

<https://doi.org/10.46861/bmp.29.006>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

# Pb-Bi mineralizace v amfibolitech z lomu Libodřice u Kolína (kutnohorské krystalinikum, Česká republika)

## Pb-Bi mineralization in amphibolites from the quarry Libodřice near Kolín (Kutná Hora Crystalline Complex, Czech Republic)

ZDENĚK DOLNÍČEK<sup>1)\*</sup> A JANA ULMANOVÁ<sup>1)</sup><sup>1)</sup>Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9;\*e-mail: [zdenek.dolnicek@nm.cz](mailto:zdenek.dolnicek@nm.cz)

DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2021) