

Výskyt selenidů na ložisku Běstvina v Železných horách (Česká republika)

The occurrence of selenides at the deposit Běstvina, Železné hory Mountains (Czech Republic)

JIŘÍ SEJKORA^{1)*} A PAVEL ŠKÁCHA¹⁾²⁾

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

*e-mail: jiri_sejkora@nm.cz

²⁾Hornické muzeum Příbram, náměstí Hynka Kličky 293, 261 01 Příbram VI

SEJKORA J., ŠKÁCHA P. (2015) Výskyt selenidů na ložisku Běstvina v Železných horách (Česká republika). *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha) 23, 2, 255-260. ISSN 1211-0329.*

Abstract

Mineral phases of clausthalite - galena solid solution were found at samples of siderite - fluorite - quartz gangue from the abandoned fluorite - baryte mine Běstvina, Železné hory Mountains (eastern Bohemia, Czech Republic). They occur as irregular grains up to 0.5 mm in size and tiny veins in coffinite and rarely uraninite. The solid solution series covers the range $PbSe_{1.00}$ to $Pb(S_{0.58}Se_{0.42})$ virtually free of gaps and two groups of Se-containing galena with 0.10 - 0.13 and 0.26 - 0.27 apfu Se, respectively. Younger sulphides (pyrite, sphalerite, chalcopyrite) were found in the association. Pyrite is As-rich with empirical formula $Fe_{1.00}(S_{1.98}As_{0.02})_{\Sigma 2.00}$. Sphalerite with minor contents Fe, Cd and Cu has empirical formula $(Zn_{0.98}Fe_{0.01}Cd_{0.01})_{\Sigma 1.00}S_{1.00}$. Chemical composition of chalcopyrite is possible to express as $Cu_{0.98}(Fe_{0.98}Zn_{0.02})_{\Sigma 1.00}S_{2.02}$.

Key words: selenide, clausthalite - galena solid solution, chemical composition, Běstvina, Czech Republic

Obdrženo: 30. 11. 2015; přijato 30. 12. 2015

Úvod

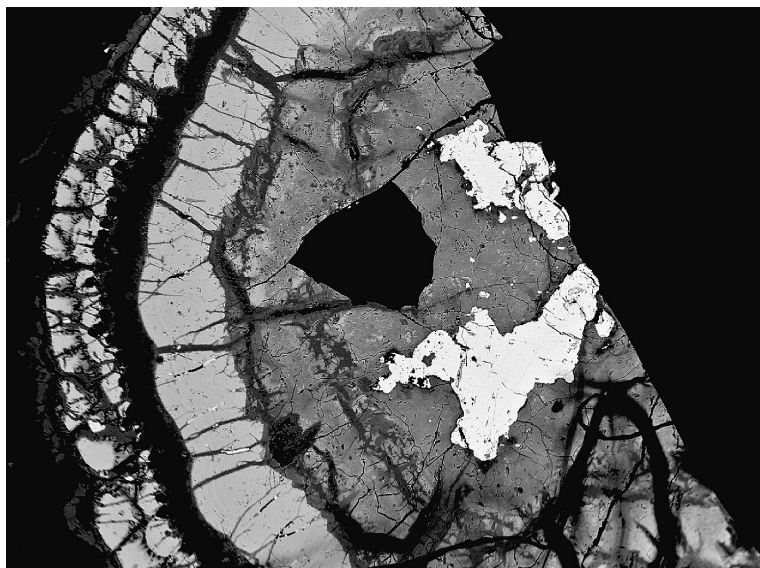
V rámci dlouhodobého komplexního mineralogického studia selenidů a sulfoselenidů z lokality České republiky, který byl v posledních letech podpořen projektem Grantové agentury ČR „Role selenu v hydrotermálním procesu vybraných uranových ložisek“ je náš výzkum orientován především na výskyt bohatých asociací těchto minerálních fází v oblasti příbramského uran - polymetalického revíru (Litochleb et al. 2004; Škácha, Sejkora 2007; Škácha et al. 2009, 2014), ložisek Předbořice, Oldřichov a Hlinné u Tachova (Litochleb et al. 1990), Ústaleč (Litochleb et al. 1999) a Zálesí (Sejkora et al. 2006, 2011, 2012, 2014a,b; Topa et al. 2010). Vedle zmíněných lokalit je náš výzkum zaměřen i na lokální výskyt selenidů vystupující jako doprovod jiných typů mineralizace, uvést je možno zejména lokality Jáchymov, Velká u Milevska, Těchonice, Běstvina (tato práce), Prachovice (Sejkora et al. 2013) nebo Moldava v Krušných horách (Sejkora, Škácha 2015).

