

## NOVÉ POZNATKY O SULFOSOLOVÉ MINERALIZACI LOŽISKA HŮRKY V ČISTECKO-JESENICKÉM MASIVU (ČESKÁ REPUBLIKA)

NEW KNOWLEDGES ON SULFOSALT MINERALIZATION OF THE DEPOSIT HŮRKY,  
ČISTÁ-JESENICE MASSIF (CZECH REPUBLIC)

JIŘÍ SEJKORA, PETR PAULIŠ, ZDENĚK DOLNÍČEK, JANA ULMANOVÁ

### Abstract

Sejkora, J., Pauliš, P., Dolníček, Z., Ulmanová, J., 2022: Nové poznatky o sulfosolové mineralizaci ložiska Hůrky v čistecko-jesenickém masivu (Česká republika). - Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 107, 2, 127-143 (with English summary).

*New knowledges on sulfosalt mineralization of the deposit Hůrky, Čistá-Jesenice Massif (Czech Republic)*

New samples of hydrothermal sulfosalt mineralization were recently collected at the mine dump of the vein No. 1 of the abandoned small deposit Hůrky near Velká Chmelištná in the Čistá-Jesenice Massif, 14 km WSW of Rakovník, Central Bohemia Region, Czech Republic. Beside pyrite and sphalerite, galena and sulfosalts form grey to dark grey aggregates and crystals up to several mm in size, which are enclosed in quartz gangue. Gustavite forms abundant subhedral to euhedral elongated grains up to 100  $\mu\text{m}$  in length in galena. It is usually associated with felbortalite, heyrovskýite and vikingite. The calculated value of  $N_{\text{chem}}$  for gustavite is ranging from 3.97 to 4.17 and the L% of lillianite substitution varies between 56.2-89.7. Minor contents of Cd (up to 0.04 *apfu*) and Te (up to 0.02 *apfu*) are interesting. Abundant vikingite occurs as subhedral to euhedral elongated crystals up to 400  $\mu\text{m}$  in length in galena, in association with heyrovskýite, gustavite and felbortalite. Vikingite from Hůrky has calculated value of  $N_{\text{chem}}$  in the range 5.12-5.66 and 42.5-55.5 L% of lillianite substitution. Minor concentrations of Cd (up to 0.18 *apfu*) and Te (up to 0.10 *apfu*) were detected. The average (n=30) empirical formula of vikingite based on S+Te = 30 *apfu* is  $(\text{Ag}_{3.40}\text{Cu}_{0.07})_{\Sigma 3.47}(\text{Pb}_{10.6}\text{Cd}_{0.11})_{\Sigma 10.71}\text{Bi}_{11.38}(\text{S}_{29.92}\text{Te}_{0.08})_{\Sigma 30.00}$ . Heyrovskýite forms abundant anhedral to euhedral grains up to 0.5 mm in size in galena and intergrowths with felbortalite, gustavite and vikingite. The calculated value of  $N_{\text{chem}}$  for new samples of heyrovskýite from Hůrky varies from 6.55 to 7.32. The observed lillianite substitution in the range 29.9-47.8 L% is significantly higher than was found in the type material of heyrovskýite from this locality with values ranging from 8 to 19 L%. Rare felbortalite occurs as subhedral to euhedral elongated grains up to 150  $\mu\text{m}$  in length in galena, usually in association with heyrovskýite, vikingite and gustavite. The Ag and Cu contents in felbortalite are 0.51-0.72 and 1.80-2.01 *apfu*, respectively, and minor concentrations of Cd (up to 0.06 *apfu*) and Te (up to 0.09 *apfu*) were also detected. The average (n=22) empirical formula of felbortalite based on sum of all atoms = 35 *apfu* is  $\text{Cu}_{1.94}\text{Ag}_{0.59}(\text{Pb}_{4.81}\text{Cd}_{0.03})_{\Sigma 4.84}(\text{S}_{19.14}\text{Te}_{0.08})_{\Sigma 19.22}$ . Very rare cosalite occurs as grains up to  $30 \times 80 \mu\text{m}$  in size lined by felbortalite in galena aggregates. The Ag and Cu contents in cosalite are 0.91-1.16 and 1.49-1.62 *apfu*, respectively, and minor concentrations of Te (up to 0.09 *apfu*) and In (up to 0.02 *apfu*) were also detected. The average (n=19) empirical formula of cosalite based on S+Te = 20 *apfu* is  $\text{Cu}_{1.58}\text{Ag}_{1.03}(\text{Pb}_{7.34}\text{In}_{0.01})_{\Sigma 7.35}\text{Bi}_{7.43}(\text{S}_{19.92}\text{Te}_{0.08})_{\Sigma 20.00}$ .

**Key words:** sulfosalts, felbortalite, lillianite homologues, gustavite, vikingite, heyrovskýite, cosalite, chemical composition, Hůrky near Rakovník, Czech Republic

Jiří Sejkora, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Prague 9-Horní Počernice; e-mail: jiri.sejkora@nm.cz

Petr Pauliš, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Prague 9-Horní Počernice

Zdeněk Dolníček, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Prague 9-Horní Počernice

Jana Ulmanová, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Prague 9-Horní Počernice

## 1. ÚVOD

Žilné polymetalické zrudnění s obsahem stříbra, olova a snad i zlata, vystupuje ve východním, severním až severozápadním okolí osady Hůrky (německy Bergwerk), která je součástí obce Velká Chmelištná, 14 km zjz. od Rakovníka (Středočeský kraj, Česká republika). Nejstarší zpráva o těžbě tohoto ložiska pochází od K. h. Šternberka, podle něhož roku 1544 dal král Ferdinand hraběti Wolfovi z Guttenštejna příkaz „aby hory začal, pozvedl a dobyté rudy dodával do Jáchymovské mincovny“. Podle PEITHNERA VON LICHTENFELSE (1780) je zmínka pravděpodobně o tomto bývalém zlatodole uvedena ve zprávě královské komory České z roku 1581, kde se uvádí, že jeho vlastníkem byl hrabě Černín z Jesenice. S přestávkami do roku 1656 tu byl těžen slabě zlatonosný pyrit a stříbronosný galenit. V 19. století tu bylo provedeno několik neúspěšných a krátkodobých pokusů o obnovu těžby. POŠEPNÝ (1895) shrnuje údaje von Lichtenfelse, Šternberka a Ponfíkla. Zmiňuje se zejména o rýžování mezi osadou Hůrky a Řeřichy. Podrobněji se ložiskem zabýval KATZER (1885), který měl možnost navštívit starou štolu u Hůrek. Zmiňuje výskyt stříbrnosného galenitu, zlatonosného pyritu, sfaleritu, arsenopyritu a bournonitu. Hloubka starých prací nepřesáhla 30 m, po těžbě se zachovala řada odvalů, pinek a tři zavalené stoly.

Ve druhé polovině 20. století byl v oblasti čistecko-jesenického masivu prováděn ložiskový výzkum. Nejprve v letech 1959–1960 pod vedením J. Koutka. Molybdenitová mineralizace zjištěná KOPECKÝM (1971, 1982) v exokontaktu čisteckého pně byla ověřována intenzivním průzkumem v 80. letech (CHRT *et al.* 1985). Vypočtené zásoby byly klasifikovány jako nebilanční. Spolu s průzkumem na molybden byla sledována zirkoniová mineralizace se zvýšenými obsahy prvků vzácných zemin vyskytující se ve větších koncentracích v alkalických metasomatitech (fenitech), které se vyvinuly v mylonitizované zóně lemující intruzi čisteckého granodioritu (KOPECKÝ 1971; KOPECKÝ *et al.* 1980, 1982, 1997). V rámci výzkumného projektu „Analýza nových výskytů prvků vzácných zemin“ byly provedeny základní mineralogicko-geochemické analýzy odebraných vzorků a jejich vyhodnocení z hlediska ložiskového potenciálu (TVRDÝ *et al.* 2021a). Bylo zjištěno, že alkalické metasomaty obsahují velmi pestrá asociace REE minerálů (24 druhů) (TVRDÝ *et al.* 2021b).

## 2. LOŽISKOVÁ A MINERALOGICKÁ CHARAKTERISTIKA

Hydrotermální ložisko Hůrky je tvořené pěti paralelními křemennými žilami, které pronikají mylonitovým pásmem při východním okraji čistecko-jesenického granitoidního masivu. Čistecko-jesenický masiv tvoří starší tzv. tiská žula kadomského stáří ( $504,8 \pm 1,0$  Ma; VENERA *et al.* 2000) a relativně mladší čistecký biotitický granodiorit variského stáří ( $373,1 \pm 1,1$  Ma; VENERA *et al.* 2000). Ten tvoří oválný pně, který spolu se žilným doprovodem (granodioritový aplit, porfyrit aj.) pronikl starším tiským granitem, jenž představuje hlavní horninový typ čistecko-jesenického granitoidního masivu. Granitoidní horniny masivu pronikají komplexem fylitizovaných břidlic a drob tepelsko-barrandienského svrchního proterozoika. Severovýchodní omezení masivu, které je tektonické, tvoří na povrchu karbonské sedimenty westfalu. Mylonitová zóna v tiské žule, která lemují eliptickou intruzi čisteckého granodioritu, je několik desítek až stovek metrů mocná. Původní charakter mylonitů je silně setřen fenitizací (KOPECKÝ *et al.* 1980). Detailní popis geologických, petrologických a mineralogických poměrů alkalických metasomatických produktů (fenitů) se zvýšeným obsahem molybdenitu a REE minerálů uvádějí KOPECKÝ *et al.* (1980) a TVRDÝ *et al.* (2021b).

