

Sfalerit z ložiska Zlaté Hory - Východ (Česká republika) se zřetelnou UV luminiscencí a jeho minerální asociace

Sphalerite from the deposit Zlaté Hory - East (Czech Republic) with distinct UV fluorescence and its mineral association

PAVEL NOVOTNÝ¹⁾, JIŘÍ ZIMÁK²⁾ A JIŘÍ SEJKORA³⁾

¹⁾ Vlastivědné muzeum v Olomouci, náměstí Republiky 5, 771 71 Olomouc

²⁾ Katedra geologie, Přírodovědecká fakulta UP, třída Svobody 26, 771 46 Olomouc

³⁾ Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice

NOVOTNÝ P., ZIMÁK J., SEJKORA J. (2011): Sfalerit z ložiska Zlaté Hory - Východ (Česká republika) se zřetelnou UV luminiscencí a jeho minerální asociace. - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **19/1**, 47-51. ISSN: 1211-0329

Abstract

A UV fluorescent sphalerite was found in the ore gangue from the deposit Zlaté Hory - East in the Jeseníky Mountains (Czech Republic). The ore gangue are represented by muscovite quartzite rich in Ba-feldspar (celsiane) and sulfide minerals, mainly of pyrite. Pyrite is accompanied with sphalerite, chalcopyrite, minor galena and tennantite. Sphalerite forms white to grey grains up to 12 mm in size, shows distinct orange-yellow fluorescence under short- and longwave UV-radiation and intensive blue cathodoluminescence. Its refined unit-cell parameter a 5.4095(3) Å is close to the synthetic pure cubic ZnS. Very minor contents of Cd and Mn (up to 0.002 *apfu*) and real absence of Fe component (only up to 0.0008 *apfu*) are characteristic for its chemical composition.

Key words: sulfide ores, sphalerite, celsiane, UV fluorescence, Zlaté Hory ore district, Czech Republic

Úvod

Již před několika lety autory upozornili sběratelé minerálů, že některé rudní vzorky z ložiska Zlaté Hory - Východ vykazují pod UV - lampou velmi výraznou luminiscenci. V případě vzorků ze zlatohorského rudního revíru jde o jev zcela mimořádný a byly pokusy ho vysvětlit přítomností minerálů z různých tříd mineralogického systému, včetně minerálů, které dosud nebyly na zlatohorských ložiskách zjištěny. Podrobný výzkum těchto vzorků vedl ke zjištění neočekávané luminiscence u minerálu sfaleritu.

Lokalizace vzorků a jejich charakteristika

Mineralogické vzorky se sfaleritem vykazujícím zřetelnou oranžově žlutou luminiscenci byly odebrány v těžební chodbě bloku 3202, vyražené z mezipatrového překopu 1201 na 2. mezipatře ložiska Zlaté Hory - Východ (Česká republika).

Rudní mineralizace je zde vyvinuta v kvarcitech s proměnlivým podílem fylosilikátů, z nichž převažuje muskovit, místy je přítomen také chlorit. Barva horniny je světle šedá až šedá, hornina je jemně až drobně zrnitá. Zrudnění má převážně páskovanou texturu. V rudních páscích výrazně převažuje pyrit, jejich mocnost je od několika milimetrů do 5 cm. Na sestavení rudních pásků se kromě pyritu a minerálů žiloviny (dominuje křemen) podílí sfalerit, chalkopyrit a místy relativně hojný bornit. Sfalerit, chalkopyrit a bornit na rudních vzorcích tvoří i žilky, které jsou často při kontaktu mezi pyritovými pásky a kvarcitem s chudým vtroušeninovým zrudněním. Jde o neprůběžné žilky o mocnosti do 4 mm, výjimečně až 15 mm. Jen v menším množství je na těchto žilách přítomen pyrit. Sfalerit je bělavý až šedý, drobně až středně zrnitý, v rudních páscích se často výrazně koncentruje v prouzcích o mocnosti výjimečně do 3 cm nebo je rozptýlen mezi zrny

pyritu. V uvedených žilkách s bornitem a chalkopyritem vytváří šedá štěpná individua o velikosti až 12 mm. V uvedené minerální asociaci bylo velmi vzácně nalezeno zlato, tvořící zde plíšky o velikosti až 2 - 3 mm, které pro nedostupnost studijního materiálu nebylo blíže studováno.