Charakteristika lokality

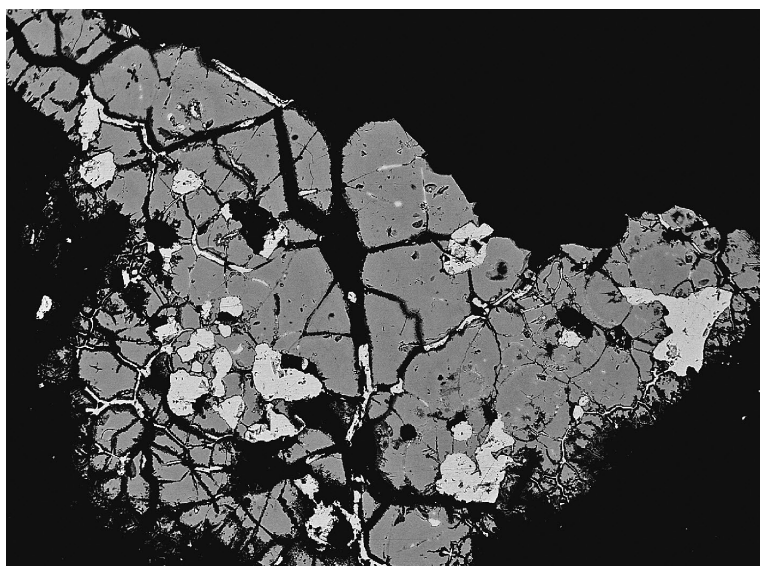
Fluorit - barytové ložisko Běstvina se nachází cca 750 m od východního okraje obce Běstvina a 500 m západně od osady Javorka v Železných horách (Česká republika). Důlní průzkum zde byl zahájen v roce 1971 ražbou štol, kterou prováděla průzkumná organizace Geindustria Jihlava. Po provedeném úspěšném průzkumu bylo v roce 1973 ložisko převzato k těžbě podnikem Rudné doly Příbram, který zahájil těžbu v roce 1974. Ložisko bylo otevřeno štolou a slepou svislou jámou o celkové hloubce

170 m vyraženou ze štolového horizontu. Celkově bylo ložisko rozfáráno na čtyřech horizontech, vyraženo zde bylo 8 658 m důlních chodeb a 1 508 m komínů; celková produkce fluoritové a fluorit - barytové rubaniny dosáhla 163.3 tisíce tun. Při těžbě byla na ložisku zjištěna i dřívě neznámá, nepříliš rozsáhlá štola, kterou lze zřejmě datovat do 15. až 17. století; účel této štoly není zcela jasný, pravděpodobně se mohlo jednat o prospekční práce na stříbrnosný galenit nebo Ag minerály, které se na ložisku v nepodstatné míře vyskytují. Vzhledem ke změně ekonomických podmínek po roce 1989 byla těžba na ložisku ukončena v roce 1994 a dnes je zde v provozu pouze čistírna vytékajících důlních vod (Fengl 1998a; www.diamo.cz/bestvina).

Ložisko Běstvina je představováno složitým komplexem fluoritových, fluorit - barytových a barytových žil v horninách pestré série podhořanského krystalinika v bezprostřední blízkosti železnohorského zlomu (Novák et al. 1994; Fengl 1998a); po genetické stránce je zařazováno k mezozoickým barytovým a baryt-fluoritovým mineralizacím s bílým barytem (Bernard, Pouba 1986). Na ložisku bylo zjištěno několik typů doprovodné sulfidické mineralizace (Novák et al. 1994). Prvním je vtroušená stratiformní polymetalická mineralizace v krystalických vápencích, představovaná pyritem, sfaleritem a galenitem. Druhým je sulfidická mineralizace fluorit-barytových žil zastoupená několika generacemi pyritu, galenitem, sfaleritem, markazitem, chalkopyritem, tetraedritem (Novák et al. 1994) a pyrargyritem (Fengl et al. 1995), vzácně zde byl zjištěn i výskyt witheritu (Fengl et al. 1987). Posledním typem je U-Se mineralizace vyvinutá ve fluo-



Obr. 1 Nepravidelné agregáty minerálů řady clausenthalit - galenit (bílé) zarůstající do coffinitu (tmavě šedý) obrůstaného mladším uraninitem (světle šedý); šířka obrázku 1400 μm , BSE foto J. Sejkora.



Obr. 2 Nepravidelné agregáty minerálů řady clausenthalit - galenit (světle šedé) zarůstající do coffinitu (tmavě šedý) nebo vytvářející drobné žilky mezi rozpraskanými agregáty coffinitu; šířka obrázku 700 μm , BSE foto J. Sejkora.

rit-barytových a fluorit-karbonátových žilách, reprezentovaná uraninitem, pyritem, markazitem a clausenthalitem (Novák et al. 1987, 1994; Fengl 1998b); podrobněji tato mineralizace dosud studována nebyla.

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 následné chemické analýzy připraveny standardním leštěním pomocí diamantové suspenze. Optické vlastnosti v odraženém světle byly studovány pomocí mikroskopu Nikon Eclipse ME600.

Chemické složení bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha, 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), CdTe (CdL α), Co (CoK α), CuFeS₂ (CuK α), FeS₂ (FeK α , SK α), HgTe (HgM α), Mn (MnK α), NaCl (ClK α), NiAs (AsL α), Ni (NiK α), PbS (PbM α), PbSe (SeL α), PbTe (TeL α), Sb₂S₃ (SbL α) 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). Celkem bylo změřeno přes 100 jednotlivých bodových analýz.

Charakteristika zjištěné mineralizace

Pro podrobné mineralogické studium byly k dispozici vzorky hydrotermální žiloviny, odebrané v období těžby dr. Milanem Fenglem z fluorit-barytové žíly č. 1 na překopu IV-TP-15 na nejhlubším patře (-150 m) ložiska Běstvína; dnes uložené jako součást doprovodné dokumentace mineralogické sbírky Národního muzea (Praha).