V okolí ložiska Hůrky se stýká těleso granodioritu s hrubozrnnou tiskou žulou, která je při kontaktu mylonitizována a fenitizována. Fenitizovanou zónu proniká několik zhruba paralelních žil, tvořených apliticko-křemennou žilovinou. Podle KLOMÍNSKÉHO (1962) bylo kutáno celkem na pěti žilách, jejichž průběh lze sledovat podle starých baňských děl. Svislé křemenné žily mají sj. směr, na severu se stáčejí k západu. Mocnost kolísá od několika dm do 5 m. Na povrchu jsou sledovatelné v délce 200–600 m. Žily jsou většinou konformní s foliací fenitů, místy jsou k ní příčné a jsou mladší než fenitizace. Rudní minerály pronikají žilovinou v podobě drobných krátkých žilek mm mocností a tvoří často shluky větších zrn nebo jemnozrnné impregnace. Žilovinou je masivní křemen několika, patrně tří generací bělošedé až červenavé barvy, červenavá barva je způsobena jemně vtroušeným hematitem. Místy jsou dosti časté žilky růžového karbonátu dolomitového charakteru a bílého kalcitu. Karbonáty prorůstají v nepravidelných impregnačních křemen II i III, vyplňují praskliny a dutiny v křemeni. Vytvářejí též drúzovité povlaky a až 5 mm velké krystaly. Vzácně byl v ojedinělých fialových zrncích zjištěn fluorit (BERNARDOVÁ IN KOPECKÝ *et al.* 1980).

Z rudních minerálů, které popisuje KLOMÍNSKÝ (1962) jsou běžné molybdenit, pyrit a galenit, vzácnější sfalerit a chalkopyrit. Jako nový minerál byl na ložisku popsán heyrovskýit (KLOMÍNSKÝ *et al.* 1971), vytvářející ocelově šedé, kovově lesklé až 2 cm dlouhé jehlicovité agregáty srůstající s galenitem a cosalitem. Jde o ortorombický  $Pb_6Bi_2S_9$  z lillianitové skupiny. Dříve uváděné sulfidy arzenopyrit a bournonit nebyly nově potvrzeny. Průměrné vzorky žiloviny odebrané namátkou ze starých odvalů ze střední a severní žily vykázaly 2,8 a 3,2 g/t Au. Z odkryvu žily zavalené šachtice č. IV byl odebrán vzorek přes celou mocnost s obsahem 0,35 % Pb, 0,07 % Zn a 0,02 % Bi (KOPECKÝ *et al.* 1980).

Sulfidická mineralizace byla zjištěna i v různých typech fenitů, vedle molybdenitu a pyritu, jde o chalkopyrit, galenit a sfalerit, které provázejí magnetit, fluorit, baryt, zirkon, eudialyt, pyrochlor a další (CHRT *et al.* 1985).

Zajímavá je i zdejší supergenní mineralizace, reprezentovaná covellinem, ryzí sírou (KLOMÍNSKÝ 1962), wulfenitem, ferimolybditem (dříve byl uváděn jako molybdenový okr) a jarositem (MRÁZEK 1981). ŽÁČEK *et al.* (2008) studovali molybdenem bohatý jarosit s obsahem až 6,8 %  $MoO_3$ .

### 3. METODIKA VÝZKUMU

Chemické složení sulfidů a sulfosolů bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha) ve vlnově disperzním modu (25 kV, 20 nA a průměr svazku 0,7  $\mu m$ ). Použité standardy a analytické čáry: Ag ( $AgL\alpha$ ),  $Bi_2Se_3$  ( $BiM\beta$ ), CdTe ( $CdL\alpha$ ), Co ( $CoK\alpha$ ),  $CuFeS_2$  ( $CuK\alpha$ ,  $SK\alpha$ ),  $FeS_2$  ( $FeK\alpha$ ), GaAs ( $GaL\alpha$ ), Ge ( $GeL\alpha$ ), HgTe ( $HgL\alpha$ ), InAs ( $InL\alpha$ ), Mn ( $MnK\alpha$ ), NaCl ( $ClK\alpha$ ), NiAs ( $AsL\beta$ ), Ni ( $NiK\alpha$ ), PbS ( $PbM\alpha$ ), PbSe ( $SeL\beta$ ), PbTe ( $TeL\alpha$ ),  $Sb_2S_3$  ( $SbL\alpha$ ), Sn ( $SnL\alpha$ ), TlBrI ( $TlL\alpha$ ) a ZnS ( $ZnK\alpha$ ). Obsahy výše uvedených měřených prvků, které nejsou zahrnuty v tabulkách, byly kvantitativně analyzovány, ale zjištěné obsahy byly pod detekčním limitem (cca 0,03–0,15 hm. % pro jednotlivé prvky). Získaná data byla korigována za použití algoritmu PAP (POUCHOU, PICHOU 1985).

Číslo homologu ( $N_{chem}$ ) a rozsah lillianitové substituce  $2Pb = Bi + Ag$  (L%) byl pro členy lillianitové homologické série vypočten na základě vzorců:  $N = -1 + (1/(Bi_i + (Pb_i/2) - 0,5))$ ; resp.  $L\% = 1 - (2Bi_i - Pb_i - 1) / (6(Pb_i/2 + Bi_i - 5/6))$ . Iniciální obsahy prvků nezbytné pro výpočet jsou zjištěny pomocí vzorců:  $Ag_i = (Ag + Cu) / \Sigma kat.$ ;  $Pb_i = (Pb + Cd + Fe + Mn) / \Sigma kat.$ ;  $Bi_i = (Bi + Sb) / \Sigma kat.$  jako poměr obsahu prvků (v atom. %) a sumy atomových % všech kationtů (MAKOVICKÝ, KARUP-MØLLER 1977a; MAKOVICKÝ 2019).

### 4. CHARAKTERISTIKA ZJIŠTĚNÉ MINERALIZACE

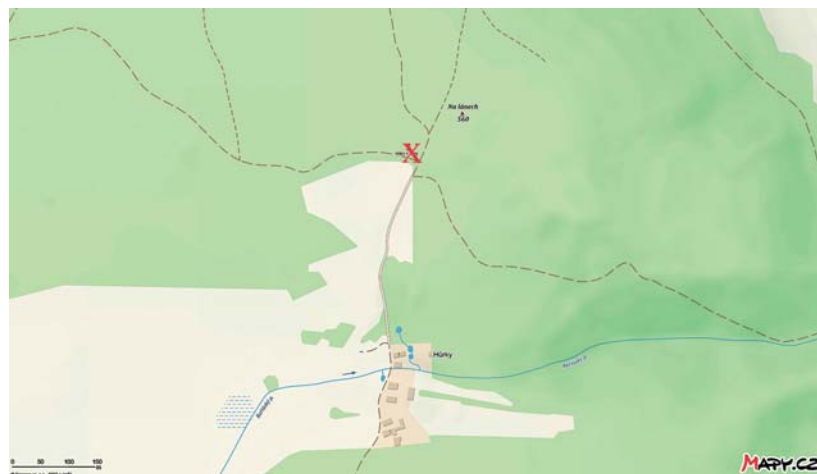
Pro výzkum byly použity vzorky odebrané druhým z autorů v roce 2022 ze starých odvalů v okolí velké pinky (obr. 1) lokalizované na kraji lesa cca 450 m severně od osady Hůrky

(obr. 2 – GPS souřadnice: 50°4'45.1" N; 13°33'34.7"). Pinka je pozůstatkem po historické těžbě na žíle číslo 1 podle označení KLOMÍNSKÉHO (1962), v registru důlních děl a poddolovaných území České geologické služby ([https://mapy.geology.cz/dulni\\_dila\\_poddolovani](https://mapy.geology.cz/dulni_dila_poddolovani)) je uvedena pod číslem 9820 (velká pinka Hůrky u Čisté). Odebrané vzorky jsou úlomky křemenné žiloviny velikosti do 6 cm, tvořené světle šedobílým křemenem, na puklinách hnědě zbarveným hydroxidem  $Fe^{3+}$ . Žilovina obsahuje až 3 mm velká zrna a krychlové krystaly pyritu, hnědá zrna sfaleritu do 3 mm a několik mm velká, šedá, kovově lesklá zrna galenitu, se kterým srůstají, nebo do křemenné žiloviny samostatně zarůstají, tmavošedá zrna a jehlicovité agregáty sulfosolů.



Obr. 1. Velká pinka u Hůrek, foto P. Pauliš, duben 2022.

Fig. 1. Great pinge near Hůrky, photo P. Pauliš, april 2022.



Obr. 2. Topografická situace místa nálezů sulfosolové mineralizace v Hůrkách, upraveno podle <https://mapy.cz/>.

Fig. 2. Topographic situation of the sulfosalt mineralization find at the Hůrky, adapted from <https://mapy.cz/>.

## Gustavit

Gustavit ve studovaných vzorcích reprezentuje jednu z běžných sulfosolů. Často vytváří monominerální hypidiomorfní až idiomorfní protažená zrna o délce do 100  $\mu\text{m}$ , uzavřená v galenitu (obr. 3a). Běžné jsou také lamelární srůsty gustavitu s dalšími sulfosolemi, jmenovitě s felbortalitem, heyrovskýitem a vikingitem (obr. 3b–c). V tomto případě jednotlivé fáze vytvářejí v rámci jednoho minerálního zrna/kryystalu sulfosolů úzké (10–30  $\mu\text{m}$  mocné) paralelní lišty o délce do 80  $\mu\text{m}$ . V podélných řezech jsou lamely orientovány paralelně s protažením zrn. Sukcesní vztahy gustavitu k ostatním sulfosolům nejsou jasné: v jednom případě byla pozorována stavba, kdy se zdá gustavit od okraje zatlačován heyrovskýitem lemovaným vikingitem (obr. 3d), zatímco v druhém případě se zdá gustavit naopak narůstat na vikingit (obr. 3e).