Metodika výzkumu

Povrchová morfologie vzorků byla sledována v dopadajícím světle pomocí optického mikroskopu Nikon SMZ1500. Nábrusy a výbrusy studovaných vzorků byly pro výzkum v procházejícím a odraženém světle a následné chemické analýzy připraveny standardním leštěním pomocí diamantové suspenze. Optické vlastnosti v procházejícím světle byly studovány pomocí mikroskopu Olympus BX50 a v odraženém pomocí mikroskopu Nikon Eclipse ME600. Luminiscence v krátko- i dlouhovlnném UV záření byla sledována pomocí UV lampy Krantz UVL 100.

Rentgenová prášková data sfaleritu byla získána pomocí difraktometru HZG4/Arem-Seifert za podmínek: 50 kV, 40 mA, záření CuK α , step-scanning 0.05°/7 s. Pro snížení pozadí záznamu byly připravené preparáty naneseny pomocí etanolu na nosič zhotovený z monokrystalu Si. Získaná data byla vyhodnocena pomocí softwaru ZDS pro DOS (Ondruš 1993) za použití profilové funkce Pearson VII. Zjištěná rentgenová prášková data byla indexována na základě teoretického záznamu vypočteného programem Lazy Pulverix (Yvon et al. 1977) z publikovaných krystalových strukturálních dat. Parametr základní cely pak byl zpřesněn pomocí programu Burnhama (1962).

Chemické složení bylo kvantitativně sledováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta MU Brno). Analýzy byly provedeny ve vlnově disperzním módu (WD) za těchto podmínek: napětí 15kV (silikáty), 25 kV (sulfidy), proud 10 nA (siliká-

Tabulka 1 Chemické složení Ba-živců a albitu (hm. %)

	Ba-živce			albit	
	1	2	3	4	5
SiO ₂	53.32	32.51	46.03	67.86	69.55
P ₂ O ₅	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	21.81	26.55	22.83	20.23	19.22
CaO	0.02	0.02	0.00	0.05	0.08
FeO	0.12	0.00	0.06	0.01	0.04
BaO	15.53	41.03	23.80	0.00	0.00
PbO	0.10	0.00	0.00	0.00	0.07
SrO	0.11	0.08	0.09	0.08	0.05
K ₂ O	8.89	0.18	5.41	0.09	0.02
Na ₂ O	1.12	0.12	0.93	11.85	11.74
Cl	0.00	0.00	0.02	0.04	0.01
-O=Cl	-	-	0	0.01	0
suma	101.02	100.53	99.17	100.20	100.78
Si	2.70	2.03	2.52	2.96	3.01
Al	1.30	1.95	1.47	1.04	0.98
Ba	0.31	1.00	0.51	0	0
K	0.57	0.01	0.38	0.01	0
Na	0.11	0.01	0.10	1.00	0.97

Koeficienty empirických vzorců vypočteny na bázi 8 atomů kyslíku.

Tabulka 2 Chemické složení muskovitu (hm. %)

SiO ₂	47.28	42.89	43.37
TiO ₂	0.21	1.04	0.47
P ₂ O ₅	0.01	0	0
Al ₂ O ₃	28.77	32.79	32.95
BaO	4.42	7.58	7.31
CaO	0.01	0	0.01
FeO	0.36	0.26	0.03
MgO	3.59	1.93	2.02
NiO	0.04	0	0
ZnO	0	0	0.16
K ₂ O	9.92	7.74	7.99
Na ₂ O	0.12	0.29	0.35
F	0.97	0.61	0.80
Cl	0.01	0.03	0.02
-O=F	0.41	0.26	0.34
-O=Cl	0	0.01	0
suma	95.30	94.90	95.14
Si	3.23	2.99	3.01
Ti	0.01	0.06	0.03
Al	2.31	2.70	2.70
Ba	0.12	0.21	0.20
Fe	0.02	0.02	0
Mg	0.36	0.20	0.21
Zn	0	0	0.01
K	0.86	0.69	0.71
Na	0.02	0.04	0.05
F	0.21	0.14	0.18
O	10.79	10.86	10.82