Tabulka 1 Chemické složení minerálů izomorfni řady clausenthalit - galenit z Běstvíny (hm. %)

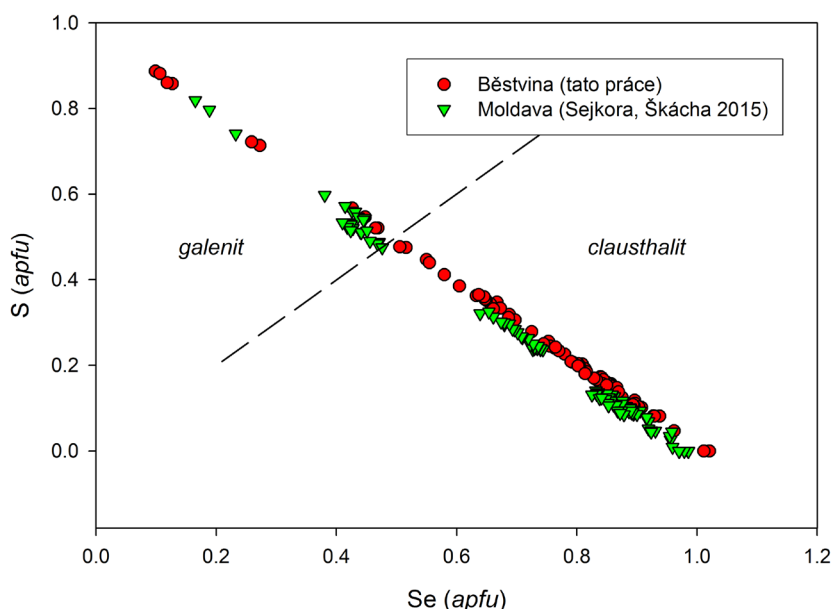
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
Pb	71.12	71.95	72.32	72.90	72.92	73.03	73.30	73.08	73.70	73.22	73.48	73.67	73.82	74.30	74.04
Tl	0.17	0.00	0.06	0.08	0.08	0.13	0.00	0.08	0.06	0.12	0.15	0.08	0.13	0.08	0.10
Bi	0.16	0.00	0.00	0.17	0.09	0.07	0.13	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.06	0.10	0.11
Se	27.85	26.60	25.88	25.31	24.94	24.98	24.50	24.51	23.96	23.91	23.64	23.37	23.09	22.96	22.84
S	0.00	0.52	0.92	1.18	1.19	1.23	1.58	1.70	1.76	1.92	1.79	1.89	2.13	2.07	2.28
total	99.31	99.07	99.18	99.63	99.21	99.44	99.50	99.37	99.48	99.25	99.05	99.02	99.22	99.51	99.36
Pb	0.984	0.992	0.989	0.991	0.998	0.996	0.991	0.984	0.996	0.986	0.998	1.000	0.995	1.003	0.994
Tl	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001
Bi	0.002	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
Σ	0.989	0.992	0.990	0.994	1.000	0.998	0.993	0.986	0.997	0.988	1.000	1.001	0.998	1.006	0.997
Se	1.011	0.962	0.929	0.903	0.895	0.893	0.869	0.866	0.849	0.845	0.843	0.833	0.817	0.813	0.805
S	0.000	0.047	0.081	0.103	0.105	0.108	0.138	0.148	0.154	0.167	0.157	0.166	0.185	0.181	0.198
Σ	1.011	1.008	1.010	1.006	1.000	1.002	1.007	1.014	1.003	1.012	1.000	0.999	1.002	0.994	1.003

C1 - C15: reprezentativní bodové analýzy clausenthalitu; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 2 *apfu*.

Tabulka 2 Chemické složení minerálů izomorfní řady claushtalit - galenit z Běstviny (hm. %)

	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
Pb	74.20	74.06	74.23	75.12	75.98	76.92	78.09	78.74	78.75	79.06	79.16	83.30	83.58	83.60
Tl	0.00	0.14	0.10	0.00	0.20	0.08	0.13	0.00	0.14	0.14	0.10	0.00	0.00	0.14
Bi	0.07	0.14	0.06	0.00	0.00	0.10	0.14	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00
Se	22.71	22.52	21.82	20.02	18.52	16.87	14.86	13.94	13.41	13.83	12.82	3.69	3.11	3.36
S	2.28	2.39	2.81	3.57	4.31	4.87	5.69	6.28	6.65	6.29	6.93	10.88	11.31	11.29
total	99.25	99.24	99.03	98.70	99.00	98.83	98.90	98.95	98.94	99.32	99.13	97.87	98.00	98.39
Pb	0.999	0.995	0.991	0.997	0.996	1.007	1.013	1.010	1.003	1.013	1.003	1.020	1.014	1.010
Tl	0.000	0.002	0.001	0.000	0.003	0.001	0.002	0.000	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.002
Bi	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Σ	1.000	0.999	0.993	0.997	0.998	1.009	1.017	1.010	1.005	1.015	1.006	1.020	1.014	1.012
Se	0.802	0.794	0.765	0.697	0.637	0.579	0.506	0.469	0.448	0.465	0.426	0.119	0.099	0.107
S	0.198	0.207	0.242	0.306	0.365	0.412	0.477	0.521	0.547	0.520	0.568	0.861	0.887	0.882
Σ	1.000	1.001	1.007	1.003	1.002	0.991	0.983	0.990	0.995	0.985	0.994	0.980	0.986	0.988

C16 - C22: reprezentativní bodové analýzy claushtalitu; G1 - G7 reprezentativní analýzy galenitu; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 2 *apfu*.