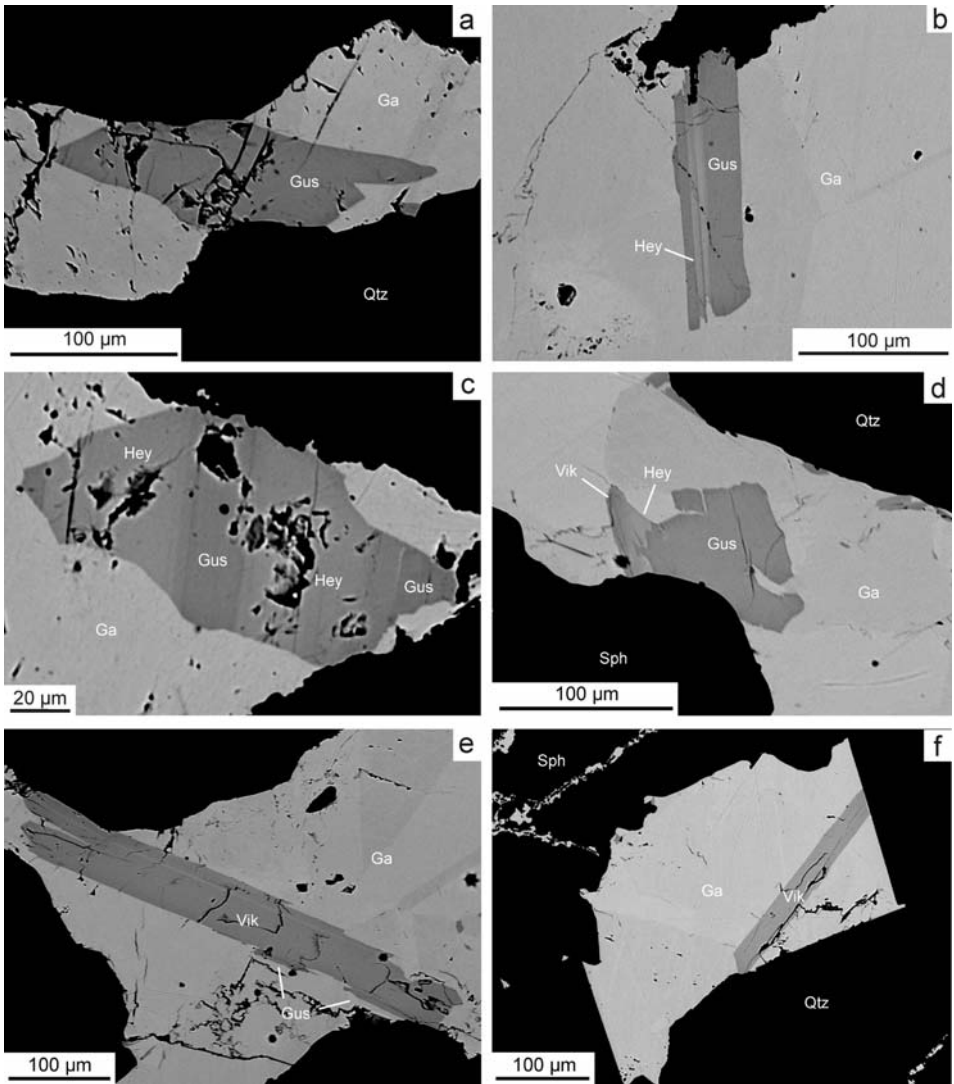
Gustavit jako  ${}^4\text{L}$  člen lillianitové homologické série s  $N_{\text{chem}} = 4$  vytváří izomorfní řadu s lillianitem (MOËLO *et al.* 2008; PAŽOUT 2017). Pro gustavit z Hůrek (obr. 4) byly zjištěny hodnoty  $N_{\text{chem}}$  v rozmezí 3,97–4,17 (průměr 4,08) a poměrně široký rozsah lillianitové substituce ( $2\text{Pb} = \text{Bi} + \text{Ag}$ ): 56,2–89,7 (průměr 68,1) L%. Pozoruhodné jsou zjištěné pravidelné minoritní obsahy Cd (do 0,04 *apfu*) a Te (do 0,02 *apfu*), nepravidelné obsahy Cu se pohybují do 0,03 *apfu*. Reprezentativní chemické analýzy gustavitu a odpovídající koeficienty empirického vzorce na bázi 11 *apfu* jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Chemické složení gustavitu z Hůrek (hm. %).

Table 1. Chemical composition of gustavite from Hůrky (wt. %).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ag	5,13	5,55	5,41	5,81	6,00	6,19	6,04	5,98	6,57	6,34	7,11	8,19	8,11	8,61
Pb	32,40	32,22	31,52	31,33	30,76	30,24	30,11	30,07	29,00	28,58	27,03	23,63	22,16	21,26
Cd	0,38	0,30	0,39	0,24	0,27	0,24	0,19	0,35	0,21	0,38	0,16	0,19	0,13	0,36
Cu	0,07	0,08	0,05	0,05	0,07	0,06	0,07	0,17	0	0,09	0	0,07	0,08	0,07
Bi	45,21	45,97	46,84	46,94	47,58	47,33	47,31	48,09	47,78	48,34	49,78	51,66	51,90	53,36
Te	0,23	0,20	0,20	0,18	0,19	0,24	0,23	0,21	0,20	0,17	0,17	0,14	0,08	0,10
S	16,55	16,73	16,85	16,86	16,80	16,92	16,86	17,15	16,61	17,11	17,2	17,11	17,14	17,65
total	99,97	101,05	101,26	101,41	101,67	101,22	100,81	102,02	100,37	101,01	101,45	100,99	99,60	101,41
Ag	0,555	0,593	0,576	0,617	0,637	0,656	0,643	0,627	0,705	0,668	0,745	0,857	0,854	0,884
Pb	1,825	1,793	1,747	1,733	1,700	1,668	1,668	1,641	1,619	1,568	1,474	1,287	1,215	1,136
Cd	0,039	0,031	0,040	0,024	0,028	0,024	0,019	0,035	0,022	0,038	0,016	0,019	0,013	0,035
Cu	0,013	0,015	0,009	0,009	0,013	0,011	0,013	0,030	0,000	0,016	0,000	0,012	0,014	0,012
Bi	2,524	2,536	2,574	2,574	2,607	2,588	2,599	2,602	2,645	2,629	2,691	2,790	2,822	2,828
Te	0,021	0,018	0,018	0,016	0,017	0,021	0,021	0,019	0,018	0,015	0,015	0,012	0,007	0,009
S	6,023	6,015	6,036	6,026	5,999	6,031	6,037	6,047	5,992	6,065	6,060	6,022	6,074	6,096
$N_{\text{chem}}$	4,07	4,15	3,97	4,09	4,09	4,15	4,09	4,08	4,14	4,06	4,06	4,17	4,04	4,07
L%	56,18	58,58	59,62	61,52	63,44	64,57	64,67	65,12	67,75	68,34	74,24	83,40	87,34	89,69

1–14 reprezentativní bodové analýzy, koeficienty empirického vzorce vypočítány na bázi 11 *apfu*.  
1–14 representative point analyses; corresponding *apfu* values are based on total 11 *apfu*.



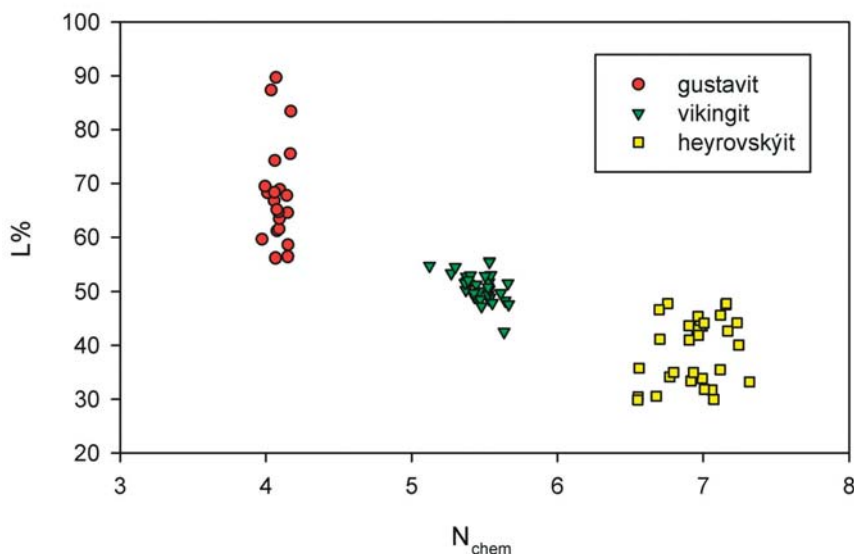
Obr. 3. Vývin a minerální asociace studovaných sulfosolů na BSE snímcích. a - Hypidiomorfně omezené zrno gustavitu (Gus) uzavřené v galenitu (Ga) v asociaci s křemenem (Qtz). b - Lamela gustavitu (Gus) uzavřená v heyrovskýitu (Hey) v asociaci s galenitem. c - Lamelární srůst gustavitu (Gus) s heyrovskýitem (Hey) s rytmicky se opakující sekvencí lamel uzavřený v galenitu. d - Zatlačování (?) gustavitu heyrovskýitem a vikingitem (Vik). e - Nárůst (?) gustavitu na vikingit. f - Automorfně omezená lišta vikingitu uzavřená v galenitu.

Fig. 3. Morphology and mineral association of studied sulfosalts in BSE photographs. a - Subhedral grain of gustavite (Gus) enclosed in galena (Ga) in association with quartz (Qtz). b - Lamella of gustavite (Gus) enclosed in heyrovskýite (Hey) in association with galena. c - Lamellar intergrowth of gustavite with heyrovskýite with rhythmically repeated sequence of lamellae enclosed in galena. d - Replacement (?) of gustavite by heyrovskýite and vikingite (Vik). e - Overgrowths (?) of gustavite on vikingite. f - Euhedral lath of vikingite enclosed in galena.

## Vikingit

Vikingit je ve studovaném materiálu běžnou fází. Vytváří buď automorfně až hypautomorfně omezené (obr. 3d-f) sloupcovité, kose ukončené (obr. 3f) krystaly o délce do 400  $\mu\text{m}$  uzavřené v galenitu. Častý je též v lamelárních srůstech s některými dalšími sulfosolemi, a sice s heyrovskýmitem, gustavitem a felbortalitem.

Vikingit je definován jako  $^{4,7}\text{L}$  člen lillianitové homologické série s  $N_{\text{chem}} = 5,5$ ; rozsah lillianitové substituce  $2\text{Pb} = \text{Bi} + \text{Ag}$  je pro přírodní vzorky uváděn v rozmezí 40–75 L% (MAKOVICKY, KARUP-MØLLER 1977b; MOËLO *et al.* 1987; MAKOVICKY *et al.* 1992; PAŽOUT 2017; PAŽOUT, DUŠEK 2021). Ideální vzorec uváděný pro vikingit jako  $\text{Ag}_5\text{Pb}_8\text{Bi}_{13}\text{S}_{30}$  (MAKOVICKY, KARUP-MØLLER 1977b; MOËLO *et al.* 2008) odpovídá vikingitu s L% = 71,5. Krystalová struktura vikingitu byla vyřešena na základě vzorku z La Roche Balue, Francie (MAKOVICKY *et al.* 1992) s L% blízkým 50 a odpovídajícím ideálnímu vzorci  $\text{Ag}_4\text{Pb}_{10}\text{Bi}_{12}\text{S}_{30}$ , strukturní vzorec je uváděn jako  $\text{Ag}_{3,5}\text{Pb}_{11,0}\text{Bi}_{11,5}\text{S}_{30}$ . Struktura Sb-bohatého vikingitu s nižším stupněm substituce odpovídající L% = 40 byla publikována z kutnohorského rudního revíru (PAŽOUT, DUŠEK 2021). Strukturní vzorec tohoto vikingitu je uváděn jako  $\text{Ag}_{2,85}\text{Pb}_{12,5}(\text{Bi}_{9,52}\text{Sb}_{1,27})_{\Sigma 10,80}\text{S}_{30}$ . Pro nově studovaný vikingit z Hůrek (tab. 2) byly zjištěny hodnoty  $N_{\text{chem}}$  5,47 (5,12–5,66) a rozmezí lillianitové substituce 42,5–55,5 (průměr 50,7) L% (obr. 4). Z minoritních prvků jsou zajímavé obsahy Cd (do 0,18 *apfu*) a Te (do 0,10 *apfu*); obsahy Cu jsou nepravidelné a nepřevyšují 0,21 *apfu*. Empirický vzorec vikingitu z Hůrek (průměr 30 bodových analýz) vypočtený na bázi  $\text{S} + \text{Te} = 30$  *apfu* ( $\text{Ag}_{3,40}\text{Cu}_{0,07})_{\Sigma 3,47}(\text{Pb}_{10,60}\text{Cd}_{0,11})_{\Sigma 10,71}\text{Bi}_{11,38}(\text{S}_{29,92}\text{Te}_{0,08})_{\Sigma 30,00}$  velmi dobře odpovídá strukturnímu vzorci vikingitu z La Roche Balue (MAKOVICKY *et al.* 1992).



Obr. 4. Chemické složení minerálů lillianitové homologické série z Hůrek v grafu  $N_{\text{chem}}$  vs. L%.

Fig. 4. Chemical composition of minerals of lillianite homologous series from Hůrky in the plot  $N_{\text{chem}}$  vs. L%.

Tabulka 2. Chemické složení vikingitu z Hůrek (hm. %).

Table 2. Chemical composition of vikingite from Hůrky (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ag	6,26	6,20	6,43	6,45	6,10	5,97	5,62	6,63	6,05	6,20	6,21	5,33
Pb	37,50	35,28	37,11	37,10	37,81	38,45	38,98	36,73	37,91	37,29	38,12	41,43
Cd	0,21	0,20	0,13	0,09	0,31	0,34	0,18	0,11	0,31	0,30	0,29	0,21
Cu	0,08	0,23	0,00	0,05	0,09	0,11	0,19	0,06	0,13	0,10	0,12	0,07
Bi	40,60	42,60	41,13	41,33	40,55	40,24	39,50	41,16	40,05	40,08	40,12	37,87
Te	0,18	0,19	0,23	0,22	0,13	0,16	0,17	0,20	0,15	0,16	0,14	0,19
S	16,38	16,55	16,48	16,56	16,28	16,21	16,26	16,57	16,22	16,22	16,27	16,25
total	101,21	101,25	101,51	101,80	101,27	101,48	100,90	101,46	100,82	100,35	101,27	101,35
Ag	3,401	3,331	3,467	3,462	3,335	3,276	3,074	3,557	3,319	3,400	3,396	2,916
Pb	10,599	9,868	10,418	10,367	10,761	10,985	11,101	10,260	10,826	10,647	10,854	11,802
Cd	0,111	0,103	0,067	0,046	0,163	0,179	0,094	0,057	0,163	0,158	0,152	0,110
Cu	0,070	0,210	0,000	0,046	0,084	0,102	0,176	0,055	0,121	0,093	0,111	0,065
Bi	11,378	11,814	11,448	11,450	11,442	11,398	11,152	11,399	11,339	11,346	11,326	10,696
Te	0,082	0,086	0,105	0,100	0,060	0,074	0,079	0,091	0,070	0,074	0,065	0,088
S	29,918	29,914	29,895	29,900	29,940	29,926	29,921	29,909	29,930	29,926	29,935	29,912
$N_{chem}$	5,47	5,12	5,37	5,39	5,43	5,47	5,48	5,51	5,52	5,53	5,61	5,63
L%	50,67	54,83	51,64	52,13	49,73	48,57	47,30	52,93	49,42	50,39	49,71	42,54

mean – průměr 30 bodových analýz; 1–11 reprezentativní bodové analýzy, koeficienty empirického vzorce vypočítány na bázi S+Te = 30 *apfu*.

mean – mean of 30 point analyses; 1–11 representative point analyses; corresponding *apfu* values are based on S+Te = 30 *apfu*.

### Heyrovskýit

Heyrovskýit je ve studovaném materiálu běžně přítomen. Vytváří buď monominerální individua automorfního až xenomorfního (obr. 3d) omezení až 0,5 mm velká, vždy zarostlá v galenitu. Časté jsou také lamelární srůsty (obr. 3b–c) s felbertalitem, gustavitem a vikingitem.

Heyrovskýit byl popsán z Hůrek jako nový minerál KLOMÍNSKÝM *et al.* (1971) se vzorcem  $Pb_{5,16}Ag_{0,24}Bi_{2,48}S_9$ ; později byl definován jako  ${}^7L$  člen lillianitové homologické série (MAKOVICKÝ, KARUP-MØLLER 1977b) a pro materiál z různých lokalit bylo zjištěno významné uplatnění lillianitové substituce ( $2Pb = Bi + Ag$ ) až do takřka 70 L% (MAKOVICKÝ *et al.* 1991). Heyrovskýit z nově studovaného materiálu z Hůrek (obr. 4) vykazuje hodnoty  $N_{chem}$  v rozmezí 6,55–7,32 (průměr 6,94) a výrazně vyšší zastoupení lillianitové substituce (29,9–47,8 L%) než bylo zjištěno v původním materiálu KLOMÍNSKÉHO *et al.* (1971) s L% v rozmezí 8–19 (obr. 5). Z minoritních prvků bylo v nově studovaném heyrovskýitu zjištěno zastoupení Cu, Te a Cd do 0,03; 0,04 a 0,07 *apfu*. Reprezentativní chemické analýzy a odpovídající koeficienty empirických vzorců na bázi S+Te = 9 *apfu* jsou uvedeny v tabulce 3.



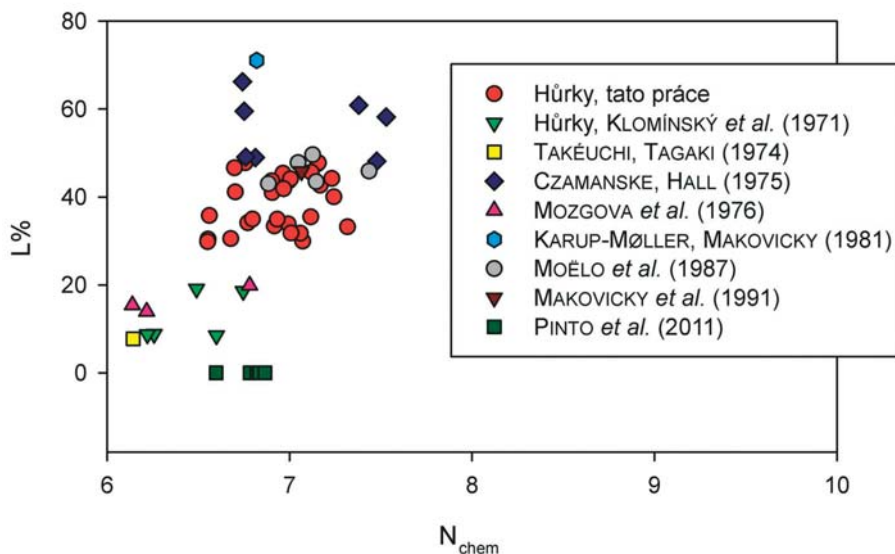
Tabulka 3. Chemické složení heyrovskýitu z Hůrek (hm. %).

