

# Owyheeit z rudního revíru Freiberg (SRN) a jeho doprovodné minerály

## Owyheeite from the Freiberg ore district (Germany) and its associated minerals

JIŘÍ SEJKORA, JIŘÍ LITOCHEB, DALIBOR VELEBIL A JAKUB PLÁŠIL

Národní muzeum, Václavské náměstí 68, 115 79 Praha 1

SEJKORA J., LITOCHEB J., VELEBIL D., PLÁŠIL J. (2009): Owyheeit z rudního revíru Freiberg (SRN) a jeho doprovodné minerály. - *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **17/2**, 91-99. ISSN: 1211-0329.

### Abstract

Rare sulphosalt mineral owyheeite was determined in historical museum sample from Beschert Glück mine of the Brand-Erbisdorf deposit, the Freiberg ore district (Germany). Owyheeite forms there lath-like or acicular crystals up to 600  $\mu\text{m}$  in size in diaphorite aggregates or xenomorphic aggregates replacing older freibergite. In reflected light it is white to greyish white with slight bireflectance (greenish white - grey) and anisotropic with rotation tints in shades brownish white to bluish grey. It has a mean VHN (20 g load) of 176 (155-210)  $\text{kp}\cdot\text{mm}^{-2}$  with  $K_{\text{VH}}$  1.35. Owyheeite is monoclinic, space group  $P2_1/c$ , the unit-cell parameters refined from the X-ray powder data are:  $a$  4.1047(2),  $b$  27.333(1),  $c$  22.9490(9)  $\text{\AA}$ ,  $\beta$  90.396(4) $^\circ$  and  $V$  2574.7(2)  $\text{\AA}^3$ . Its chemical composition (mean of 8 points), Ag 7.16, Pb 43.78, Cu 0.02, Sb 28.76, Bi 0.01, As 0.06, S 19.22, total 99.02 wt. % corresponds to empirical formula  $(\text{Ag}_{3.10}\text{Cu}_{0.02})_{\Sigma 3.12}\text{Pb}_{9.86}(\text{Sb}_{11.02}\text{As}_{0.04})_{\Sigma 11.06}\text{S}_{27.96}$  on the basis of 52 *apfu*. The ore minerals, diaphorite, freibergite, freislebenite, galena, loellingite and pyrarargyrite were determined in close association and data for their chemical composition are given.

The succession of origin of minerals in the studied sample is as follows: quartz, rhodochrosite  $\rightarrow$  freibergite  $\rightarrow$  loellingite  $\rightarrow$  galena  $\rightarrow$  diaphorite  $\rightarrow$  owyheeite, freislebenite  $\rightarrow$  pyrarargyrite.

**Key words:** *owyheeite, freibergite, freislebenite, diaphorite, pyrarargyrite, X-ray powder data, chemical composition, ore microscopy, mineralogy, Freiberg, Saxony, Germany*

### Úvod

V rámci studia minerálů skupiny tetraedritu s méně obvyklým chemickým složením byl analyzován i vzorek z mineralogické sbírky Národního muzea (inventurní číslo P1N 10 028 s původním označením „freibergit, Freiberg - Beschert Glück“. Do sbírek Národního muzea byl vzorek získán v roce 1902. Původně byl součástí mineralogické sbírky Dr. Vojtěcha (Adalberta) Wraného (1836 - 1902), známého pražského lékaře, mineraloga a sběratele minerálů, který svoji sbírku Národnímu muzeu testamentárně odkázal. Při podrobném studiu byly ve vzorku zjištěny hojně agregáty poměrně vzácného sulfidu Ag-Pb-Sb - owyheeitu, doprovázeného galenitem, freibergitem, freislebenitem, diaforitem a pyrarargyritem.

Vzorek o rozměrech 5 x 4 x 2 cm představuje fragment křemen-karbonátové žiloviny lokálně s útržky (do 1 cm) okoložilné horniny (prokřemenělá rula?). Od pravděpodobného okraje žíly je vyvinuta zóna protáhlých zrn bílého křemene s agregáty owyheeitu, diaforitu a pyrarargyritu, pak následuje zóna jemnozrnějšího křemene s agregáty hrubozrného galenitu a pyritu a pravděpodobný střed žíly je tvořen štěpnými agregáty (do 2 mm) běžového Mn-karbonátu - rodochroziitu (jen s malým podílem Fe a Ca komponenty) se zarostlými agregáty galenitu, pyrarargyritu, freibergitu a komplexních Ag-Sb-Pb sulfidů.

Studovaný vzorek pochází z dolu Beschert Glück, ležícím cca 2 km jižně od Freibergu na severním okraji ložiska Brand-Erbisdorf, který svého času patřil mezi nejvýznamnější stříbrné doly freiberského revíru. Důl byl založen v roce 1697, ale největšího významu dosáhl dolování v letech 1786 - 1825. K uzavření dolu došlo v roce 1899. Za období 1757 - 1896 činila produkce dolu

Beschert Glück 223 tun stříbra (Weber 1992).

### Freiberský rudní revír

Freiberský rudní revír leží při sz. okraji Českého masivu a je součástí metalogenetické provincie východních Krušných hor. Systémy rudních žil vystupují v metamorfovaném a vrásově deformovaném monotónním komplexu tzv. šedých freiberských rul, tvořeném biotitovými až biotit-muskovitovými pararulami místy s vložkami kvarcitů, krystalických vápenců, erlanů, grafitických hornin nebo amfibolitů (Škvor, Watznauer 1968). V revíru se nachází řada dílčích ložisek rozmístěných na rozsáhlém území v okruhu 15 - 20 km od báňského centra - města Freibergu. Ve freiberském revíru se stříbro dobývalo již od 12. století, největšího rozkvětu dolování dosáhlo ve 13. - 14. a v 18. století. K ukončení těžby došlo v roce 1969 (Weber 1986). Žilná stříbronosná polymetalická ložiska jsou strukturně vázaná na poruchové zóny směru S - J a V - Z ( $\pm 15^\circ$ ) a vznikala v průběhu pozdně variského (320 - 280 Ma) a postvariského (210 - 30 Ma) mineralizačního cyklu. Hydrotermální mineralizační procesy jsou spojovány s intruzí posttektonického freiberského granitu. Freiberský revír se vyznačuje zřetelnými změnami minerální výplně žil v jejich vertikálním i horizontálním průběhu. Mocnost vlastních rudních žil se pohybuje kolem 0.3 až 1 m. Do hloubkové úrovně 700 m bylo těženo cca 1100 žil. Na křížení obou hlavních žilných systému místy dochází k vývoji bonanzových akumulací stříbrných rud s produktivitou až 5000 kg stříbra na žilnou plochu kolem 400  $\text{m}^2$ . Pozdně variský cyklus zahrnuje následující minerální asociace (od nejstarších po nejmladší): Sn-W, křemen-polymetalickou, uran-křemen-karbonátovou a ekonomick-

ky nejvýznamnější karbonátovou Ag-Sb-sulfidickou, která se dále člení na starší („kb“ asociace) sulfidickou/poly-metalickou asociaci (sfalerit, galenit, freibergit) s křemenem a karbonáty (siderit, ankerit, rodochrozit, dolomit) a mladší („eb“ a „eq“ asociace) Ag-Sb-kalcitovou asociaci (pyrargyrit, miargyrit, stefanit, polybazit, dyskrazit, argenit-akantit, ryzí stříbro). Postvariská mineralizace je pak reprezentována zejména fluorit-baryt-polymetalickou, Bi-Co-Ni-Ag a nejmladší křemen-Fe-Mn asociací (Baumann 1967, 1994a,b; Seifert, Sandmann 2006).

Produktivní křemen-karbonátová Ag-Sb-sulfidická asociace je vyvinuta zejména v jižní části freiberského rudního revíru na ložisku Brand-Erbisdorf, odkud jsou známé bohaté nálezy ryzího stříbra a doprovodných Ag-Sb sulfidických minerálů (Baumann et al. 2000).