Obr. 3 Graf Se vs. S (*apfu*) pro minerály izomorfní řady claushtalit - galenit.

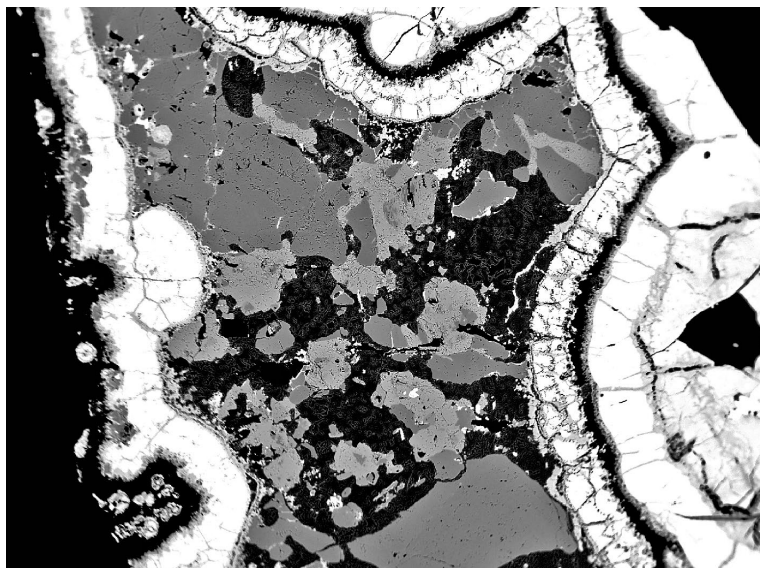
Vzorky jsou představovány převažujícím (více než 80 obj. %) hrubě zrnitým, temně fialovým až takřka černým fluoritem (*antozonit*), až několik cm velkými zrny pyritu, celistvým hnědávým sideritem (ojediněle v dutinách s drobnými krystaly), šedavým křemenem a polokulovitými až kulovitými agregáty uraninitu/coffinitu o průměru do 1 mm, které jsou vyvinuty na hranici mezi zrny pyritu a fluoritovou žilovinou. Minerály izomorfní řady claushtalit - galenit, stejně jako doprovodná sulfidická mineralizace (chalkopyrit, pyrit, sfalerit) jsou vázány na agregáty uraninitu/coffinitu nebo jejich nejbližší okolí.

Minerály izomorfní řady claushtalit - galenit

Minerály izomorfní řady claushtalit - galenit jsou vázány především na agregáty staršího coffinitu (s obsahem Pb), které jsou obrůstány mladšími kůrami uraninitu s minoritními obsahy Ca a Pb (obr. 1). Vytvářejí nepravidelná zrna o velikosti do 0.5 mm nebo výplně drobných žilek ve starším rozpraskaném coffinitu (obr. 2); jen vzácně byly pozorovány i jako drobné žilky v mladším uraninitu. Podle BSE obrazu a výsledků chemických analýz jsou jednotlivá zrna relativně homogenní; zjištěné variace poměru Se/S jsou odrazem rozdílného chemického složení jednotlivých koexistujících zrn.

Při studiu chemického složení minerálů řady claushtalit - galenit (tab. 1 - 2) bylo v kationtové části vzorce zjištěno minoritní zastoupení Tl (do 0.003 *apfu*) a Bi (do 0.002 *apfu*); obsahy Tl a Bi navzájem nekorelují a jejich obsahy nekorelují ani s poměrem Se/S. Minoritní obsahy Tl (v řádu ppm) jsou uváděny i v pyritech a sfaleritech z fluorit-barytových žil ložiska (Novák et al. 1994). V aniontové části vzorce byla zjištěna nepřetržitá izomorfie v rozsahu 1.02 až 0.42 *apfu* Se (obr. 3) a dvě skupiny Se-obsahujících galenitů s 0.10 - 0.13 a 0.26 - 0.27 *apfu* Se. Zjištěný rozsah SeS_{-1} izomorfie v minerálech řady claushtalit - galenit z Běstviny se blíží hodnotám uváděným pro fáze z ložiska Niederschlema - Alberoda (Förster 2005) a odlišuje se od výsledků analýz z ložiska Moldava v Krušných horách (Sejkora, Škacha 2015), kde bylo zjištěno několik oddělených skupin fází s vymezeným složením (obr. 3).