Table 3. Chemical composition of heyrovskýite from Hůrky (wt. %).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ag	4,09	4,21	4,66	4,49	4,71	4,94	5,04	5,88	6,11	6,24	6,30	6,58	7,02	6,76
Pb	49,53	49,28	48,84	48,13	48,03	47,65	47,74	45,48	43,89	42,92	42,28	41,38	41,36	40,60
Cd	0,07	0,10	0,00	0,09	0,10	0,06	0,15	0,07	0,15	0,07	0,02	0,08	0,08	0,12
Cu	0,06	0,07	0,16	0,20	0,13	0,09	0,14	0,08	0,17	0,08	0,23	0,10	0,11	0,10
Bi	32,02	31,87	31,20	32,15	32,16	32,76	32,75	33,86	34,88	35,44	35,97	36,96	36,63	37,06
Te	0,25	0,23	0,16	0,21	0,18	0,14	0,22	0,21	0,20	0,22	0,19	0,19	0,23	0,21
S	15,81	15,74	15,76	15,87	15,73	15,90	15,90	15,83	15,88	16,01	15,98	15,95	16,05	16,20
total	101,83	101,50	100,78	101,14	101,04	101,54	101,94	101,41	101,28	100,98	100,97	101,24	101,48	101,05
Ag	0,689	0,713	0,789	0,754	0,799	0,829	0,845	0,990	1,026	1,039	1,052	1,100	1,166	1,113
Pb	4,346	4,345	4,305	4,210	4,241	4,165	4,167	3,988	3,837	3,721	3,674	3,603	3,576	3,479
Cd	0,011	0,016	0,000	0,015	0,016	0,010	0,024	0,011	0,024	0,011	0,003	0,013	0,013	0,019
Cu	0,017	0,020	0,046	0,057	0,037	0,026	0,040	0,023	0,048	0,023	0,065	0,028	0,031	0,028
Bi	2,786	2,786	2,727	2,788	2,815	2,839	2,834	2,944	3,023	3,046	3,099	3,190	3,140	3,149
Te	0,036	0,033	0,023	0,030	0,026	0,020	0,031	0,030	0,028	0,031	0,027	0,027	0,032	0,029
S	8,964	8,967	8,977	8,970	8,974	8,980	8,969	8,970	8,972	8,969	8,973	8,973	8,968	8,971
$N_{chem}$	6,55	6,68	7,32	6,92	6,99	6,93	7,12	7,24	7,17	6,90	6,96	6,70	7,16	6,76
L%	29,87	30,54	33,20	33,40	33,85	34,95	35,49	40,04	42,67	43,66	45,40	46,62	47,77	47,77

1–14 reprezentativní bodové analýzy, koeficienty empirického vzorce vypočítány na bázi S+Te = 9 *apfu*.

1–14 representative point analyses; corresponding *apfu* values are based on S+Te = 9 *apfu*.



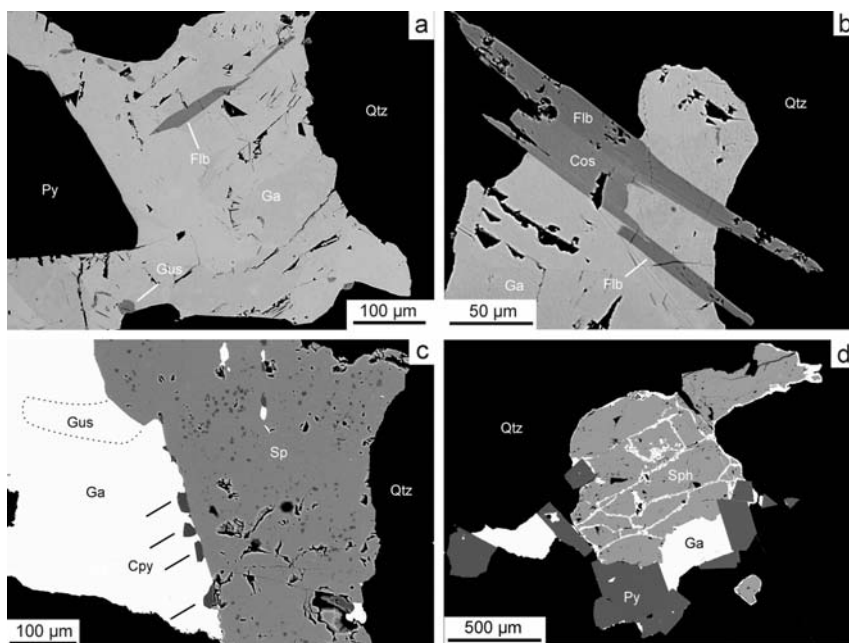
Obr. 5. Chemické složení heyrovskýitu z Hůrek v porovnání s publikovanými daty pro tento minerál v grafu  $N_{chem}$  vs. L%.

Fig. 5. Chemical composition of heyrovskýite from Hůrky in comparison with published data for this mineral in the plot  $N_{chem}$  vs. L%.

## Felbertalit

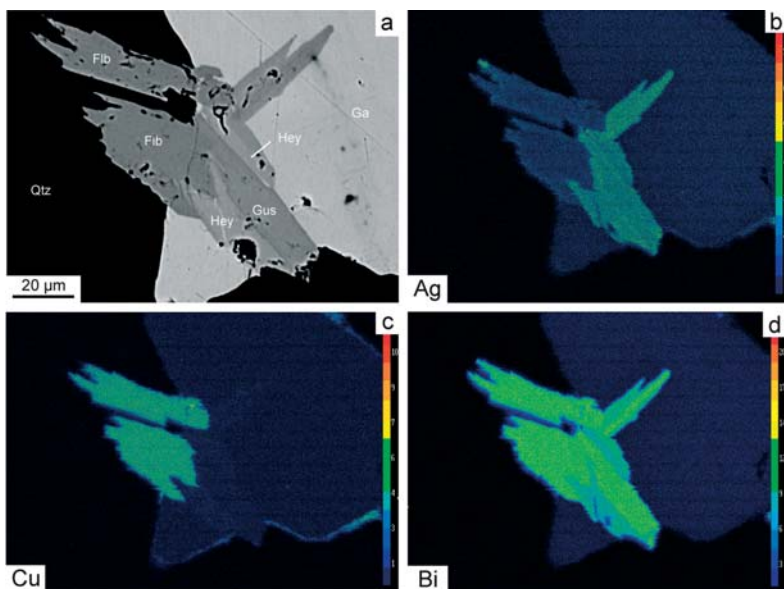
Felbertalit je ve studovaném materiálu méně běžnou sulfosolí. Vytváří hypidiomorfni až idiomorfni protažená zrna (obr. 6a) o délce až 150  $\mu\text{m}$  v asociaci s heyrovskýmitem, vikingitem a gustavitem, uzavřená v galenitu (obr. 7, 8). Jen v jediném případě byl zjištěn i jeho lamelární srůst s cosalitem (obr. 6b).

Pro felbertalit je uváděn ideální vzorec  $\text{Cu}_2\text{Pb}_6\text{Bi}_8\text{S}_{19}$  (TOPA *et al.* 2001; MOËLO *et al.* 2008); nicméně všechny přírodní vzorky vykazují minoritní obsahy Ag v důsledku lillianitové substituce (TOPA *et al.* 2001; XIANG-PING *et al.* 2001) a tak jeho složení lépe popisuje vzorec  $\text{Cu}_2\text{Ag}_x\text{Pb}_{6-2x}\text{Bi}_{8+x}(\text{S},\text{Se})_{19}$  s hodnotami  $x$  obvykle do 0,79 (TOPA *et al.* 2001; YOKORO, NAKASHIMA 2010; JIAN *et al.* 2014). Pro felbertalit z Cu ložiska Funiushan bylo zjištěno dokonce rozmezí hodnot  $x$  od 0,64 to 1,33 (XIANG-PING *et al.* 2001). V případě felbertalitu z Hůrek (tab. 4) byly zjištěny obsahy Ag v rozmezí 0,51–0,72 *apfu* (průměr 0,59), což odpovídá publikovaným analýzám pro tuto minerální fázi. Obsahy Cu se pohybují v rozmezí 1,80–2,01 *apfu*, z minoritních prvků bylo zjištěno zastoupení jen Cd (do 0,06 *apfu*) a Te (do 0,09 *apfu*). Empirický vzorec felbertalitu z Hůrek (průměr 22 bodových analýz) je možno na bázi 35 *apfu* vyjádřit jako  $\text{Cu}_{1,94}\text{Ag}_{0,59}(\text{Pb}_{4,81}\text{Cd}_{0,03})_{\Sigma 4,84}(\text{S}_{19,14}\text{Te}_{0,08})_{\Sigma 19,22}$ .



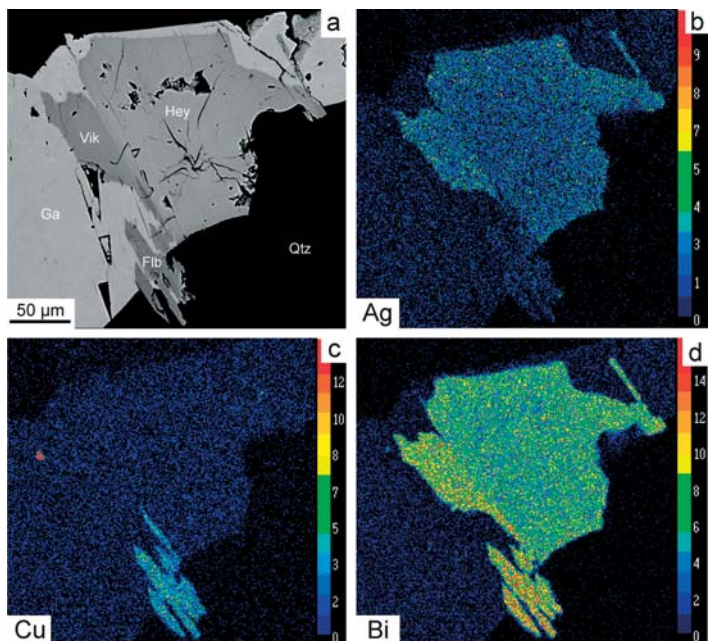
Obr. 6. Morfologie a asociace studovaných sulfidů na BSE fotografiích. a - Lišta felbertalitu (Flb) a zrno gustavitu (Gus) uzavřené v galenitu (Ga) v asociaci s pyritem (Py) a křemenem (Qtz). b - Lamelární srůst cosalitu (Cos) s felbertalitem (Flb) uzavřený v galenitu. c - Zrna chalkopyritu (Cpy, čárky) a gustavitu (Gus) narůstající na sfalerit (Sp) a obrůstané galenitem. Sfalerit obsahuje četné mikroskopické inkluze chalkopyritu (šedý). d - Sfalerit zatlačovaný galenitem v asociaci s nejstarším pyritem (Py).

Fig. 6. Morphology and mineral association of studied sulfides in BSE photographs. a - Lath of felbertalite (Flb) and grain of gustavite (Gus) enclosed in galena (Ga) in association with pyrite (Py) and quartz (Qtz). b - Lamellar intergrowth of cosalite (Cos) with felbertalite (Flb) enclosed in galena. c - Grains of chalcopyrite (Cpy, lines) and gustavite (Gus) growing onto sphalerite (Sp) and overgrown by galena. Sphalerite contains microscopic inclusions of chalcopyrite (grey). d - Sphalerite replaced by galena in association with the oldest pyrite (Py).