Koeficienty empirických vzorců vypočteny na bázi 11 atomů O+F.

ty, 20 nA (sulfidy), průměr svazku 5 μm (silikáty), <1 μm (sulfidy). V případě živců byly použity následující standardy: andradit (Fe, Ca), baryt (Ba), fluorapatit (P), NaCl (Cl), albit A (Na), sanidin (Si, Al, K), SrSO₄ (Sr) a PbS (Pb). Standardy pro slídy: vanadinit (Cl), benitoit (Ba), hornblend (Ti), almandin (Fe), spessartin (Mn), gahnit (Zn), Ni (Ni), chromit (Cr), topaz (F), sanidin (Si, Al, K), andradit (Ca), fluorapatit (P), albit A (Na) a MgAl₂O₄ (Mg).

V případě sfaleritu byly použity následující standardy: CuFeS₂ (S), FeS₂ (Fe), Mn (Mn), Co (Co), InAs (In), pararammelsbergit (Ni, As), ZnS (Zn), Cu (Cu), Hg (HgTe), PbSe (Se), Ag (Ag), Bi (Bi), CdTe (Cd), Au (Au), PbS (Pb) a PbCl₂ (Cl). Pro analýzu pyritu byly užity standardy FeS₂ (S, Fe), Ag (Ag), ZnS (Zn), pararammelsbergit (Ni, As), Mn (Mn), chalkopyrit (Cu), Co (Co), PbSe (Se), CdTe (Cd) a InAs (In). V případě chalkopyritu, bornitu, galenitu a tennantitu bylo použito tyto standardy: Ag (Ag), chalkopyrit (S), Sb (Sb), PbS (Pb), Bi (Bi), CdTe (Cd), HgTe (Hg), Cu (Cu), FeS₂ (Fe), pararammelsbergit (As), PbSe (Se), ZnS (Zn) a PbCl₂ (Cl).

Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou zahrnuty v tabulkách, byly kvantitativně analyzovány, ale zjištěné obsahy byly pod detekčním limitem (cca 0.02 - 0.05 hm. % pro jednotlivé prvky). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Výsledky výzkumu

Kvarcit se studovaným sulfidickým zrudněním má granoblastickou strukturu. Nerudní minerály jsou kromě dominantního křemene zastoupeny v podstatném množství pouze barnatými živci, albitem a barnatým muskovitem.

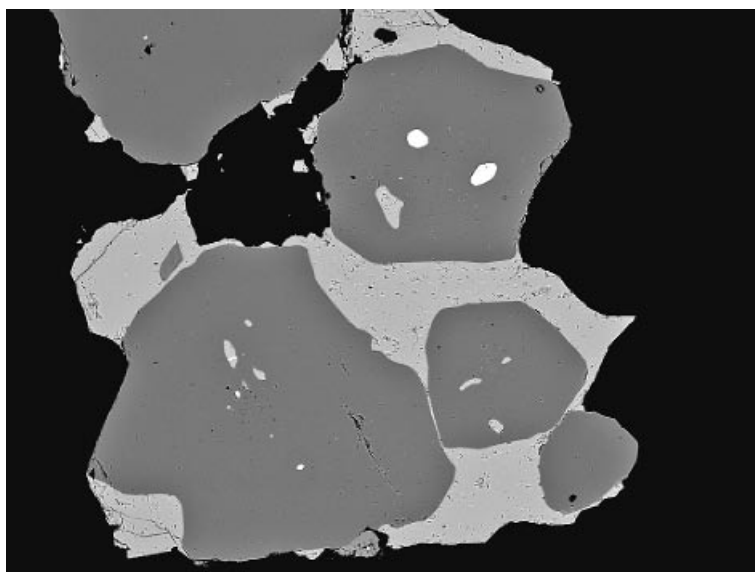
Barnaté živce tvoří hypautomorfní individua, často s výraznou optickou zonálností. Podíl celsianové složky v těchto živcích činí na základě výsledků chemických analýz 31 až 100 % (tab. 1), z BSE obrazu je zřejmé, že některá individua mají jádro s vyšším podílem celsianu (extrémním případem je Cn₉₈Or₀₁Ab₀₁ - bod 2 v tab. 1), v okrajových zónách je množství barya výrazně nižší. Zrna **albitu** jen někdy vykazují polysyntetické lamelování a jejich chemické složení (tab. 1) odpovídá téměř „čisté“ albitové složce. V proměnlivém množství jsou přítomny šupinky **barnatého muskovitu** (tab. 2), místy se koncentrují do neprůběžných pásků. V nepatrném množství je přítomen chlorit (podle optických vlastností jde o Mg-chlorit), proměnlivé je množství kalcitu, jenž může vytvářet i neprůběžné pásy nebo drobné žilkovité útvary. Akcesoricky byl zjištěn rutil a zirkon.

Sulfidické rudní minerály jsou v rudnině s páskovanou texturou zastoupeny hlavně pyritem a sfaleritem. Méně hojný je chalkopyrit, bornit a galenit; zcela ojediněle je přítomen tennantit. V rudních páscích je **pyrit** převažujícím sulfidem a často i celkové dominantní složkou. Tvoří zde izometrická zrna i individua hexaedrického typu o velikosti obvykle do 1 - 1.5 mm, průřezy mají rozdílný stupeň automorfie, hypautomorfní převládají. Jeho chemické složení je uvedeno v tabulce 4. V žilkách při kontaktu rudních pásků s okolním kvarcitem je pyrit méně častý, výjimečně zde tvoří i krystalky oktaedrického typu o velikosti do 2 mm.

Všechny ostatní sulfidy se v rudnině vyskytují v podobě xenomorfních zrn, časté jsou i jejich granoblastické srůsty. Bělavá až šedá, průsvitná až průhledná zrna **sfaleritu** o velikosti obvykle do 1 - 2 mm (ojediněle 12 mm) mají zřetelnou štěpnost a intenzivní mastný lesk. Nenápadná bělavá zrna sfaleritu jsou v rudnině na prv-

ní pohled velmi snadno zaměnitelná se zrný barnatého živce a albitu. Místy sfalerit srůstá se zrný pyritu s nevelkými inkluzemi galenitu (obr. 1). V krátkovlnném UV záření (254 nm) vykazuje sfalerit zřetelnou oranžově žlutou luminescenci bez dosvitových efektů (obr. 2 a 3); v dlouhovlnném UV záření (366 nm) je barva luminescence a její intenzita obdobná a studovaný sfalerit vykazuje dosvit v délce cca 3 - 8 s. Pod svazkem elektronů v elektronovém mikroanalyzátoru vykazuje velmi intenzivní modrou katodoluminescenci. Při studiu jeho chemického složení (tab. 3) bylo zjištěno, že se jedná o atypicky velmi „čistý“ sfalerit; zjištěné nepravidelné obsahy Fe (do 0.0008 *apfu*) a Cu (do 0.0005 *apfu*) jsou velmi nízké; pravidelně byly zjištěny jen minoritní obsahy Mn (0.001 - 0.002 *apfu*) a Cd (0.002 *apfu*). Rentgenová prášková data sfaleritu velmi dobře odpovídají údajům uváděným pro tuto minerální fázi, přítomnost difrakcí hexagonálních polytypů (wurtzit) nebyla pozorována; zpřesněný mřížkový parametr $a = 5.4095(3) \text{ \AA}$, $V = 158.30(2) \text{ \AA}^3$ je v souladu s daty uváděnými pro synteticky připravený čistý kubický ZnS v databázi PDF2.

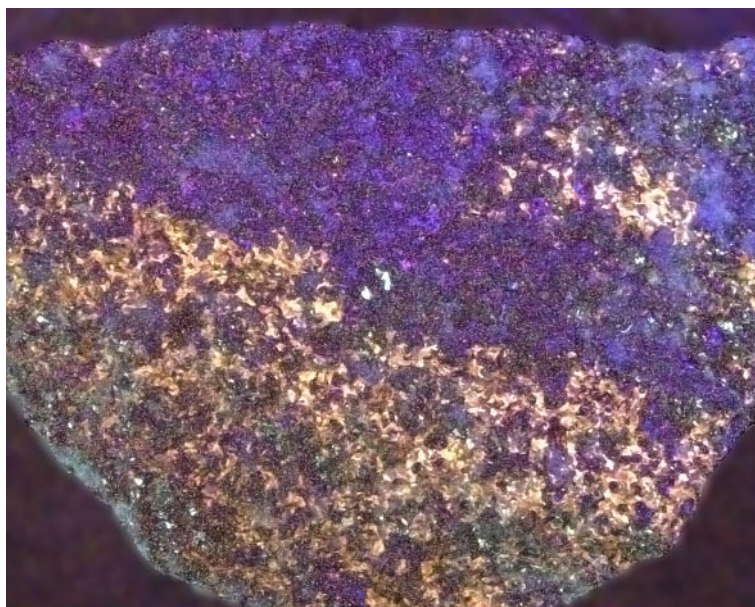
Údaje o chemickém složení **chalkopyritu, bornitu, galenitu a tennantitu** jsou uvedeny v tabulce 4. Chalkopyrit, bornit a galenit mají nevelké obsahy stříbra - nejvyšší obsahy Ag byly zjištěny v galenitu (až 0.09 hm. % Ag) a v bornitu (až 0.13 hm. % Ag). Analyzovaný tennantit je vysoce Zn-dominantní a obsahuje jen minimální množství tetraedritové (Sb) komponenty.



Obr. 1 Agregáty homogenního sfaleritu (světle šedý) srůstající se zrný pyritu (tmavě šedý) s inkluzemi galenitu (bílý). BSE foto Cameca SX100, šířka obrázku je 2 mm.



Obr. 2 Rudnina s pyritem, Ba-živci, albitem a sfaleritem. Foto v dopadajícím světle J. Sejkora, šířka obrázku je 25 mm.



Obr. 3 Identický záběr jako obr. 2; zřetelná je oranžově žlutá luminescence sfaleritu (modrofialový je odlesk viditelné části záření UV-zdroje). Foto v krátkovlnném UV-světle (254 nm), J. Sejkora, šířka obrázku je 25 mm.

Tabulka 3 Chemické složení sfaleritu (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6
Fe	0.02	0.00	0.03	0.03	0.04	0.03	0.00
Cd	0.24	0.19	0.22	0.26	0.28	0.26	0.22
Mn	0.09	0.07	0.10	0.08	0.09	0.11	0.06
Zn	68.19	67.70	68.27	68.38	68.30	68.33	68.13
Cu	0.01	0.00	0.03	0.00	0.04	0.03	0.00
S	32.85	33.14	32.82	32.74	32.79	32.94	32.67
total	101.40	101.11	101.47	101.49	101.54	101.72	101.08
Fe	0.0004	0.0000	0.0005	0.0005	0.0008	0.0004	0.0000
Cd	0.0021	0.0017	0.0019	0.0023	0.0024	0.0023	0.0019
Mn	0.0015	0.0013	0.0018	0.0014	0.0017	0.0018	0.0011
Zn	1.0069	0.9996	1.0077	1.0100	1.0081	1.0061	1.0098
Cu	0.0002	0.0000	0.0004	0.0000	0.0005	0.0004	0.0000
Σ kat.	1.0110	1.0025	1.0123	1.0141	1.0134	1.0110	1.0128
S	0.9889	0.9975	0.9877	0.9859	0.9866	0.9886	0.9872

Mean - průměr 6 bodových analýz; koeficienty empirických vzorců vypočteny na bázi 2 apfu.

Tabulka 4 Chemické složení pyritu, chalkopyritu, bornitu, galenitu a tennantitu (hm. %)

	pyrit			chalkopyrit		bornit		galenit	tennantit
Zn	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.30	0.03	0.00	8.74
Fe	45.94	46.07	46.23	30.41	30.17	11.34	11.59	0.02	0.26
Mn	0.01	0.01	0.00	nest.	nest.	nest.	nest.	nest.	nest.
Co	0.02	0.14	0.04	nest.	nest.	nest.	nest.	nest.	nest.
Cu	0.00	0.00	0.00	34.23	34.23	61.36	60.93	0.02	42.62
Ag	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.06	0.13	0.09	0.02
Hg	nest.	nest.	nest.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
In	0.00	0.00	0.00	nest.	nest.	nest.	nest.	nest.	nest.
Pb	nest.	nest.	nest.	0.00	0.03	0.00	0.00	87.18	0.00
Bi	nest.	nest.	nest.	0.00	0.000	0.11	0.16	0.22	0.57
Ni	0.00	0.01	0.00	nest.	nest.	nest.	nest.	nest.	nest.
As	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	18.75
Sb	nest.	nest.	nest.	0.00	0.01	0.01	0.00	0.000	0.99
Se	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.06	0.00
S	52.57	52.80	52.99	34.74	34.78	26.04	26.21	13.52	28.55
Cl	nest.	nest.	nest.	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
suma	98.55	99.03	99.30	99.45	99.30	99.25	99.06	101.21	100.55
Zn	-	-	-	0.001	0.001	0.023	0.002	-	1.955
Fe	1.004	1.002	1.002	1.006	0.995	1.000	1.017	0.001	0.068
Co	-	0.003	0.001	-	-	-	-	-	-
Cu	-	-	-	0.994	0.994	4.759	4.690	0.001	9.790
Ag	-	-	-	0.001	0.001	0.003	0.006	0.002	0.003
Cd	-	-	0.001	-	-	-	-	-	0.006
Pb	-	-	-	-	-	-	-	0.998	-
Bi	-	-	-	-	-	0.003	0.004	0.002	0.040
As	-	-	-	-	-	-	-	0.003	3.648
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	0.117
Se	-	-	-	-	-	0.002	-	0.002	-
S	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	4.000	4.000	1.000	13.000
Cl	-	-	-	0.001	-	-	0.001	-	-

Koeficienty empirických vzorců vypočteny na bázi 2 atomů síry (pyrit, chalkopyrit), 4 atomů síry (bornit), 1 atom síry (galenit) a 13 atomů síry (tennantit).

Diskuse a závěr

Sfalerit se zřetelnou oranžově žlutou luminiscencí je v sulfidické rudě z ložiska Zlaté Hory - Východ doprovázen pyritem, chalkopyritem, bornitem, galenitem a tenantitem. Chemickou analýzou zjištěné obsahy Fe do 0.04 hm. % jsou nejnižšími dosud zjištěnými obsahy Fe ve sfaleritech zlatohorského revíru. Podle Fojta (1966) obsahují sfalerity zlatohorského revíru 2.2 až 16.9 hm. % Fe, podle Nováka (1975) 1.6 až 9.3 hm. % Fe, podle Hoffmana et al. (1977) 1.5 až 10.5 hm. % Fe, pro puklinové sfalerity uvádějí Čech a Kvaček (1990) 1.9 až 12.0 hm. % Fe. Sfalerity přítomné v kvarcitech a mramorech (např. na ložisku Zlaté Hory - Východ) jsou obvykle světlé s obsahy Fe do 2.5 hm. % Fe, sfalerity v metatufech s chloritem bývají tmavé s obsahy do 8.5 hm. % Fe, výjimečně až 12 hm. % Fe (Fojt 1998). Fojt a Večeřa (2000) stručně hodnotí názory na vztah mezi obsahem Fe ve sfaleritech a metamorfním přepracováním zlatohorských rud. V případě námi studovaných rud může nízký obsah Fe ve sfaleritu souviset s vysokou aktivitou síry, na niž ukazuje asociace sfalerit + pyrit + bornit + chalkopyrit (viz Scott 1983). Obsahem Cd (0.19 až 0.28 hm. %) a Mn (0.06 až 0.11 hm. %) nově studovaný sfalerit podobá ostatním sfaleritům zlatohorského revíru, obsahujícím obvykle 0.2 až 0.5 hm. % Cd (výjimečně kolem 1 hm. % Cd) a do 0.3 hm. % Mn (Fojt 1966, 1998; Hoffman et al. 1977; Čech, Kvaček 1990; Fojt et al. 2001). Luminiscence přírodního sfaleritu je neobyklý, leč dobře známý jev; charakteristicky je popisován např. pro sfalerity z lokalit Franklin v New Jersey (USA) nebo Tsumeb v Namibii (Palache et al. 1944). Příčinou luminiscence sfaleritu jsou pravděpodobně minoritní obsahy Mn, Cu nebo Cd a absence Fe komponenty (Kröger et al. 1949; Tran Minh Thi 2009).

