rusky)
- VOUDOURIS PC, SPRY PG, SAKELLARIS GA, MAVROGONATOS C (2011) A cervelleite-like mineral and other Ag-Cu-Te-S minerals [Ag_2CuTeS and $(\text{Ag,Cu})_2\text{TeS}$] in gold-bearing veins in metamorphic rocks of the Cycladic Blueschist Unit, Kallianou, Evia Island, Greece. *Mineral Petrol* 101: 169-183