Obr. 7. Příklad srůstu felbertalitu (Flb) s heyrovskýitem (Hey) a gustavitem (Gus) uzavřeného v galenitu (Ga). a - Snímek v BSE. b - distribuce Ag. c - distribuce Cu. d - distribuce Bi.

Fig. 7. Example of intergrowth of felbertalite (Flb) with heyrovskýite (Hey) and gustavite (Gus) enclosed in galena (Ga). a - Photo in BSE. b - distribution of Ag. c - distribution of Cu. d - distribution of Bi.



Obr. 8. Příklad srůstu vikingitu (Vik) s felbertalitem (Flb), heyrovskýitem (Hey) a galenitem (Ga). a - Snímek v BSE. b - distribuce Ag. c - distribuce Cu. d - distribuce Bi.

Fig. 8. Example of intergrowth of vikingite (Vik) with felbertalite (Flb), heyrovskýite (Hey) and galena (Ga). a - Photo in BSE. b - distribution of Ag. c - distribution of Cu. d - distribution of Bi.

Tabulka 4. Chemické složení felbertalitu z Hůrek (hm. %).

Table 4. Chemical composition of felbertalite from Hůrky (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ag	1,80	1,54	1,55	1,63	1,64	1,74	1,75	1,76	1,80	1,88	2,08	2,13	2,15	2,17
Pb	28,12	28,87	28,55	28,04	28,29	27,96	27,87	27,94	27,58	28,68	28,45	27,68	27,25	27,62
Cd	0,10	0,14	0,17	0,08	0,13	0,17	0,16	0,20	0,00	0,00	0,19	0,11	0,10	0,00
Cu	3,48	3,39	3,46	3,57	3,47	3,48	3,49	3,48	3,54	3,22	3,31	3,53	3,40	3,49
Bi	49,48	48,76	49,54	49,10	49,06	49,58	49,35	49,97	49,16	49,37	50,10	50,06	50,82	49,37
Te	0,28	0,28	0,30	0,28	0,26	0,30	0,28	0,28	0,27	0,25	0,25	0,31	0,28	0,27
S	17,30	17,22	17,26	17,18	17,19	17,49	17,27	17,32	17,07	17,34	17,61	17,29	17,60	17,14
total	100,55	100,20	100,83	99,88	100,04	100,72	100,17	100,95	99,42	100,74	101,99	101,11	101,60	100,06
Ag	0,593	0,509	0,510	0,540	0,543	0,569	0,577	0,577	0,599	0,619	0,674	0,697	0,698	0,718
Pb	4,815	4,973	4,892	4,832	4,874	4,759	4,784	4,771	4,777	4,916	4,800	4,718	4,603	4,755
Cd	0,032	0,044	0,054	0,025	0,041	0,053	0,051	0,063	0,000	0,000	0,059	0,035	0,031	0,000
Cu	1,941	1,904	1,933	2,006	1,949	1,931	1,953	1,938	1,999	1,800	1,821	1,962	1,872	1,959
Bi	8,400	8,326	8,416	8,389	8,381	8,367	8,399	8,460	8,442	8,390	8,380	8,460	8,510	8,426
Te	0,078	0,078	0,083	0,078	0,073	0,083	0,078	0,078	0,076	0,070	0,068	0,086	0,077	0,075
S	19,141	19,165	19,111	19,130	19,139	19,237	19,157	19,113	19,106	19,206	19,198	19,043	19,209	19,067

mean – průměr 22 bodových analýz; 1–13 reprezentativní bodové analýzy, koeficienty empirického vzorce vypočítány na bázi 35 *apfu*.

mean – mean of 22 point analyses; 1–13 representative point analyses; corresponding *apfu* values are based on total 35 *apfu*.

### Cosalit

Cosalit je velmi vzácný, byl zjištěn jen v jediném individuu. Vytváří asi 30  $\mu\text{m}$  mocnou lamelu o délce cca 80  $\mu\text{m}$ , z obou stran lemovanou zónami felbertalitu (obr. 6b). Tento minerální agregát je uzavřen v galenitu.

Pro cosalit je uváděn ideální vzorec  $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$  (MOĚLO *et al.* 2008); prakticky všechny přírodní vzorky cosalitu však obsahují pravidelné minoritní obsahy Cu a Ag a jeho chemické složení tak lze vyjádřit spíše obecným vzorcem  $\text{Cu}_x\text{Ag}_{1+x}\text{Pb}_{8-2s-0,5(x+i)}\text{Bi}_{8+s}\text{S}_{20}$ , který odráží komplexní mechanismus několika různých substitucí, které se uplatňují v jeho krystalové struktuře (TOPA, MAKOVICKÝ 2010). Nově studovaný cosalit z Hůrek obsahy Pb a Bi odpovídá cosalitu z této lokality popsanému KLOMÍNSKÝM *et al.* (1971), má však zřetelně vyšší obsahy Ag a dříve neuváděné obsahy Cu (v menším rozsahu pak i Te a In). Obsahy Ag se pohybují v rozmezí 0,91–1,16 *apfu* a Cu 1,49–1,62 *apfu*, minoritní obsahy Te pak do 0,09 *apfu* (tab. 5). Na rozdíl od ostatních nově studovaných sulfosolů, v případě cosalitu nebylo zjištěno zastoupení Cd; naopak se v jeho chemickém složení objevují nepravidelné minoritní obsahy In (do 0,02 *apfu*). Jeho empirický vzorec (průměr 19 bodových analýz) je možno na bázi  $\text{S}+\text{Te} = 20$  *apfu* vyjádřit jako  $\text{Cu}_{1,58}\text{Ag}_{1,03}(\text{Pb}_{7,34}\text{In}_{0,01})_{\Sigma 7,35}\text{Bi}_{7,43}(\text{S}_{19,92}\text{Te}_{0,08})_{\Sigma 20,00}$ .

### Doprovodné sulfidy

Galenit je ve studovaných vzorcích velmi běžným sulfidem. Vytváří vždy xenomorfně omezená zrna o velikosti až 1 mm a jejich shluky; ojediněle je zřejmé, že jde o výplně reziduálních (drúzových) dutin v křemenné žilovině. Galenit nikdy nevykazuje známky deformace (prohnutí štěpných trhlin). Běžně se vyskytuje v asociaci se všemi dalšími zjištěnými sulfidy a sulfosolemi, vůči nimž je vždy krystalizačně mladší. Většinu zmíněných rudních fází obrůstá, pouze v případě železem bohatšího sfaleritu lze hovořit až o zatlačování od okrajů zrn a podél puklin. V BSE obraze vykazuje místy slabou sektorovou zonalitu, danou

variabilními obsahy Ag a Bi; u části těchto textur lze však uvažovat i příčinu v rozkolísanosti celkové stechiometrie (variance v poměru obsahu kationtů k aniontům). Pro studovaný galenit jsou charakteristické minoritní obsahy Ag a Bi v rozmezí 0,02–0,04 *apfu* (tab. 6), vzhledem k jejich pozitivní korelaci do struktury galenitu vstupují obvyklou lillianitovou substitucí  $2\text{Pb} = \text{Bi} + \text{Ag}$ ; zjištěny byly i minoritní obsahy Te (do 0,15 hm. %, 0,002 *apfu*).

**Sfalerit** vytváří izometrická xenomorfně omezená zrna milimetrové velikosti. Obrůstá pyrit a sám je obrůstán až zatlačován galenitem (obr. 6d). Část jeho zrn obsahuje hojně drobné okrouhlé inkluze chalkopyritu („chalkopyritová infekce“, obr. 6c), které však v jiných zrnech sfaleritu zcela chybějí. Chemickým složením se však oba typy sfaleritu významně neliší. V BSE obraze není patrná žádná zonalita zrn sfaleritu. V jeho chemickém složení se projevují pravidelné minoritní obsahy Fe a Cd (do 0,05 a 0,01 *apfu*) a stopové obsahy In; lokálně pak i Pb, Cu a Mn (tab. 7).

Tabulka 5. Chemické složení cosalitu z Hůrek (hm. %).

Table 5. Chemical composition of cosalite from Hůrky (wt. %).

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ag	2,85	2,54	2,57	2,63	2,76	2,84	2,86	2,89	2,93	2,97	3,01	3,05	3,09	3,19
Pb	39,26	38,55	39,77	39,95	38,92	39,64	39,34	38,96	40,18	39,09	40,66	37,73	39,11	38,07
In	0,03	0,06	0,05	0,00	0,00	0,06	0,04	0,00	0,07	0,00	0,04	0,06	0,00	0,04
Cu	2,60	2,64	2,56	2,62	2,62	2,63	2,64	2,62	2,45	2,64	2,49	2,65	2,60	2,56
Bi	40,06	41,17	40,19	39,79	39,95	40,08	40,22	39,91	39,22	39,76	39,00	41,23	39,70	40,41
Te	0,28	0,29	0,28	0,24	0,29	0,27	0,31	0,27	0,30	0,25	0,28	0,27	0,30	0,26
S	16,48	16,56	16,46	16,62	16,59	16,45	16,40	16,46	16,53	16,53	16,41	16,53	16,66	16,33
total	101,57	101,81	101,88	101,85	101,13	101,97	101,81	101,11	101,68	101,24	101,89	101,52	101,46	100,86
Ag	1,025	0,908	0,924	0,937	0,985	1,022	1,032	1,040	1,049	1,064	1,086	1,092	1,098	1,157
Pb	7,340	7,174	7,446	7,413	7,229	7,428	7,389	7,296	7,489	7,292	7,636	7,036	7,233	7,187
In	0,012	0,020	0,017	0,000	0,000	0,020	0,014	0,000	0,024	0,000	0,014	0,020	0,000	0,014
Cu	1,583	1,602	1,563	1,585	1,587	1,607	1,617	1,600	1,489	1,606	1,525	1,611	1,568	1,576
Bi	7,427	7,596	7,461	7,320	7,357	7,446	7,490	7,410	7,248	7,353	7,262	7,623	7,279	7,563
Te	0,085	0,088	0,085	0,072	0,087	0,082	0,095	0,082	0,091	0,076	0,085	0,082	0,090	0,080
S	19,915	19,912	19,915	19,928	19,913	19,918	19,905	19,918	19,909	19,924	19,915	19,918	19,910	19,920

mean – průměr 19 bodových analýz; 1–13 reprezentativní bodové analýzy, koeficienty empirického vzorce vypočítány na bázi  $\text{S}+\text{Te} = 20$  *apfu*.

mean – mean of 19 point analyses; 1–13 representative point analyses; corresponding *apfu* values are based on  $\text{S}+\text{Te} = 20$  *apfu*.

Tabulka 6. Chemické složení galenitu z Hůrek (hm. %).

Table 6. Chemical composition of galena from Hůrky (wt. %).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ag	1,00	1,03	1,10	1,15	1,16	1,17	1,20	1,21	1,25	1,25	1,25	1,42	1,49	1,74
Pb	82,99	82,36	82,64	83,38	83,05	82,28	82,94	82,45	82,24	83,24	82,61	82,05	82,85	81,29
Bi	2,71	2,31	2,47	2,81	2,58	2,74	2,75	2,81	3,26	2,81	2,80	3,13	3,23	4,05
Te	0,06	0,07	0,09	0,08	0,08	0,12	0,09	0,08	0,15	0,05	0,09	0,07	0,13	0,11
S	14,00	13,64	13,98	13,92	13,82	13,95	13,90	13,92	14,08	13,89	13,82	14,03	14,04	13,71
total	100,76	99,41	100,28	101,34	100,69	100,26	100,88	100,47	100,98	101,24	100,57	100,70	101,74	100,90
Ag	0,022	0,023	0,024	0,025	0,025	0,025	0,026	0,026	0,027	0,027	0,027	0,031	0,032	0,038
Pb	0,932	0,942	0,930	0,934	0,937	0,927	0,932	0,928	0,918	0,934	0,932	0,919	0,921	0,916
Bi	0,030	0,026	0,028	0,031	0,029	0,031	0,031	0,031	0,036	0,031	0,031	0,035	0,036	0,045
Te	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002
S	1,016	1,008	1,017	1,008	1,008	1,015	1,010	1,013	1,016	1,007	1,008	1,015	1,009	0,999

1–14 reprezentativní bodové analýzy, koeficienty empirického vzorce vypočítány na bázi 2 *apfu*.

1–14 representative point analyses; corresponding *apfu* values are based on total 2 *apfu*.

Tabulka 7. Chemické složení sfaleritu, chalkopyritu a pyritu z Hůrek (hm. %).

Table 7. Chemical composition of sphalerite, chalcopyrite and pyrite from Hůrek (wt. %).

	sfalerit							chalkopyrit				pyrit		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fe	0,51	0,80	1,16	1,65	2,62	2,74	2,91	2,96	29,19	29,22	29,37	46,74	46,68	46,68
Pb	0,17	0,00	0,00	0,23	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,15	0,21
Cd	1,36	0,93	0,85	0,82	0,85	0,79	0,80	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
In	0,06	0,07	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,09	0,15	0,11	0,20	0,22	0,20	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	64,85	65,38	65,08	64,16	63,27	63,32	63,14	63,24	1,66	0,48	0,43	0,00	0,00	0,00
Cu	0,06	0,09	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,81	34,19	34,13	0,00	0,00	0,00
S	33,89	33,51	33,12	33,19	33,86	33,75	33,67	33,27	35,13	35,51	35,55	54,26	53,67	54,11
total	100,90	100,87	100,57	100,20	100,84	101,04	100,77	100,51	99,79	99,40	99,48	101,11	100,50	101,00
Fe	0,009	0,014	0,020	0,029	0,045	0,047	0,050	0,051	0,961	0,962	0,966	0,993	0,999	0,993
Pb	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Cd	0,012	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
In	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	0,000
Mn	0,000	0,002	0,003	0,002	0,003	0,004	0,004	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,957	0,966	0,965	0,954	0,930	0,930	0,929	0,935	0,047	0,013	0,012	0,000	0,000	0,000
Cu	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,978	0,989	0,986	0,000	0,000	0,000
S	1,020	1,009	1,002	1,006	1,014	1,011	1,010	1,003	2,014	2,036	2,036	2,007	2,000	2,005
báze	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	3	3	3

representativní bodové analýzy sfaleritu (1–8), chalkopyritu (9–11) a pyritu (12–14);

báze přepočtu v *apfu*

representative point analyses of sphalerite (1–8), chalcopyrite (9–11) and pyrite (12–14);

báze – base of corresponding *apfu* values

**Chalkopyrit** je minoritní složkou studované minerální asociace. Vyskytuje se ve dvou texturních typech. Běžně jsou mikroskopické inkluze chalkopyritu v části zrn sfaleritu, méně hojně jsou větší (do 30  $\mu\text{m}$  velké) idiomorfnní krystaly narůstající na sfalerit a obklopené galenitem. Jeho chemické složení dobře odpovídá stechiometrii (tab. 7), zjištěny byly jen minoritní obsahy Zn (do 0,05 *apfu*).

**Pyrit** je běžnou fází. Vytváří izolované automorfně až hypautomorfně omezené krystaly o velikosti do 3 mm, obrůstané ostatními sulfidy. V BSE obraze není zonální. Při ověření chemického složení pyritu (tab. 7) byly vedle hlavních prvků zjištěny jen minoritní obsahy Pb nepřevyšující 0,001 *apfu*.

## 5. DISKUSE A ZÁVĚR

Zjištěné rudní minerály krystalizovaly v pořadí pyrit  $\rightarrow$  sfalerit s inkluzemi chalkopyritu  $\rightarrow$  chalkopyrit  $\rightarrow$  sulfosole  $\rightarrow$  galenit. Vzájemné sukcesní vztahy mezi jednotlivými sulfosolemi nejsou jednoznačné. Na některých zrnech je patrné obrůstání, respektive snad až zatlačování jedné fáze druhou, ale jindy se zdá být uplatnění těchto minerálů v čase opačné. Je tedy možné, že krystalizace všech zjištěných sulfosolů byla časově značně sblížená. S tímto závěrem jsou zcela v souladu i běžně zjištěné srůsty několika sulfosolů v podobě různých silných lamel, přičemž posloupnost uplatnění jednotlivých fází se jeví v různých zrnech jako naprosto náhodná.

Pro chemické složení nově studovaných sulfosolů z Hůrek jsou charakteristické dříve neuváděné minoritní obsahy Te a Cd (případně In). Obsahy telluru (do 0,31 hm. %) byly

zjištěny ve všech sulfosolích a v menším rozsahu i v galenitu (do 0,15 hm. %); naopak Te nevystupuje v pyritu, sfaleritu ani chalkopyritu. Obsahy Cd se v sulfosolích pohybují do 0,20 až 0,39 hm. %; výjimkou je cosalit, kde Cd chybí a bylo zde zjištěno minoritní zastoupení In (do 0,07 hm. %). V obecných sulfidech jsou pak obsahy Cd (do 0,73 hm. %) a In (do 0,07 hm. %) vázány výhradně na sfalerit. Zvláštností je úplná absence Sb (s detekčním limitem 0,04 hm. %) ve všech studovaných minerálních fázích.

Nově zjištěný výskyt lillianitových homologů (gustavit, vikingit, Ag-bohatý heyrovskýit) v Hůrkách v asociaci s cosalitem a galenitem se po paragenetické stránce a rozsahem uplatnění lillianitové substituce blíží asociaci popsané z francouzské lokality La Roche Balue (MOËLO *et al.* 1987). Na rozdíl od zmíněné francouzské lokality jsou lillianitové homology v Hůrkách doprovázeny felbortalitem; který na jiných lokalitách vystupuje častěji v asociaci s minerály aikinit-bismutinitové řady (XIANG-PING *et al.* 2001; JIAN *et al.* 2014), případně přechodnými členy s  $N_{\text{chem}} = 4$  v řadě lillianit – gustavit (TOPA *et al.* 2001; YOKORO, NAKASHIMA 2010).

Felbortalit na lokalitách v České republice zatím zjištěn nebyl, vikingit je dosud uváděn pouze z kutnohorského rudního revíru (PAŽOUT a DUŠEK 2010; PAŽOUT 2017). Pro nově studovaný heyrovskýit je charakteristický výrazně větší rozsah lillianitové substituce než bylo zjištěno v původním materiálu KLOMÍNSKÉHO *et al.* (1971); obdobně Ag-bohatý heyrovskýit je v rámci České republiky uváděn ze Staročeského pásma v kutnohorském revíru (PAŽOUT 2017). Nové nálezy neobvyklých sulfosolů na ložisku Hůrky naznačují, že mineralogické poměry tohoto drobného ložiska mohou být mnohem pestřejší, než bylo dosud známo a nepochybně si tak v budoucnu zaslouží další podrobný mineralogický výzkum.

## PODĚKOVÁNÍ

Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 – cíl DKRVO 2019/2023 1.I.d).