Poděkování

V práci jsou uvedeny výsledky výzkumu, který byl finančně podpořen Ministerstvem kultury ČR v rámci projektu MK00002327201. Milou povinností autorů je poděkovat R. Škodovi, R. Čopjakové a P. Gadasovi (Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno) za spolupráci při laboratorním výzkumu.

Literatura

- Burnham Ch. W. (1962): Lattice constant refinement. - *Carnegie Inst. Washington Year Book* **61**, 132-135.
- Čech V., Kvaček M. (1990): Chemické složení puklinových sfaleritů zlatohorských ložisek. - *Čas. Mor. Muz., Vědy přír.* **75**, 21-27.
- Fojt B. (1966): Stručná charakteristika chemismu hlavních sulfidických minerálů zlatohorské rudní oblasti v Hrubém Jeseníku. - *Čas. Slez. Muz., Vědy přír.* **15**, 1-23.
- Fojt B. (1998): K minerálům a mineralogii zlatohorských ložisek. - *Minerál* **6**, 176-184.
- Fojt B., Hladíková J., Kalenda F. (2001): Zlaté Hory ve Slezsku - největší rudní revír v Jeseníkách. Část 2.: C. Geologie D. Mineralogie E. Geochemie stabilních izotopů. - *Acta Mus. Morav., Sci.geol.* **86**, 3-58.
- Fojt B., Večeřa J. (2000): Zlaté Hory ve Slezsku - největší rudní revír v Jeseníkách. Část 1.: A. Historie těžby B. Přehled literárních poznatků. - *Acta Mus. Morav., Sci. geol.* **85**, 3-45.
- Hoffman V., Pertold Z., Trdlička Z. (1977): Geochemie sulfidů ze Zlatých Hor. - *Sbor. geol. Věd, Řada TG* **14**, 7-66.
- Kröger F. A., Hellingman J. E., Smit N. W. (1949): The fluorescence of zinc sulphide activated with copper. - *Physica* **15**, 990-1018.
- Novák J. (1975): Studium sfaleritů zlatohorského rudního revíru. - In: *Sbor. Korelace proterozoických a paleozoických stratiformních ložisek* **3**, 107-112. Vyd. Ústř. úst. geol. a Úst. geol. věd PřFUK 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. Enche-de.
- Palache C., Berman H., Frondel C. (1944): Dana's system of mineralogy (7th edition), Vol. 1, 210-215.
- 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.
- Scott S. D. (1983): Chemical behaviour of sphalerite and arsenopyrite in hydrothermal and metamorphic environments. - *Mineral. Mag.* **47**, 427-435.
- Tran Minh Thi (2009): Influence of Mn²⁺ concentration and UV irradiation time on the luminescence properties of Mn doped ZnS nanocrystals. - *Comm. Phys.* **19**, 33-38.
- 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.