## Výskyty owyheedu

Owyheedit z Freibergu popsali poprvé Moëlo et al. (1982) na základě studia vzorku z mineralogické sbírky École des Mines de Paris. Owyheedit byl zjištěn ve formě drobných inkluzí v galenitu v doprovodu freieslebenitu. V rámci studia historických vzorků ze sbírek Bergakademie Freiberg byl později owyheedit identifikován ve čtyřech vzorcích, pocházejících z let 1823 - 1826 z důlního pole Brand-Erbisdorf jižně od Freibergu, z dolů Beschert Glück (2), Habacht (1) a Himmelfürst (1) (Witzke, Rank 1991). Vzorky odpovídají pozdně variské křemen-karbonát-Ag-Sb-sulfidické asociaci. Karbonátová žilovina (kalcit, dolomit, rodochrozit) obsahuje sfalerit, galenit, pyrit, chalcopyrit a minerály stříbra. Owyheedit ve studovaných vzorcích tvoří až 1 cm<sup>2</sup> velké jemně plstnaté agregáty nebo až 4 mm dlouhé jehlicovité krystaly v asociaci s galenitem,

**Tabulka 1** Rentgenová prášková difrakce, detaily experimentu a výsledky

Difraktometr	Bruker D8 Advanced
Geometrie, poloměr goniometru	Bragg-Brentano, 300 mm
Vlnová délka	CuK $\alpha_{1,2}$ , 40 kV/40 mA
Detektor, otvírací úhel, filtr	LynxEye, 3.2°, Ni
Úhlové rozmezí (2 $\theta$ ), krok měření	10 - 59°, 0.0106°
Načítací čas	variabilní (start 10 s/krok, konec 180 s/krok); celkový čas měření ~ 6 dní
Fixní clona, Sollerovy clony	0.1 mm, 2.5° (incident.)/2.5° (difrakt.)

Zpřesnění (Rietveldova metoda)

Owyheedit, diaforit, galenit (hm. %)	52.3(4), 43.1(4), 4.6(5)
Profilová funkce	Pseudo-Voigt
Parametry <i>FWHM</i> (owyheedit)	$U = -0.341(17)$ , $V = 0.245(10)$ , $W = -0.0387(16)$
LX (owyheedit)	0.3246(40)
$R_{exp}$	0.0098
$R_p$	0.0378
$R_{wp}$	0.0554
$R_{exp'}$	0.0210
$R_{p'}$	0.1219
$R_{wp'}$	0.1251
GOF	5.26

Owyheedit, prostorová grupa  $P2_1/c$

$$a = 4.1047(2)$$

$$b = 27.333(1)$$

$$c = 22.9490(9)$$

$$\beta = 90.396(4)$$

$$V = 2574.7(2)$$

$$R_{Bragg} = 0.0251$$

Diaforit, prostorová grupa  $P2_1/c$

$$a = 17.7312(7)$$

$$b = 5.8950(3)$$

$$c = 16.0325(6)$$

$$\beta = 116.698(2)$$

$$V = 1251.8(1)$$

$$R_{Bragg} = 0.0200$$

Galenit, prostorová grupa  $F4/m-32/m$

$$a = 5.9167(9)$$

$$V = 207.13(9)$$

$$R_{Bragg} = 0.0077$$

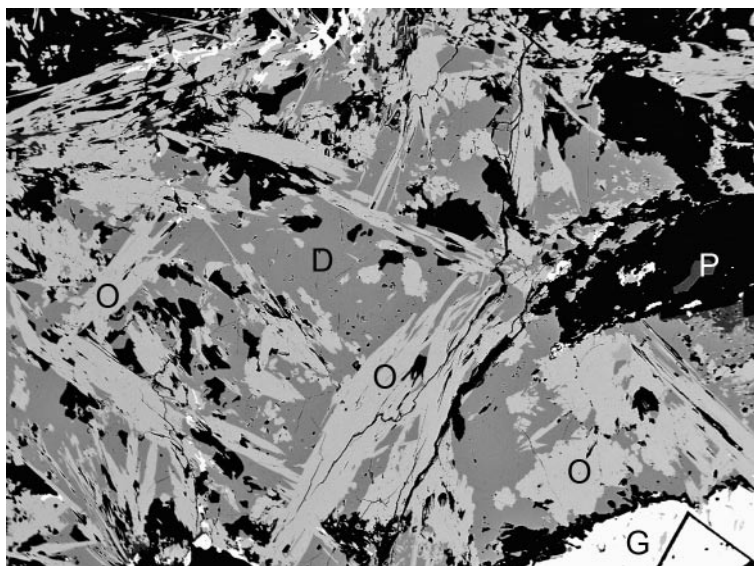
Profilové faktory opatřené ' zahrnují zohlednění příspěvku pozadí

sfaleritem, křemenem a karbonáty. Haake et al. (1994) uvádějí z ložiska Brand-Erbisdorf jemně vláknitý owyheeit jako poměrně vzácný minerál, srůstající s galenitem, sfaleritem, freibergitem a pyrargyritem. Owyheeit, zjištěný ve vzorku freibergitu z mineralogické sbírky Národního muzea (viz tato práce) představuje další, dosud neznámý, texturně, strukturně a parageneticky zajímavý typ výskytu tohoto minerálu ve freiberském revíru.

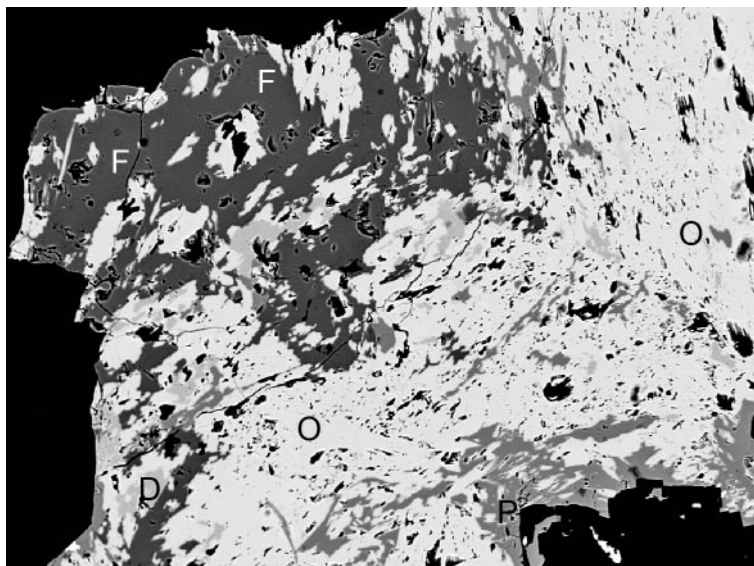
### Metodika výzkumu

Nábrusy studovaných vzorků byly pro výzkum v odraženém světle a chemické analýzy připraveny standardní leštěním pomocí diamantové suspenze. Optické vlastnosti v odraženém světle byly studovány pomocí mikroskopu Nikon Eclipse ME600 a Amplival Carl Zeiss Jena. K měření mikrotvrdosti byl použit mikrotvrdoměr PMT-3 (Vickersův indentor, cejchováno na krystalu halitu při závaží 5 g, doba expozice indentoru 15 s při závaží 20 g, průměrná hodnota mikrotvrdosti vypočtena z 15 měření).

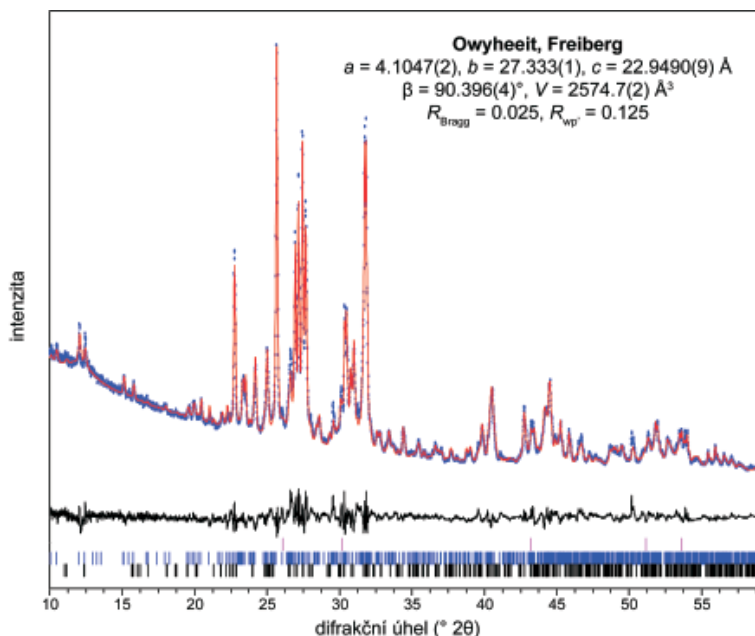
Rentgenová prášková data byla získána pomocí difraktometru Bruker D8 Advance s detektorem LynxEye (Národní muzeum, analytik J. Plášil). Pro snížení pozadí záznamu byly práškové preparáty nanесeny pomocí acetonu na nosič zhotovený z monokrystalu Si. Vzhledem k tomu, že se nepodařilo pro výzkum získat monominerální preparát, byla rentgenová prášková data vzorku s největším zastoupením owyheeitu (a příměsí diaforitu a galenitu) zpracována pomocí Rietveldovy metody (software Topas Bruker). Zpřesňovány byly profilové parametry (*FWHM*), přednostní orientace (modelována jako sférické harmonické funkce), zastoupení jednotlivých zjištěných fází a jejich mřížkové parametry. Jako vstupní strukturní modely byla použita krystalografická data Laufka et al. (2007) (owyheeit), Armbrustera et al. (2003) (diaforit) a Noda et al. (1987) (galenit). Detaily experimentu jsou uvedeny v tabulce 1. Vypočtené odchylky profilových a mřížkových parametrů jsou založeny na algoritmu Rietveldovy metody (program Topas) a nemusí nutně odpovídat reálným odchylkám upřesňovaných parametrů.



**Obr. 1** Krystaly owyheeitu (O) zarůstající do diaforitu (D), dále přítomen galenit (G) a pyrargyrit (P). BSE foto J. Sejkora, šířka obrázku 1500  $\mu\text{m}$ .



**Obr. 2** Krystaly owyheeitu (O) srůstající s diaforitem (D), freibergitem (F) a pyrargyritem (P). BSE foto J. Sejkora, šířka obrázku 600  $\mu\text{m}$ .

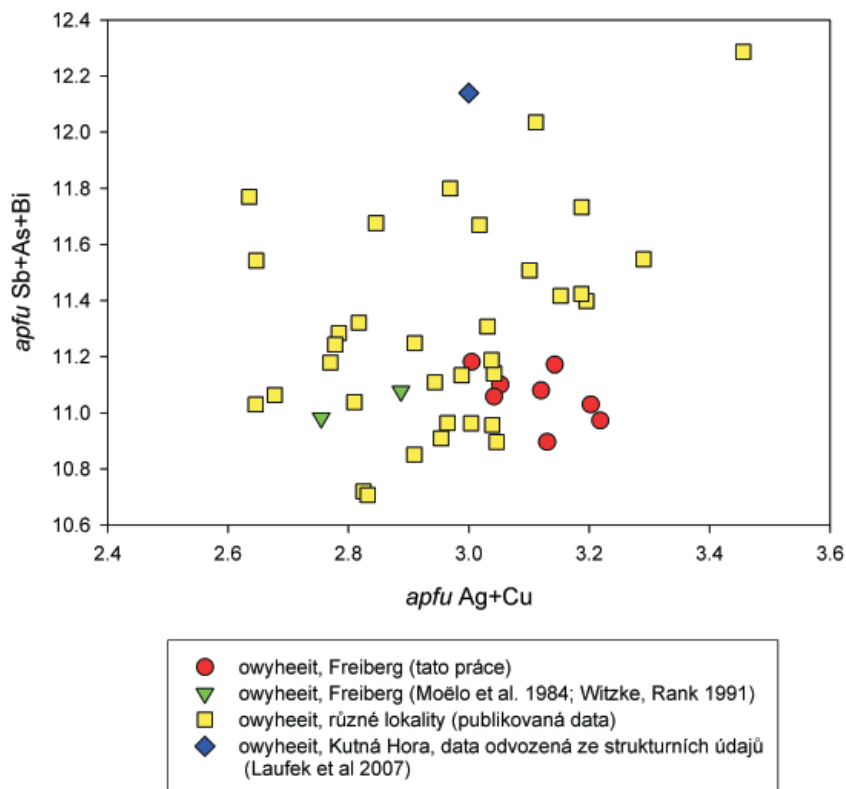


**Obr. 3** Vypočtený (červený), pozorovaný (modré body) a diferencní (černá čára) profil z Rietveldova zpřesnění. Úsečky pod diferencní křivkou odpovídají pozicím braggovských difrakcí galenitu (růžové), owyheeitu (modré) a diaforitu (černé). Mřížkové parametry owyheeitu jsou uvedeny na obrázku, stejně jako faktory shody (zohledněné na příspěvek pozadí).

Tabulka 2 Chemické složení owyheeitu (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	7.16	6.89	6.98	7.05	7.17	7.21	7.26	7.34	7.39
Pb	43.78	43.68	43.71	43.97	43.53	44.37	43.96	43.38	43.65
Cu	0.02	0.02	0.02	0.00	0.03	0.03	0.00	0.03	0.05
Sb	28.76	29.04	28.71	28.81	28.85	28.38	29.02	28.61	28.68
Bi	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
As	0.06	0.05	0.05	0.06	0.07	0.09	0.05	0.06	0.05
S	19.22	19.18	19.08	19.31	19.28	19.32	19.07	19.17	19.34
total	99.02	98.86	98.55	99.27	98.92	99.40	99.40	98.58	99.15
Ag*	3.097	2.987	3.036	3.042	3.098	3.107	3.143	3.182	3.181
Pb*	9.860	9.856	9.905	9.875	9.787	9.960	9.909	9.796	9.789
Cu*	0.017	0.017	0.016	0.000	0.022	0.023	0.000	0.021	0.037
Sb*	11.022	11.149	11.070	11.010	11.038	10.841	11.130	10.993	10.944
Bi*	0.003	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000
As*	0.037	0.032	0.031	0.034	0.043	0.056	0.033	0.038	0.029
S*	27.965	27.958	27.942	28.024	28.012	28.013	27.776	27.971	28.019

\* koeficienty empirických vzorců vypočtené na bázi 52 apfu.



Obr. 4 Graf obsahů Ag+Cu (apfu) vs. Sb+As+Bi (apfu) v owyheeitu. Publikovaná data pro owyheeit z různých lokalit jsou převzata z následujících prací: Svešnikova (1975), Hoffman, Trdlička (1978), Basu et al. (1980), Birch (1981), Moëlo et al. (1984), Svešnikova, Jermilov (1985), Gamjanin et al. (1985), Mozgova et al. (1988), Feitlinger et al. (1995), Hernández, Akasaka (2007), Laufek et al. (2007) a Keutsch, Brodtkorb (2008).

Chemické složení studovaných minerálních fází bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta MU, Brno, analytik R. Škoda a J. Sejkora) za podmínek: WD analýza, 25 kV, 20 nA, průměr svazku elektronů 1  $\mu\text{m}$ , použité standardy: Ag (AgL $\alpha$ ), Bi (BiM $\beta$ ), Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> (TeL $\beta$ ), CdTe (CdL $\beta$ ), chalkopyrit (SK $\alpha$ ), Co (CoK $\alpha$ ), Cu (CuK $\alpha$ ),

FeS<sub>2</sub> (FeK $\alpha$ ), HgTe (HgM $\alpha$ ), Mn (MnK $\alpha$ ), pararammelsbergit (NiK $\alpha$ , AsL $\beta$ ), PbCl<sub>2</sub> (ClK $\alpha$ ), PbS (PbM $\alpha$ ), PbSe (SeL $\beta$ ), Sb (SbL $\beta$ ) a ZnS (ZnK $\alpha$ ). Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou zahrnuty v tabulkách, byly kvantitativně analyzovány, ale zjištěné obsahy byly pod detekčním limitem (cca 0.01 - 0.04 hm. % pro jednotlivé prvky). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

### Fyzikálně - chemická charakteristika owyheeitu

Ocelově šedé, kovově lesklé agregáty owyheeitu srůstajícího s diaforem a dalšími sulfidy v křemenné žilovině dosahují velikosti až do 1 cm. Podle mikroskopického studia owyheeit vytváří buď protáhlé lištovité nebo jehlicovité hypautomorfní krystaly o délce do 600  $\mu\text{m}$  pronikající do agregátů zrn diaforitu (obr. 1) nebo xenomorfní útvary, metasomaticky zatlačující freibergit (obr. 2). Společně s diaforem zatlačuje i rodochrozit s využitím jeho klencové štěpnosti. Uzavírá relikty freieslebenitu a je intenzivně zatlačován pyrargyritem.

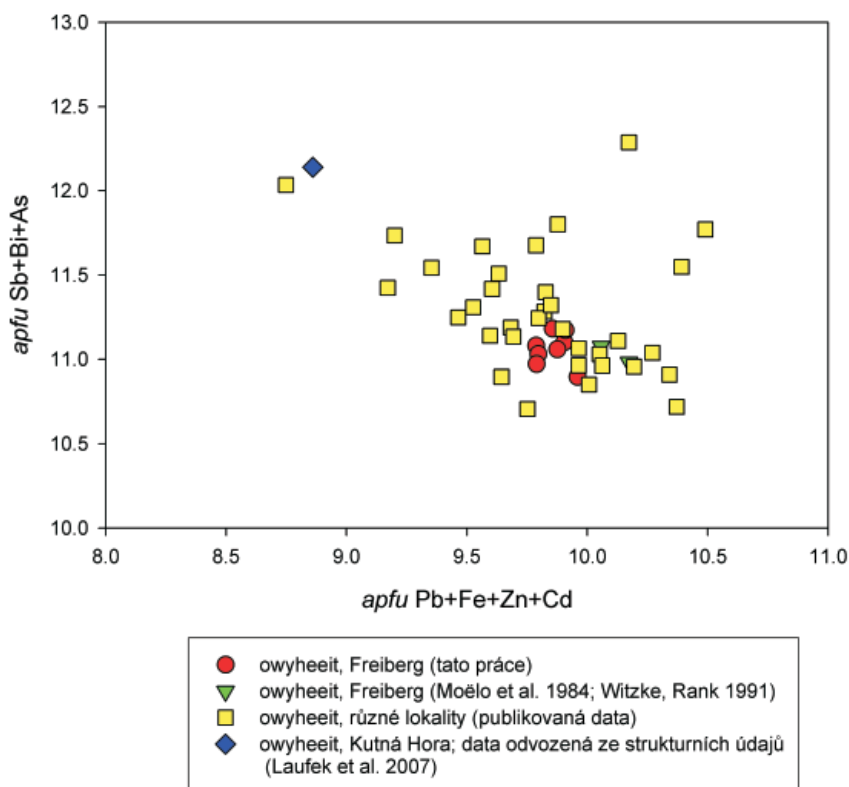
V odraženém světle je owyheeit bílý až šedobílý, ve srůstech s galenitem s olivovým odstínem, slabě bireflexní (zelenavě šedobílý) a anizotropní (hnědavě bílé až modrošedé barevné efekty). Změřená hodnota mikrotvrdoosti VHN<sub>20</sub> = 176 (155 - 210) kp . mm<sup>-2</sup> (koeficient anizotropie K<sub>VH</sub> = 1.35) odpovídá literárním údajům 110 - 232 kp . mm<sup>-2</sup>, resp. hodnotám pro řezy kosé až kolmé k protažení krystalů (Indolev 1964; Svešnikova, Rakcheyev 1966; Uytendogaardt, Burke 1971; Svešnikova 1976; Čvileva et al. 1988). Podle Svešnikovy (1976) se owyheeit vyznačuje vysokým stupněm anizotropie tvrdosti v souvislosti s monoklinickou symetrií (K<sub>VH</sub> až 1.64).

Zjištěná rentgenová prášková data owyheeitu (obr. 3) jsou ve shodě s teoretickým záznamem vypočteným ze strukturních dat (Laufek et al. 2007), stejně tak zpřesněné mřížkové parametry

(tab. 1) odpovídají datům uváděným pro tento minerální druh (Laufek et al. 2007).

Při studiu chemického složení owyheeitu (tab. 2) byly zjištěny podstatné obsahy Ag, Pb, Sb a S a jen minoritní zastoupení Cu (0.00 - 0.04 apfu), As (0.03 - 0.06 apfu) a Bi (do 0.02 apfu). Moëlo et al. (1984) navrhuje pro owyheeit obecný vzorec Ag<sub>3+x</sub>Pb<sub>10-2x</sub>Sb<sub>11+x</sub>S<sub>28</sub> s hodno-

**Obr. 5** Graf obsahů Pb+Fe+Zn+Cd (apfu) vs. Sb+As+Bi (apfu) v owyheedu. Publikovaná data pro owyheeu z různých lokalit jsou převzata z následujících prací: Svešnikova (1975), Hoffman, Trdlička (1978), Basu et al. (1980), Birch (1981), Moëlo et al. (1984), Svešnikova, Jermilov (1985), Gamjanin et al. (1985), Mozgova et al. (1988), Feitzinger et al. (1995), Hernández, Akasaka (2007), Laufek et al. (2007) a Keutsch, Brodtkorb (2008).



tami x v rozmezí -0.13 až +0.20, odrážející nevelký rozsah možné substituce typu  $2\text{Pb} \leftrightarrow \text{Ag} + \text{Sb}$ . Studovaný owyheeu z Freibergu s obsahy Ag+Cu 3.00 až 3.22 apfu, Sb+Bi+As 10.90 až 11.18 apfu a Pb 9.79 až 9.96 apfu blíží ideálnímu vzorci  $\text{Ag}_3\text{Pb}_{10}\text{Sb}_{11}\text{S}_{28}$ , jeho průměrný empirický vzorec na bázi 52 apfu je možno vyjádřit jako  $(\text{Ag}_{3.10}\text{Cu}_{0.02})_{\Sigma 3.12}\text{Pb}_{9.86}(\text{Sb}_{11.02}\text{As}_{0.04})_{\Sigma 11.06}\text{S}_{27.96}$ . V obrázcích 4 - 6 jsou výsledky nových analytických dat porovnány s publikovanými daty owyheeu; je zde zřejmé že hlavní komponenty navzájem významně nekorelují a substituce  $2\text{Pb} \leftrightarrow \text{Ag} + \text{Sb}$  uváděná Moëlem et al. (1984) není zdaleka dominantním faktorem v chemismu owyheeu.