## LITERATURA

- CZAMANSKE, G. K., HALL, W. E., 1975: The Ag-Bi-Pb-Sb-S-Se-Te mineralogy of the Darwin lead-silver-zinc deposit, southern California. – *Economic Geology*, 70, 6, 1092–1110.
- CHRT, J., JURÁK, J., KOŘAN, J., KRONES, J., SOUKUP, B., RÖSSLER, J., MACOUREK, K., LÁTAL, J., TESÁŘ, M., VÁCLAVEK, V., KOPECKÝ, L., SUKOVÁ, H., DRAHOŇOVSKÝ, R., JERIOVÁ, J., 1985: Závěrečná zpráva úkolu Hůrky-Mo, surovina: Mo ruda, etapa průzkumu vyhledávací, stav ke dni 31. 10. 1985. – MS, Geoindustria Praha, archiv ČGS Praha P030012.
- JIAN, W., LEHMANN, B., MAO, J., YE, H., LI, Z., ZHANG, J., ZHANG, H., FENG, J., YE, Y., 2014: Telluride and Bisulfosalt mineralogy of the Yangzhaiyu gold deposit, Xiaoqinling region, Central China. – *Canadian Mineralogist*, 52, 5, 883–898.
- KARUP-MØLLER, S., MAKOVICKY, E., 1981: Ag-and Bi-rich heyrovskyite from the Bi-W-Mo mineralization at Castlegar, British Columbia. – *Canadian Mineralogist*, 19, 2, 349–353.
- KATZER, F., 1885: Beiträge zur mineralogie Böhmens. – *Tschermaks mineralogische und petrographische Mitteilungen*, 14, 484–487.
- KLOMÍNSKÝ, J., 1962: Hydrotermální zrudnění čísteckého masivu (západní Čechy). – *Acta Universitatis Carolinae, Geologica*, 3, 159–176.
- KLOMÍNSKÝ, J., RIEDER, M., KIEFT, C., MRÁZ, L., 1971: Heyrovskýit,  $6(\text{Pb}_{0,86}\text{Bi}_{0,08}(\text{Ag,Cu})_{0,04})\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$  from Hůrky, Czechoslovakia, a new mineral of genetic interest. – *Mineralium Deposita*, 6, 133–147.
- KOPECKÝ, L., 1971: Zpráva o nálezu molybdenitu a o výskytu minerálů – nositelů niobu a lantanoidů ve fenitech čísteckého granitoidního masivu. – MS, archiv ČGS Praha P022459.
- KOPECKÝ, L., 1982: Nálezová zpráva o objevu ložiska molybdenitu v čísteckém masivu. – MS, archiv ČGS Praha GF P053204.

- KOPECKÝ, L., BERNARDOVÁ, E., KŘELINA, J., MAREŠOVÁ, Z., SOUKUP, B., ŠKVOR, V., 1980: Geologicko-petrografické poměry a výpočet prognózních zásob Mo, Zr a TR na lokalitě Hůrky u Cisté. – MS, Ústřední ústav geologický, archiv ČGS Praha GF P035942.
- KOPECKÝ, L., DRÁBEK, M., KŘELINA, J., MAJER, V., 1982: Prognózy Mo-rud v ložiskovém úseku Hůrky-střed v čísteckém masivu (výpočet prognózních zásob). – MS, Ústřední ústav geologický, archiv ČGS Praha GF P055543.
- KOPECKÝ, L., JR., CHLUPÁČOVÁ, M., KLOMÍNSKÝ, J., SOKOL, A., 1997: The Čistá-Jesenice Pluton in western Bohemia: Geochemistry, geology, petrophysics and ore potential. – Sborník geologických věd, ložisková geologie, mineralogie, 31, 97–127.
- MAKOVICKY, E., 2019: Algorithms for calculations of homologue order N in the homologous series of sulfosalts. – European Journal of Mineralogy, 31, 1, 83–97.
- MAKOVICKY, E., KARUP-MØLLER, S., 1977a: Chemistry and crystallography of the lillianite homologous series. Part I. General properties and definitions. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen, 130, 264–287.
- MAKOVICKY, E., KARUP-MØLLER, S., 1977b: Chemistry and crystallography of the lillianite homologous series. Part II: Definition of new minerals: eskimoite, vikingite, ourayite, and treasurite. Redefinition of schirmerite and new data on the lillianite-gustavite solid solution series. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen, 131, 56–82.
- MAKOVICKY, E., MUMME, W. G., HOSKINS, B. F., 1991: The crystal structure of Ag-Bi-bearing heyrovskyite. – Canadian Mineralogist, 29, 553–559.
- MAKOVICKY, E., MUMME, W. G., MADSEN, I. C., 1992: The crystal structure of vikingite. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, 454–468.
- MOËLO, Y., MARCOUX, E., MAKOVICKY, E., KARUP-MØLLER, S., LEGENDRE, O., 1987: Homologues de la lillianite (gustavite, vikingite, heyrovskyite riche en Ag et Bi...) de l'indice à W-As-(Pb,Bi,Ag) de La Roche-Baluc (Loire Atlantique, France). – Bulletin de Minéralogie, 110, 43–64.
- MOËLO, Y., MAKOVICKY, E., MOZGOVA, N. N., JAMBOR, J. L., COOK, N., PRING, A., PAAR, W., NICKEL, E. H., GRAESER, S., KARUP-MØLLER, S., BALIČ-ŽUNIČ, 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. – European Journal of Mineralogy, 20, 7–46.
- MOZGOVA, N. N., BORODAEV, Y. S., SYRITSO, L. E., ROMANOV, D. P., 1976: New data on goongarrite (warthaite) and about the identity of heyrovskyite with goongarrite. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen, 127, 62–83.
- MRÁZEK, Z., 1981: Sekundární minerály na ložisku Hůrky. – Sborník Vysoké školy chemicko-technologické, Geologie, 20, 19–28.
- PAŽOUT, R., 2017: Lillianite homologues from Kutná Hora ore district, Czech Republic: a case of large-scale Sb for Bi substitution. – Journal of Geosciences, 62, 37–57.
- PAŽOUT, R., DUŠEK, M., 2010: Crystal structure of natural orthorhombic  $\text{Ag}_{0.71}\text{Pb}_{1.52}\text{Bi}_{1.32}\text{Sb}_{1.45}\text{S}_6$ , a lillianite homologue with N=4; comparison with gustavite. – European Journal of Mineralogy, 22, 741–750.
- PAŽOUT, R., DUŠEK, M., 2021: Crystal structure of undersubstituted Sb-rich vikingite  $\text{Vik}_{40}\text{Ag}_{2.85}\text{Pb}_{12.35}(\text{Bi}_{9.52}\text{Sb}_{1.27})_{\Sigma=10.80}\text{S}_{30}$ : site population and comparison with structure of vikingite  $\text{Vik}_{50}\text{Ag}_{3.5}\text{Pb}_{11.0}\text{Bi}_{11.5}\text{S}_{30}$ . – Journal of Geosciences, 66, 3, 175–184.
- PEITHNER VON LICHTENFELS, J., T., A., 1780: Versuch über die natürliche Geschichte der böhmischen und mährischen Bergwerke. – Wien.
- PINTO, D., BALIČ-ŽUNIČ, T., GARAVELLI, A., VURRO, F., 2011: Structure refinement of Ag-free heyrovskyite from Vulcano (Aeolian Islands, Italy). – American Mineralogist, 96, 7, 1120–1128.
- POŠEPNÝ, F., 1895: Die Goldvorkommen Böhmens und der Nachbarländer. – Archiv für praktische Geologie, II. díl, Freiberg.
- POUCHOU, J. L., PICOIR, F., 1985: “PAP” ( $\phi\rho Z$ ) procedure for improved quantitative microanalysis. – In: Armstrong, J. T., (ed) Microbeam Analysis. San Francisco Press, San Francisco: 104–106.
- TAKÉUCHI, Y., TAGAKI, J., 1974: The structure of heyrovskyite ( $6\text{PbS}\cdot\text{Bi}_2\text{S}_3$ ). – Proceedings of the Japan Academy Sciences, 50, 76–79.
- TOPA, D., MAKOVICKY, E., 2010: The crystal chemistry of cosalite based on new electron-microprobe data and single-crystal determination of the structure. – Canadian Mineralogist, 48, 1081–1107.
- TOPA, D., MAKOVICKY, E., CRIDDLE, A. J., PAAR, W. H., BALIČ-ŽUNIČ, T., 2001: Felbertainite,  $\text{Cu}_2\text{Pb}_6\text{Bi}_8\text{S}_{19}$ , an new mineral species from Felbertain, Salzburg Province, Austria. – European Journal of Mineralogy, 13, 5, 961–972.
- TVRDÝ, J., BROŽ, B., BROŽ, M., HANZLÍK, P., HAVRÁNEK, J., KRUTSKÝ, J., LHOTSKÝ, P., NEKL, M., OPEKAR, L., PECHAR, T., MEIERLOVÁ, I., 2021a: Výzkumná zpráva o prozkoumání možnosti výskytu koncentrací prvků



- vzácných zemin na území ČR. - Výsledek V souhrn projektu Analýza nových výskytů prvků vzácných zemin, číslo projektu TITSMP0702. MS, MPO/TAČR Praha.
- TVRDÝ, J., DOLNÍČEK, Z., ULMANOVÁ, J., KRÁTKÝ, O., NEKL, M., 2021b: REE minerály fenitů čistecko-jesenického masivu (Česká republika). - Bulletin Mineralogie Petrologie, 29, 2, 297-320.
- VENERA, Z., SCHULMANN, K., KRÖENER, A., 2000: Intrusion within a transtensional tectonic domain: the Čistá granodiorite (Bohemian Massif) - structure and rheological modelling. - Journal of Structural Geology, 22, 1, 1437-1454.
- XIANG-PING, G., WATANABE, M., OHKAWA, M., HOSHINO, K., SHIBATA, Y., DESONG, C., 2001: Felbertalite and related bismuth sulfosalts from the Funiushan copper skarn deposit, Nanjing, China. - Canadian Mineralogist, 39, 6, 1641-1652.
- YOKORO, Y., NAKASHIMA, K., 2010: Ag-Cu-Pb-Bi-S minerals newly discovered from the Ogori base metal deposit, Yamagata Prefecture, NE Japan: Implications for Bi-metallogenesis in the Green-tuff region. - Resource geology, 60, 1, 1-17.
- ŽÁČEK V., ŠKODA, R., LAUFEK, F. 2008: Molybdenem bohatý jarosit z oxidační zóny středověkého Au-Ag ložiska v Hůrkách u Rakovníka (Česká republika). - Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze, 16, 2, 190-192.

#### INTERNETOVÉ ZDROJE:

[https://mapy.geology.cz/dulni\\_dila\\_poddolovani](https://mapy.geology.cz/dulni_dila_poddolovani)  
<https://mapy.cz/>