Neomezená izomorfní míšivost mezi claushtalitem a galenitem je uváděna z experimentálních studií fázových vztahů v tomto systému při teplotách nad 300 °C (Simpson 1964; Wright et al. 1965; Liu, Chang 1994). Extrapolace termodynamických dat pro koncové členy dovoluje předpokládat existenci úplného pevného roztoku PbSe - PbS do teplot cca 100 °C (Liu, Chang 1994; Förster 2005). Existence kompletní izomorfní série PbS



Obr. 4 Nepravidelné agregáty pyritu (tmavě šedé) obrůstané a částečně ztláčované sfaleritem (světle šedý), chalkopyrit (bílý) vytváří drobná zrna ve sfaleritu; velké agregáty s polokulovitým povrchem (bílé) náleží coffinitu a uraninitu; šířka obrázku 1200 μm , BSE foto J. Sejkora.

- PbSe v přírodních vzorcích byla poprvé popsána Colemanem (1959), který studoval materiál z uran-vanadových ložisek oblasti Colorado Plateau a nověji byla potvrzena výsledky výzkumu vzorků z ložisek Niederschlema - Alberoda (Förster 2005) a Moldava (Sejkora, Škácha 2015) v Krušných horách.

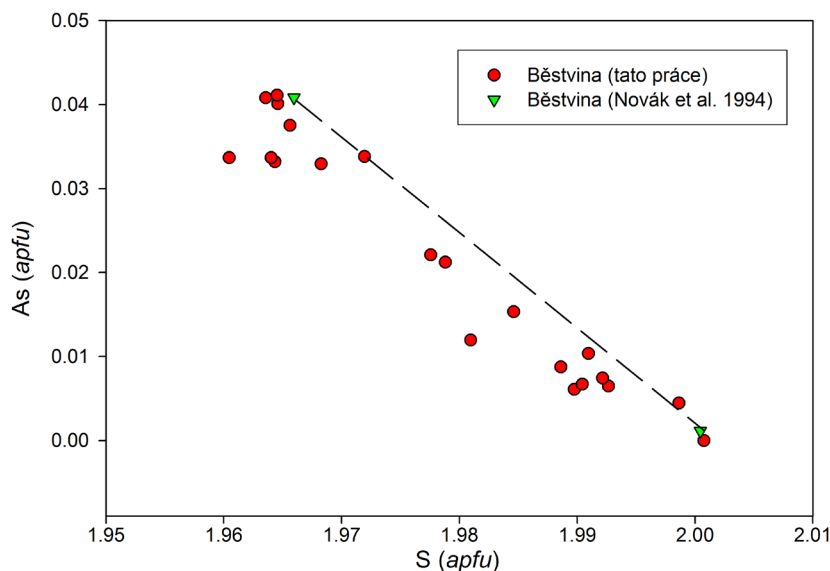
Doprovodná sulfidická mineralizace

Mladší doprovodná sulfidická mineralizace vystupuje mezi agregáty uraninitu. Nejstarší fází této mineralizace je **pyrit** vytvářející nepravidelně omezená zrna o velikosti do 1 mm, která jsou částečně ztláčována a obrůstána sfaleritem (obr. 4). V BSE obráze jsou zrna nezřetelně sektorově zonalní; zonalita je vyvolána zejména variabilním obsahem As. Při studiu chemického složení pyritu (tab. 3) byly zjištěny vedle minoritních obsahů Cu a Pb zvýšené obsahy As, které dosahují až 0.04 apfu (obr. 5); obdobné obsahy jsou uváděny i pro pyrit z fluorit-baryto-

Tabulka 3 Chemické složení pyritu z Běstvíny (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fe	45.79	46.32	46.03	46.23	46.14	46.12	45.98	45.89	45.85	45.53	45.56	45.22	45.46	45.35	45.23
Pb	0.12	0.11	0.16	0.10	0.13	0.18	0.12	0.15	0.08	0.07	0.17	0.08	0.14	0.06	0.24
Cu	0.05	0.00	0.07	0.00	0.15	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.13	0.00
As	1.31	0.00	0.28	0.38	0.40	0.42	0.64	0.94	1.36	2.02	2.03	2.07	2.30	2.46	2.51
Se	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
S	52.12	53.28	53.10	52.62	52.93	52.81	52.70	52.37	52.06	51.53	51.31	51.69	51.51	51.53	51.38
total	99.40	99.71	99.63	99.33	99.74	99.72	99.49	99.40	99.35	99.15	99.07	99.25	99.40	99.52	99.37
Fe	0.998	0.999	0.995	1.004	0.997	0.998	0.997	0.998	1.000	0.998	1.001	0.990	0.996	0.993	0.993
Pb	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001
Cu	0.001	0.000	0.001	0.000	0.003	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000
Σ	1.000	0.999	0.997	1.004	1.001	1.003	0.998	0.999	1.000	0.999	1.002	0.993	0.997	0.995	0.994
As	0.021	0.000	0.004	0.006	0.006	0.007	0.010	0.015	0.022	0.033	0.033	0.034	0.038	0.040	0.041
Se	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
S	1.979	2.001	1.999	1.990	1.993	1.990	1.991	1.985	1.978	1.968	1.964	1.972	1.966	1.965	1.965
Σ	2.000	2.001	2.003	1.996	1.999	1.997	2.002	2.001	2.000	2.001	1.998	2.007	2.003	2.005	2.006

Mean - průměr 20 bodových analýz; 1-14 reprezentativní bodové analýzy; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 3 apfu.