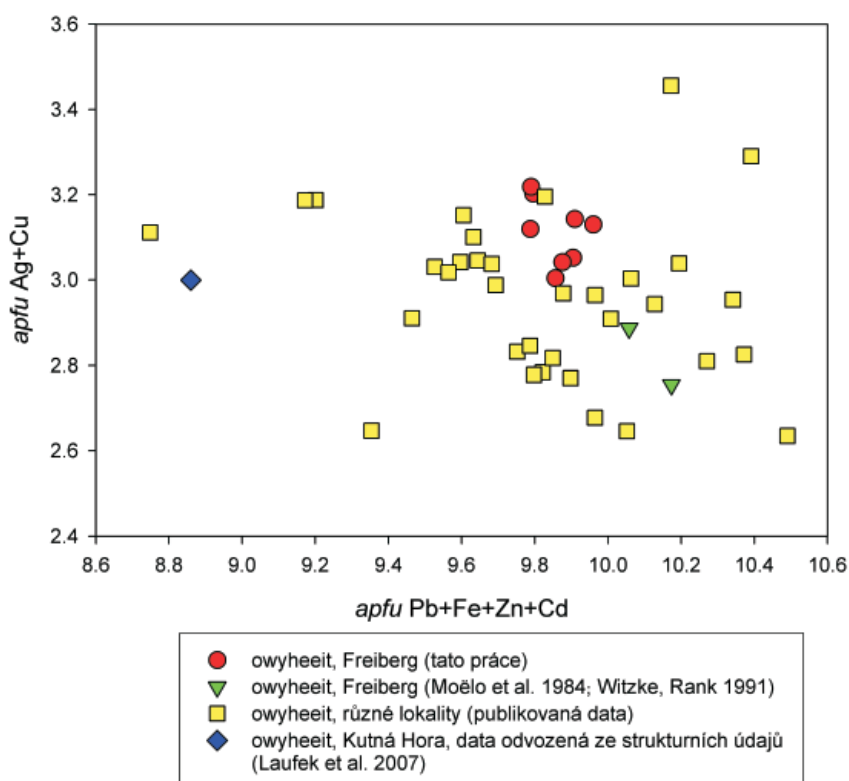
### Doprovodné minerály

#### Löllingit

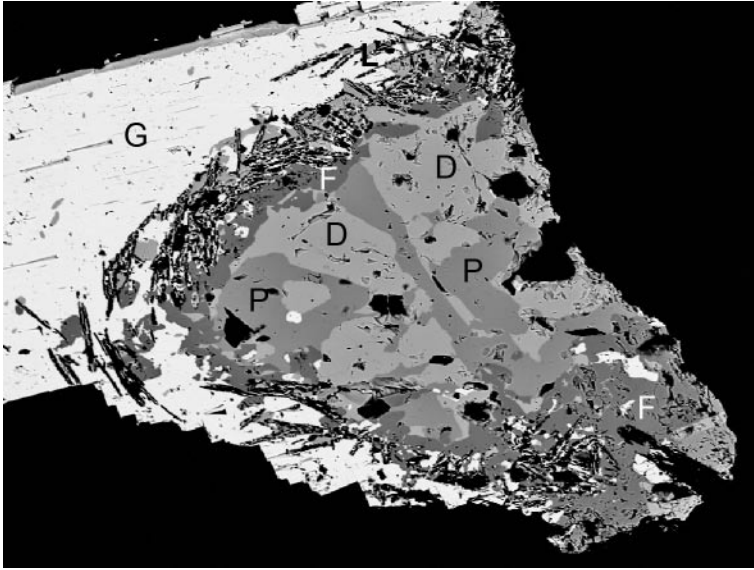
Ve studované asociaci náleží löllingit k starším minerálním fázím. Jeho výskyt je vázán na okrajovou zónu agregátů freibergitu a mladších Ag-Sb-Pb sulfidů (obr. 7). Ve formě 30 - 100  $\mu\text{m}$  dlouhých prizmatických až jehlicovitých krystalů je uzavírán galenitem. Mladší komplexní Ag-Sb-Pb sulfidy pronikají do rozpraskaných krystalů löllingitu po síti trhlin a korodují je za vzniku šachovnicové struktury. V odraženém světle je bílý, slabě narůžovělý a zřetelně anizotropní (šedomodrý až žlutobílý).

#### Galenit

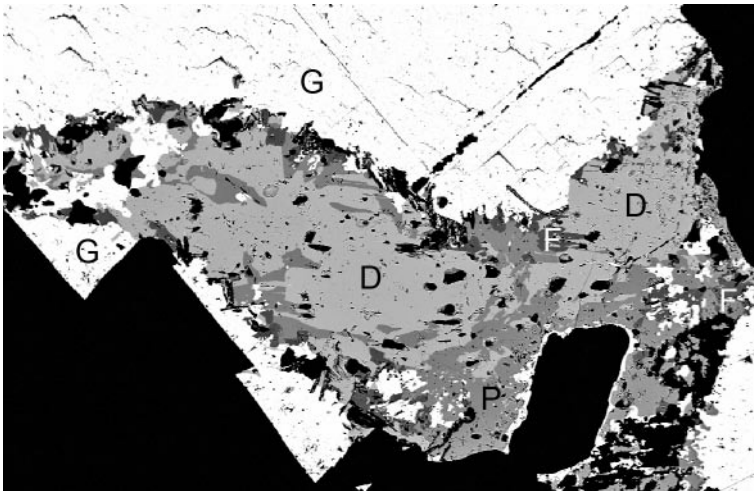
V křemenné i karbonátové žilovině v asociaci s dalšími sulfidy vytváří hojná výrazně štěpná zrna



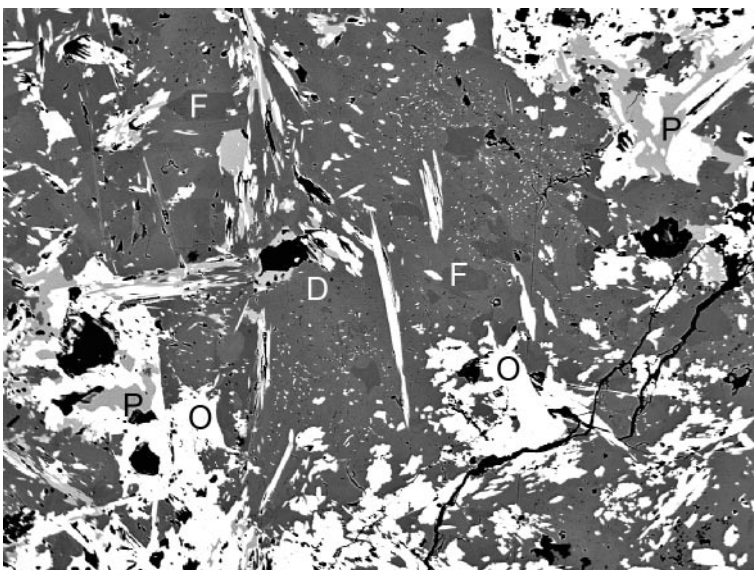
**Obr. 6** Graf obsahů Pb+Fe+Zn+Cd (apfu) vs. Ag+Cu (apfu) v owyheedu. Publikovaná data pro owyheeu z různých lokalit jsou převzata z následujících prací: Svešnikova (1975), Hoffman, Trdlička (1978), Basu et al. (1980), Birch (1981), Moëlo et al. (1984), Svešnikova, Jermilov (1985), Gamjanin et al. (1985), Mozgova et al. (1988), Feitzinger et al. (1995), Hernández, Akasaka (2007), Laufek et al. (2007) a Keutsch, Brodtkorb (2008).



**Obr. 7** Agregát galenitu (G) zatlačovaný mladším diaforitem (D), pyrryrytem (P) a freibergitem (F), dále přítomny slabé lišty löllingitu (L). BSE foto J. Sejkora, šířka obrázku 800  $\mu\text{m}$ .



**Obr. 8** Agregát galenitu (G) pronikáný mladším diaforitem (D), pyrryrytem (P) a freibergitem (F). BSE foto J. Sejkora, šířka obrázku 1200  $\mu\text{m}$ .



**Obr. 9** Krystaly owyheeitu (O) zarůstající do diaforitu (D) s relikty freibergitu (F), dále přítomen pyrryryt (P). BSE foto J. Sejkora, šířka obrázku 1200  $\mu\text{m}$ .

o velikosti do 5 mm a agregáty o velikosti přes 1 cm. Mikroskopicky tvoří většinou automorfní krystaly s dobře patrnými štěpnými trhlinami, obrůstané nebo pronikáné mladšími komplexními sulfidy (obr. 8). Obsahuje jemné, světle šedomodré inkluze diaforitu a hypautomorfní lištovité krystaly löllingitu (obr. 7).

Chemické složení galenitu (tab. 3) je poměrně jednoduché, minoritní obsahy Ag a Sb nepřevyšují 0.01 *apfu*. Jeho průměrný empirický vzorec lze na bázi 2 *apfu* vyjádřit jako  $(\text{Pb}_{0.98}\text{Ag}_{0.01})_{\Sigma 0.99}\text{S}_{1.01}$ .

#### Freibergit

V nábrusech tvoří tmavě šedá xenomorfní zrna, obrůstaná löllingitem a zatlačovaná do okrouhlých až nepravidelně laločnatých reliků galenitem a komplexními Ag-Sb-Pb sulfidy (obr. 7 a 9). Ve srůstech s owyheeitem má hnědavý odstín, vůči galenitu je tmavě šedý s šedomodrým odstínem. Hodnota mikrotvrdosti 220 (192 - 255)  $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$  ( $K_{\text{VH}} = 1.33$ ) se přibližuje údajům pro stříbrem bohaté členy tetraedritové skupiny - freibergit/argentotetraedrit 245 - 375  $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$  (Uytenbogaardt 1967; Uytenbogaardt, Burke 1971; Kašpar 1995), u nichž se stoupajícím obsahem stříbra se hodnota mikrotvrdosti snižuje (Čvileva et al. 1988).

Pro chemické složení studovaného freibergitu (tab. 3) jsou charakteristické obsahy Ag v rozmezí 5.53 - 6.26 *apfu*, což nasvědčuje prakticky úplnému obsazení trigonální pozice ( $^{\text{III}}\text{A}_6$ ) krystalové struktury tímto chemickým prvkem (Sack, Loucks 1985; Lynch 1989; Moëlo et al. 2008). Dále je freibergit zřetelně Fe-dominantní (1.75 - 1.92 *apfu* Fe a 0.25 - 0.35 *apfu* Zn) s jen minimálním podílem As (tennantitové) komponenty v rozmezí 0.01 - 0.03 *apfu*. Zajímavý je zjištěný obsah Cl (0.02 - 0.04 hm. %) odpovídající 0.01 - 0.02 *apfu*. Obsah Cl je pro minerály skupiny tetraedritu nepříliš obvyklý; podobné obsahy uvádějí pro freibergit z Šebestěnic Litochleb et al. (2008). V aniontové pozici (ideálně 13 *apfu*) byl zjištěn deficit v rozmezí 0.55 - 0.73 *pfu*, obdobné deficity v této pozici uvádějí pro freibergit i Sejkora et al. (2002) nebo Litochleb et al. (2008) a souvisejí se vstupem Ag do trigonální pozice krystalové struktury tetraedritu (Moëlo et al. 2008). Průměrný empirický vzorec freibergitu lze na bázi 29 *apfu* vyjádřit jako  $\text{Ag}_{6.05}\text{Cu}_{4.30}(\text{Fe}_{1.82}\text{Zn}_{0.30})_{\Sigma 2.12}(\text{Sb}_{4.16}\text{As}_{0.02})_{\Sigma 4.18}(\text{S}_{12.34}\text{Cl}_{0.01})_{\Sigma 12.35}$ .

#### Freieslebenit

Náleží ve studované asociaci k nejvzácnějším minerálním fázím. Nalezen byl pouze mikroskopicky jako několik nepravidelných zrn v owyheeitu nebo ve srůstech s diaforitem. Velikost zrn freieslebenitu nepřevyšuje 25 - 30  $\mu\text{m}$ .

Průměrný empirický vzorec freieslebenitu (tab. 4) vypočtený na bázi 6 *apfu*  $\text{Ag}_{1.00}\text{Pb}_{1.00}\text{Sb}_{1.02}\text{S}_{2.98}$  se blíží ideální stechiometrii tohoto minerálního druhu.

**Tabulka 3** Chemické složení galenitu a freibergitu (hm. %)

	galenit						freibergit						
	mean	1	2	3	4	5	mean	1	2	3	4	5	6
Ag	0.28	0.25	0.25	0.28	0.28	0.33	33.43	30.84	32.98	34.06	34.15	34.28	34.29
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	5.28	5.18	5.03	5.04	5.46	5.20
Pb	84.15	84.54	84.62	85.15	83.48	82.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.91	0.97	1.14	1.15	0.88	0.88
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.99	15.51	14.24	13.62	13.86	13.32	13.39
Sb	0.19	0.01	0.12	0.05	0.27	0.52	25.93	26.23	26.28	26.05	26.08	25.41	25.51
Bi	0.05	0.10	0.11	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.05	0.02	0.07	0.03	0.07	0.06	0.09	0.09	0.10	0.04	0.10	0.09	0.12
S	13.42	13.29	13.54	13.49	13.17	13.61	20.25	20.61	20.08	20.45	20.29	20.01	20.07
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02
total	98.14	98.20	98.72	98.99	97.32	97.48	99.91	99.50	99.86	100.42	100.71	99.49	99.47
Ag*	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	6.054	5.533	5.985	6.142	6.154	6.254	6.261
Fe*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.818	1.830	1.817	1.754	1.754	1.925	1.833
Pb*	0.979	0.988	0.978	0.984	0.983	0.961	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.296	0.270	0.290	0.340	0.343	0.266	0.265
Cu*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.300	4.724	4.387	4.170	4.240	4.126	4.148
Sb*	0.004	0.000	0.002	0.001	0.005	0.010	4.159	4.170	4.225	4.162	4.164	4.108	4.125
Bi*	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
As*	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.023	0.023	0.025	0.011	0.027	0.023	0.031
S*	1.009	1.004	1.011	1.008	1.002	1.019	12.336	12.439	12.258	12.408	12.303	12.279	12.326
Cl*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.011	0.013	0.014	0.015	0.019	0.010
báze	2	2	2	2	2	2	29	29	29	29	29	29	29

\* koeficienty empirických vzorců vypočtené na bázi uvedené v tabulce.

**Tabulka 4** Chemické složení freieslebenitu, diaforitu a pyrargyritu (hm. %)

	freieslebenit			diaforit						pyrargyrit						
	mean	1	2	mean	1	2	3	4	5	6	mean	1	2	3	4	5
Ag	20.13	20.32	19.93	24.45	24.04	24.37	24.54	24.58	24.61	24.74	60.02	59.48	59.83	60.13	60.50	60.55
Pb	38.61	38.88	38.33	28.72	28.77	28.50	29.38	28.53	28.77	28.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu	0.00	0.00	0.00	0.06	0.05	0.03	0.26	0.05	0.05	0.03	0.02	0.04	0.07	0.03	0.00	0.00
Sb	23.18	23.36	23.01	27.06	27.46	27.63	27.12	27.62	26.89	27.15	22.09	21.84	22.51	22.01	21.46	21.77
As	0.04	0.00	0.07	0.11	0.18	0.11	0.09	0.11	0.10	0.10	0.27	0.33	0.23	0.31	0.28	0.29
S	17.88	17.97	17.78	18.63	18.51	18.49	18.70	18.61	18.72	18.76	17.36	17.57	17.35	17.38	16.96	17.19
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	0.04
total	99.83	100.53	99.12	99.04	99.01	99.13	100.09	99.49	99.13	99.19	99.81	99.32	100.05	99.90	99.24	99.84
Ag*	0.998	1.002	0.995	3.096	3.054	3.092	3.083	3.103	3.110	3.119	3.032	3.004	3.018	3.034	3.089	3.067
Pb*	0.997	0.998	0.996	1.894	1.903	1.883	1.922	1.875	1.893	1.866	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Hg*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Cu*	0.000	0.000	0.000	0.014	0.010	0.006	0.055	0.011	0.010	0.005	0.002	0.003	0.006	0.003	0.000	0.000
Sb*	1.019	1.020	1.018	3.037	3.091	3.105	3.019	3.089	3.011	3.034	0.989	0.977	1.006	0.984	0.971	0.977
As*	0.003	0.000	0.005	0.020	0.033	0.021	0.016	0.020	0.018	0.017	0.019	0.024	0.017	0.022	0.021	0.021
S*	2.983	2.981	2.986	7.940	7.909	7.893	7.905	7.902	7.959	7.959	2.951	2.985	2.944	2.951	2.913	2.929
Cl*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.006	0.009	0.006	0.007	0.006
báze	6	6	6	16	16	16	16	16	16	16	7	7	7	7	7	7

průměr a vybrané bodové analýzy pro freieslebenit (celkem 2), diaforit (celkem 13) a pyrargyrit (celkem 8 bodových analýz)

\* koeficienty empirických vzorců vypočtené na bázi uvedené v tabulce.

**Diaforit**

V křemenné žilovině vytváří spolu s owyheitem a dalšími sulfidy až 1 cm velké ocelově šedé agregáty. Diaforit uzavírá nepravidelné reliktky křemene, obrůstá zrna galenitu a je intenzívně prorůstán a zatlačován mladším owyheitem (obr. 1). V karbonátové žilovině uzavírá nepravidelné reliktky freibergitu a ve formě nepravidelných

agregátů metasomaticky proniká do automorfních krystalů galenitu. V galenitu tvoří i hojné drobné inkluze. Je zatlačován mladším pyrargyritem (obr. 7).

V odraženém světle je diaforit bílý s vysokou odrazností blízkou galenitu (nažloutlý odstín), slabě bireflexní (bílý až šedý) a anizotropní (šedé a šedo hnědé efekty). Ve srůstech s owyheitem je světle šedý až šedý. Hodnota mikrotvrdosti 240 (192 - 269) kp . mm<sup>-2</sup> ( $K_{VH} = 1.40$ ) odpo-

vidá tabelárním údajům 197 - 242 kp . mm<sup>-2</sup> (Uytenboogaardt, Burke 1971; Čvileva et al. 1988), resp. 156 - 251 kp . mm<sup>-2</sup> s průměrem 190 - 205 kp . mm<sup>-2</sup> (Svešnikova 1976; rozpětí při použití závaží 30 g).

Při studiu chemického složení diaforitu (tab. 4) byl zjištěn proti ideálnímu vzorci nevelký deficit v Pb pozici (zjištěno 1.87 - 1.92 *apfu* Pb) a jen minoritní obsahy Cu (0.01 - 0.06 *apfu*) a As (0.02 - 0.04 *apfu*). Průměrný empirický vzorec studovaného diaforitu je možné vyjádřit na bázi 16 *apfu* jako (Ag<sub>3,10</sub>Cu<sub>0,01</sub>)<sub>Σ3,11</sub>Pb<sub>1,89</sub>(Sb<sub>3,04</sub>As<sub>0,02</sub>)<sub>Σ3,06</sub>S<sub>7,94</sub>. Ověřen byl (ve směsi s owyheeitem a galenitem) i rentgenometricky, zprášené parametry cely (tab. 1) velmi dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento minerální druh (Armbruster et al. 2003).

### Pyrrargyrit

V křemenné žilovině asociuje s diaforitem nebo se vyskytuje ve formě mikrorůstů s owyheeitem (velikost agregátů 200 - 250 μm). Pyrrargyrit vytváří uvnitř zrn owyheeitu drobné, nepravidelně laločnaté agregáty (obr. 9), vzhledem k owyheeitu je relativně mladší. V karbonátové žilovině tvoří makroskopicky patrné, jasně rudé agregáty o velikosti až několika mm. Uzavírá nepravidelná zrna galenitu a freibergitu, žilkovitě proniká do agregátů diaforitu, které rozčleňuje do dílčích segmentů (obr. 7).

V odraženém světle je šedomodrý, anizotropní (světlo šedé až tmavě šedé efekty) s patrnými červenohnědými vnitřními reflexy. Změřená hodnota mikrotvrdosti 122 (112 - 144) kp . mm<sup>-2</sup> (K<sub>VH</sub> = 1.40) odpovídá údajům pro řezy příčné k protažení krystalů (v průměru 138 kp . mm<sup>-2</sup> při závaží 20 g; Čvileva et al. 1988).

Při studiu chemického složení pyrrargyritu (tab. 4) bylo zjištěno, že obsahuje jen minimální podíl As (proustitové složky v rozmezí 0.01 - 0.02 *apfu*). Zajímavý je zjištěný obsah Cl (0.04 až 0.06 hm. %) odpovídající 0.006 - 0.009 *apfu*, který dosud nebyl v literatuře pro minerály izomorfní řady pyrrargyrit - proustit uváděn. Průměrný empirický vzorec studovaného pyrrargyritu je možno vyjádřit na bázi 7 *apfu* jako Ag<sub>3,03</sub>(Sb<sub>0,99</sub>As<sub>0,02</sub>)<sub>Σ1,01</sub>(S<sub>2,95</sub>Cl<sub>0,01</sub>)<sub>Σ2,96</sub>.

### Závěr

Podle mikroskopického studia probíhal vývoj minerální asociace v posloupnosti křemen, rodochrozit → freibergit → löllingit → galenit → diaforit → owyheeit, freieslebenit → pyrrargyrit. Nejstarší agregáty freibergitu, lemované nepravidelně vyvinutou zónou prizmatických krystalů löllingitu, jsou obrůstané a zatlačované galenitem. Asociace mladších komplexních Ag-Sb-Pb sulfidů má metasomatický charakter a je výsledkem reakčních přeměn mezi freibergitem a galenitem při odnosu Cu. Obdobně interpretují genezi asociace freibergit - galenit - Ag-Sb-Pb a Pb-Sb komplexní sulfidy na ložisku Příbram - Březové Hory Megarskaja a Rykl (1984). Tvorbu komplexních Ag-Sb-Pb sulfidů retrográdními reakcemi v průběhu metamorfního a hydrotermálního procesu minerogeneze předpokládají i Cook et al. (1998), Sack a Goodell (2002) nebo Hernández a Akasaka (2007).

### Poděkování

V práci jsou uvedeny výsledky výzkumu, který byl finančně podpořen Ministerstvem kultury ČR v rámci výzkumného záměru MK00002327201. Milou povinností autorů je poděkovat R. Škodovi (Masarykova univerzita, Brno) za spolupráci při laboratorním výzkumu a R. Pažoutovi (Vysoká škola chemicko-technologická, Praha) za poskytnutí řady podkladů k chemickému složení owyheeitu.

### Literatura

- Armbruster T., Makovický E., Berlepsch P., Sejkora J. (2003): Crystal structure, cation ordering, and polytypic character of diaphorite, Pb<sub>2</sub>Ag<sub>3</sub>Sb<sub>3</sub>S<sub>8</sub>, a PbS based structure. - *Eur. J. Mineral.* **15**, 137-146.
- Basu K., Bortnykov N., Mookherjee A., Mozgova N. (1980): Rare minerals from Rajpura-Dariba, Rajasthan, India 1: owyheite. - *J. Geol. Soc. India* **21**, 417-424.
- Baumann L. (1967): Zur Frage der varistischen und postvaristischen Mineralisation im sächsischen Erzgebirge. - *Freib. Forsch. - H. (Leipzig)* **C 209**, 15-38.
- Baumann L. (1994a): Klassische Erzlagerstätten des Erzgebirges. - *Aufschluss (Heidelberg)* **45**, 56-66.
- Baumann L. (1994b): The vein deposit of Freiberg, Saxony. - *Mineral Deposits, Monograph Ser.* **31**, 149-167.
- Baumann L., Kuschka E., Seifert T. (2000): Lagerstätten des Erzgebirges. - ENKE im Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Birch W. D. (1981): Silver sulphosalts from the Meer-schaum Mine, Mt. Wills, Victoria, Australia. - *Mineral. Mag.* **44**, 73-78.
- Cook N. J., Spry P. G., Vokes F. M. (1998): Mineralogy and textural relationships among sulphosalts and related minerals in the Bleikvassli Zn-Pb-(Cu) deposit, Nordland, Norway. - *Mineral. Deposita* **34**, 35-56.
- Čvileva T. N. et al. (1988): Spravočnik - opredelitel' rudnych mineralov v otažennom svete. - Izd. Nedra, Moskva, 504 s.
- Feitzinger G., Paar W. H., Tarkian M., Reche R., Weinzierl O., Prochaska W., Holzer H. (1995): Vein type A-(Au)-Pb, Zn, Cu-(W, Sn) mineralization in the Southern Kreuzeck Mountains, Carinthia Province, Austria. - *Mineral. Petrol.* **53**, 307-332.
- Gamjanin G. N., Ždanov J. J., Leskova N. V. (1985): Sulfosoli zolotorudnych mestoražděniĭ Jakutii.- *Novye dannye o mineralach SSSR* **32**, 35-48.
- Haake R., Flach S., Bode R. (1994): Mineralien und Fundstellen Bundesrepublik Deutschland. Teil II. - Bode Verlag GmbH, Haltern.
- Hernández A. N. G., Akasaka M. (2007): Silver-Bearing and Associated Minerals in El Zancudo Deposit, Antioquia, Colombia. - *Res. Geol.* **57**, 4, 386-399.
- Hoffman V., Trdlička Z. (1978): Owyheite from Kutná Hora - a new mineral for Czechoslovakia. - *N. Jb. Miner., Mh.* **2**, 45-57.
- Indolev L. N. (1964): Owyheite from deposits of the south Verkhojansk region. - *Dokl. Acad. Sci. USSR, Earth Sci.* **154**, 122-124.
- Kašpar P. (1995): Minerály stříbra II: Dyskrasit, alargentum, akantit, argentit, stromeyerit, jalpait, argentotetraedrit, argentotennantit, sternbergit, argentopyrit. - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **3**, 83-98.
- Keutsch F., Brodtkorb M. K. (2008): Metalliferous paragenesis of the San José mine, Oruro, Bolivia. - *J. South Amer. Earth Sci.* **25**, 485-491.
- Laufek F., Pažout R., Makovický E. (2007): Crystal structure of owyheite, Ag<sub>1,5</sub>Pb<sub>4,43</sub>Sb<sub>6,07</sub>S<sub>14</sub>: refinement from powder synchrotron X-ray diffraction. - *Eur. J. Mineral.* **19**, 557-566.
- 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.



- Lynch J. V. G. (1989): Large-scale hydrothermal zoning reflected in the tetrahedrite-freibergite solid solution, Keno hill Ag-Pb-Zn district, Yukon. - *Can. Mineral.* **27**, 383-400.
- Megarskaja L., Rykl D. (1984): Mineralogie přibramských sulfoantimonitů. - *Vlastivěd. Sbor. Podbrdská* **26**, 103-146.
- Moëlo 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): Sulfoalt systematics: a review report of the sulfoalt subcommittee of the IMA commission on ore mineralogy. - *Eur. J. Mineral.* **20**, 7-62.
- Moëlo Y., Mozgova N. N., Picot P., Bortnikov N., Vrublevskaya Z. (1984): Cristallochimie de l'owyheite: nouvelles données. - *Tchernaks min. petr. Mitt.* **32**, 271-284.
- Moëlo Y., Oudin E., Picot P., Pillard F. (1982): Systematique de Sulfofels de plomb - Nouvelles données. - In: Resumée de principaux resultans scientifiques du S. G. N. pour 1981, 96-97. BRGM, Orléans.
- Mozgova N. N., Nenaševa S. N., Borodaev J. S., Rjabeva J. G., Gamjanin G. N. (1988): Vismutovij teremkovit - novaja raznavidnost ovchiita. - *Dokl. Akad. Nauk SSSR* **303**, 1, 194-199.
- Noda Y., Masumoto K., Ohba S., Saito Y., Toriumi K., Iwata Y., Shibuya I. (1987): Temperature dependence of atomic thermal parameters of lead chalcogenides, PbS, PbSe and PbTe. - *Acta Crystallogr. C* **43**, 1443-1445.
- 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.
- Sack R. O., Goodell P. C. (2002): Retrograde reactions involving galena and Ag-sulphosalts in a zoned ore deposit, Julcani, Peru. - *Mineral. Mag.* **66**, 1043-1062.
- Sack R. O., Loucks R. R. (1985): Thermodynamic properties of tetrahedrite-tenantites: constraints on the interdependence of the Ag = Cu, Fe = Zn, Cu = Fe, and As = Sb exchange reactions. - *Am. Mineral.* **70**, 1270-1289.
- Seifert T., Sandmann D. (2006): Mineralogy a geochemistry of indium-bearing polymetallic vein-type deposits: Implications for host minerals from the Freiberg district, Eastern Erzgebirge, Germany. - *Ore Geology Reviews* **28**, Spec. Issue 1, 1-31.
- Sejkora J., Litochleb J., Zemek V. (2002): Příspěvek k chemickému složení rudních minerálů jižní části kutnohorského rudního revíru. - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **10**, 283-289.
- Sveshnikova O. L., Rakcheyev A. D. (1966): Owyheite from the Darasun ore fields (Eastern Transbaikal). - *Dokl. Acad. Sci. USSR, Earth Sci.*, 165, 144-146.
- Svešnikova O. L. (1975): Chimičeskij sostav i klassifikacija sulfoantimonidov svinca i serebra. - *Novye dannye o mineralach SSSR* **24**, 107-119.
- Svešnikova O. L. (1976): Mikrotverdosť sulfoantimonitov svinca i serebra. - *Novye dannye o mineralach SSSR* **25**, 193-199.
- Svešnikova O. L., Jermilov V. V. (1985): Novyj tip serebrjanoj mineralizacii v Primorje. - *Novye dannye o mineralach SSSR* **32**, 106-118.
- Škvor V., Watznauer A. (1968): Geology of the Krušné hory (Erzgebirge) Mountains. Guide to Excursion 10 AC, Czechoslovakia, German Democratic Republic. - *Int. Geol. Congress, XXIII Ses.*, Prague. Geol. Survey of Czechoslovakia, 36 pp.
- Uytenbogaardt W. (1967): Results of Vickers Hardness measurements on ore minerals, achieved in different laboratories since 1956. Second summary, 1967. - Publ. Nr. 46, Dep. Mineral. Petrol., Inst. Earth Sci., Free Univ., Amsterdam.
- Uytenbogaardt W., Burke E. A. J. (1971): Tables for microscopic identification of ore minerals. - Elsevier Publ. Comp., Amsterdam, London, New York, 430 pp.
- Weber W. (1986): Der Freiburger Bergbau. - *Lapis* **11**, 7-8, 13-27.
- Weber W. (1992): Das Freiburger Bergrevier. - In: *Exkursionführer VFMG Sommertagung, Freiberg, Sachsen*, 18.- 21. September 1992.
- Witzke T., Rank K. (1991): Owyheite - eine mineralogische Kostbarkeit der Freiburger Erzgänge. - *Aufschluss (Heidelberg)* **42**, 101-104.