Obr. 5 Graf S vs. As (apfu) pro pyrit z Běstvíny; linií vyznačeno rozmezí obsahů uváděných Novákem et al. (1994).

vých žil ložiska (Novák et al. 1994). Obsahy selenu byly v pyritu zjištěny jen zcela ojediněle a nepřesahují hodnoty 0.001 *apfu*. Jeho empirický vzorec (průměr 20 bodových analýz) je možno na bázi 3 *apfu* vyjádřit jako $Fe_{1.00}(S_{1.98}As_{0.02})_{\Sigma 2.00}$.

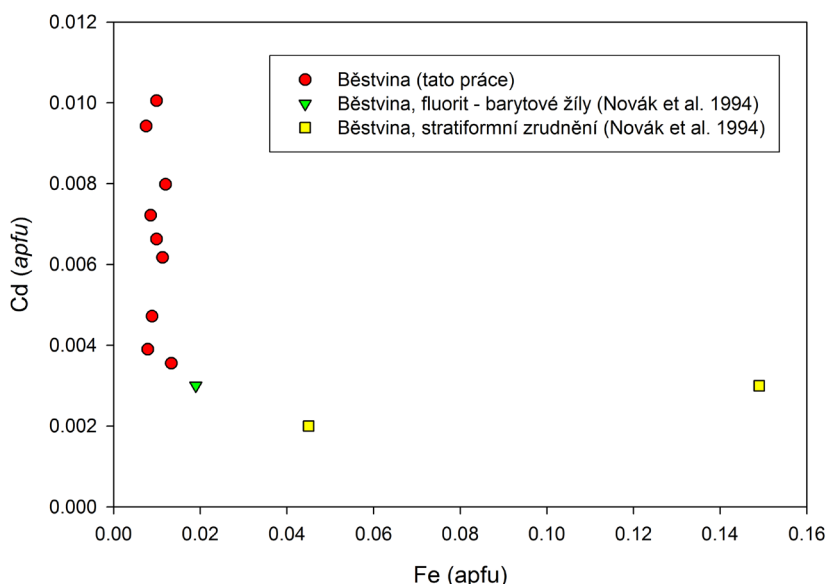
Sfalerit vytváří agregáty o velikosti do 200 μm zatlačující a obrůstající starší pyrit (obr. 4); lokálně je zatlačován a obrůstán nehojnými mladšími agregáty chalkopyritu. Pro chemické složení sfaleritu (tab. 4) jsou charakteristické minoritní obsahy Fe, Cd a Cu (do 0.01 *apfu*). V porovnání s publikovanými údaji pro sfalerit z fluorit-barytových žil (Novák et al. 1994) vykazuje sfalerit ze studované asociace vyšší obsahy Cd a nižší obsahy Fe (obr. 6) a ještě výrazněji se odlišuje od vzorků sfaleritu ze stratiformního zrudnění (Novák et al. 1994). Chemické složení studovaného sfaleritu (průměr osmi bodových analýz) lze vyjádřit empirickým vzorcem $(Zn_{0.98}Fe_{0.01}Cd_{0.01})_{\Sigma 1.00}S_{1.00}$ na bázi 2 *apfu*.

Nejmladším sulfidickým minerálem ve studované asociaci je **chalkopyrit**, který vytváří drobná (do 20 μm) nepravidelná zrna obrůstající a zatlačující starší pyrit a sfalerit (obr. 4). Při studiu jeho chemického složení (tab. 5) byly zjištěny minoritní obsahy Pb (do 0.004 *apfu*) a Zn (do 0.04 *apfu*). Obsahy selenu byly v chalkopyritu detekovány pouze ojediněle a nepřesahují hodnotu 0.002 *apfu*. Empirický vzorec chalkopyritu (průměr deseti bodových analýz) je možno na bázi 4 *apfu* vyjádřit jako $Cu_{0.98}(Fe_{0.98}Zn_{0.02})_{\Sigma 1.00}S_{2.02}$.

Tabulka 4 Chemické složení sfaleritu z Běstviny (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8
Fe	0.56	0.76	0.45	0.50	0.64	0.49	0.68	0.43	0.56
Pb	0.12	0.12	0.08	0.20	0.17	0.06	0.20	0.09	0.07
Cd	0.76	0.41	0.45	0.54	0.70	0.83	0.91	1.08	1.15
Zn	64.95	64.73	65.53	64.68	64.33	65.52	64.45	65.20	65.14
Cu	0.25	0.21	0.14	0.50	0.40	0.15	0.42	0.11	0.08
Sb	0.15	0.13	0.09	0.32	0.35	0.00	0.32	0.00	0.00
S	32.69	32.90	32.77	32.62	32.62	32.62	32.66	32.72	32.64
total	99.49	99.24	99.50	99.36	99.21	99.67	99.64	99.63	99.63
Fe	0.010	0.013	0.008	0.009	0.011	0.009	0.012	0.007	0.010
Pb	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
Cd	0.007	0.004	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010
Zn	0.976	0.972	0.983	0.974	0.970	0.983	0.969	0.979	0.979
Cu	0.004	0.003	0.002	0.008	0.006	0.002	0.007	0.002	0.001
Sb	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000
Σ	0.998	0.993	0.998	0.999	0.997	1.002	0.999	0.998	1.000
S	1.002	1.007	1.002	1.001	1.003	0.998	1.001	1.002	1.000

Mean - průměr osmi bodových analýz; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 2 *apfu*.



Obr. 6 Graf Fe vs. Cd (*apfu*) pro sfalerit z Běstviny.

Tabulka 5 Chemické složení chalkopyritu z Běstviny (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fe	29.76	29.99	30.33	30.32	30.18	29.10	29.44	29.21	29.34	30.17	29.48
Pb	0.18	0.17	0.23	0.28	0.42	0.10	0.17	0.12	0.08	0.12	0.14
Zn	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18	1.03	1.23	1.28	0.16	0.96
Cu	33.81	34.08	33.89	33.59	34.29	33.43	33.66	33.73	33.78	33.80	33.85
Se	0.03	0.10	0.10	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	35.06	35.66	34.85	35.01	34.79	34.80	34.95	34.96	34.96	35.22	35.40
total	99.42	99.99	99.40	99.20	99.78	98.60	99.24	99.26	99.44	99.47	99.83
Fe	0.983	0.982	1.003	1.003	0.997	0.969	0.975	0.967	0.970	0.994	0.969
Pb	0.002	0.001	0.002	0.003	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
Zn	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.029	0.035	0.036	0.005	0.027
Cu	0.981	0.981	0.985	0.977	0.996	0.978	0.979	0.981	0.981	0.979	0.977
Σ	1.982	1.964	1.990	1.983	1.996	1.982	1.985	1.984	1.988	1.979	1.974
Se	0.001	0.002	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S	2.017	2.034	2.008	2.017	2.002	2.018	2.015	2.016	2.012	2.021	2.026
Σ	2.018	2.036	2.010	2.017	2.004	2.018	2.015	2.016	2.012	2.021	2.026

Mean - průměr deseti bodových analýz; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 2 *apfu*.

Diskuse a závěr

V rámci nového výzkumu byl v materiálu z opuštěného fluorit-barytového ložiska Běstvína v Železných horách zjištěn výskyt minerálů izomorfní řady clausthalit - galenit v asociaci s coffinitem, uraninitem a mladšími sulfidy. Vznik studované minerální asociace je možno zjednodušeně vyjádřit paragenetickým schématem: coffinit → uraninit → minerály řady clausthalit - galenit → pyrit → sfalerit → chalkopyrit. Výskyt minerálů izomorfní řady clausthalit - galenit byl dosud v Českém masívu uváděn ve větší míře jen ze západočeské rudní oblasti (Čech, Vavříň 1978) a z ložiska Niederschlema - Alberoda (Förster 2005) a Moldava v Krušných horách (Sejkora, Škácha 2015).

Variace poměru Se/S v koexistujících minerálech izomorfní řady clausthalit - galenit indikují (Simon, Essene 1996; Simon et al. 1997; Förster 2005) vznik z fluid s nižší fugacitou selenu ($\log f_{\text{Se}_2}$ v rozmezí -17 až -26) a vyššími fugacitami síry ($\log f_{\text{S}_2}$ v rozmezí -17 až -22). Pro vysvětlení širokého uplatnění členů této izomorfní řady jsou v rovnovážném modelu nezbytné změny poměru $f_{\text{Se}_2}/f_{\text{S}_2}$ v rozsahu několika řádů; jejich vznik je tak možno vysvětlit opakovanými změnami fugacit selenu a síry kolem univariantní reakce $\text{PbSe} - \text{PbS}$ doprovázenými změnami fugacity kyslíku, nerovnovážností systému nebo míšením fluid s výrazně odlišným poměrem $f_{\text{Se}_2}/f_{\text{S}_2}$ (Förster 2005).

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za spolupráci při laboratorním studiu I. Mackovi (Národní muzeum, Praha) a P. Paulišovi (Kutná Hora) za poskytnutí publikovaných dat o ložisku Běstvína. Předložená práce vznikla za finanční podpory Grantové agentury ČR v rámci projektu 14-27006S.

Literatura

- Bernard J. H., Pouba Z. a kolektiv (1986) Rudní ložiska a metalogeneze československé části Českého masívu. *Academia*, 320 s.
- Coleman R. G. (1959) The natural occurrence of galena - clausthalite solid solution. *Am. Mineral.* 44, 166-174.
- Čech F., Vavříň I. (1978) Poubaitite, $\text{PbBi}_2(\text{Se}, \text{Te}, \text{S})_4$, a new mineral. *N. Jb. Mineral., Mh.* 9-19.
- Fengl M. (1998a) Mineralogické poměry některých fluoritových ložisek v ČR (2.). *Minerál*, 6, 4, 243-252.
- Fengl M. (1998b) Mineralogické poměry některých fluoritových ložisek v ČR (3.). *Minerál*, 6, 6, 403-411.
- Fengl M., Jansa J., Novák F. (1987) Witherit z fluoritového ložiska Běstvína. *Čas. Mineral. Geol.* 32, 1, 105.
- Fengl M., Jansa J., Novák F., Pauliš P. (1995) Pyrrargyrit z fluoritového ložiska Běstvína v Železných horách. *Věst. Čes. geol. Úst.* 70, 3, 25-26.
- Förster H. J. (2005) Mineralogy of the U-Se-polymetallic deposit Niederschlema-Alberoda, Erzgebirge, Germany. IV. The continuous clausthalite-galena solid-solution series. *N. Jb. Mineral., Abh.* 181, 2, 125-134.
- Litochleb J., Sejkora J., Šrein V. (2004) Selenidy z ložiska Bytíz (příbramský uran-polymetalický revír). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 12, 113-123.
- Litochleb J., Šrein V., Langrová A. (1990) Nové výskyty selenidů na některých uranových ložiskách západních a jihozápadních Čech. *MEGA, Zpravodaj ČSÚP Stráž pod Ralskem*, 14, Zippe Vol., 37-57.
- Litochleb J., Šrein V., Novická Z., Šreinová B. (1999) Selenidy z uranového ložiska Ústaleč (jz. Čechy). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 7, 98-108.
- Liu H., Chang L. L. Y. (1994) Phase relation in the system $\text{PbS} - \text{PbSe} - \text{PbTe}$. *Mineral. Mag.* 58, 567-578.
- Novák F., Fengl M., Jansa J. (1987) Uranová mineralizace na ložiskách fluoritu v Českém masívu. *Seminář „Mineralogická uranových a s nimi súvisiacich nerastných surovín“; Spišská Nová Ves - Čingov*, 131-136.
- Novák F., Fengl M., Jansa J. (1994) K chemismu některých sulfidů z ložiska Běstvína. *Seminář „Mineralogie, geochemie a životní prostředí“; Ostrava-Poruba*, 13-15.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" ($\phi\rho Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis (J. T. Armstrong, ed.)*. San Francisco Press, San Francisco, 104-106.
- Sejkora J., Macek I., Škácha P., Pauliš P., Plášil J., Toegel V. (2014a) Výskyt asociace Hg a Tl selenidů na opuštěném uranovém ložisku Zálesí v Rychlebských horách. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 22, 2, 333-345.
- Sejkora J., Macek I., Škácha P., Pauliš P., Toegel V. (2014b) Association of Hg and Tl selenides from the uranium deposit Zálesí, Rychlebské hory Mountains, Czech Republic. *Proceedings of the international symposium CEMC 2014, Skalský Dvůr*, 128-129.
- Sejkora J., Makovický E., Topa D., Putz H., Zagler G., Plášil J. (2011) Litochlebite, $\text{Ag}_2\text{PbBi}_4\text{Se}_8$, a new selenide mineral species from Zálesí, Czech Republic: description and crystal structure. *Can. Mineral.* 49, 639-650.
- Sejkora J., Plášil J., Litochleb J., Škácha P., Pavlíček R. (2012) Asociace selenidů s makroskopickým umangitem z opuštěného uranového ložiska Zálesí v Rychlebských horách (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 20, 2, 187-196.
- Sejkora J., Škácha P. (2015) Selenidy z fluoritového ložiska Moldava v Krušných horách (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 23, 2, 229-241.
- Sejkora J., Škácha P., Venclík V., Plášil J. (2013) Vanad-uranová mineralizace v lomu Prachovice (Česká republika). *Bull. mineral.- petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 21, 2, 113-130.
- Sejkora J., Škoda R., Pauliš P. (2006) Selenium mineralization of the uranium deposit Zálesí, the Rychlebské hory Mts., Czech Republic. *Miner. Polonica, Spec. Papers* 28, 196-198.
- Simon G., Essene E. J. (1996) Phase relations among selenides, sulfides, tellurides, and oxides. I. Thermodynamic properties and calculated equilibria. *Econ. Geol.* 91, 1183-1208.
- Simon G., Kessler S. E., Essene E. J. (1997) Phase relations among selenides, sulfides, tellurides, and oxides. II. Application to selenide-bearing ore deposits. *Econ. Geol.* 92, 468-484.
- Simpson D. R. (1964) The binary system $\text{PbS} - \text{PnSe}$. *Econ. Geol.* 59, 150-153.
- Škácha P., Buixaderas E., Plášil J., Sejkora J., Goliáš V., Vlček V. (2014) Permingeatite, Cu_3SbSe_4 , from Příbram (Czech Republic): description and Raman spectroscopy investigations of the luzonite-group of minerals. *Can. Mineral.* 52, 501-511.
- Škácha P., Sejkora J. (2007) Výskyt arsenolampritu v příbramském uran - polymetalickém revíru (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 14-15, 131-133.
- Škácha P., Sejkora J., Litochleb J., Hofman P. (2009) Výskyt cuprostibitu v příbramském uran-polymetalickém revíru. *Bull. mineral. - petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 17, 1, 73-78.
- Topa D., Makovický E., Sejkora J., Dittrich H. (2010) The crystal structure of watkinsonite, $\text{Cu}_2\text{PbBi}_4\text{Se}_8$, from the Zálesí uranium deposit, Czech Republic. *Can. Mineral.* 48, 1109-1118.
- Wright H. D., Barnard W. M., Halbig J. B. (1965) Solid solution in the system $\text{ZnS} - \text{ZnSe}$ and $\text{PbS} - \text{PbSe}$ at 300°C and above. *Am. Mineral.* 50, 1802-1815.
- www.diamo.cz/bestvina; přístup 16. listopadu 2015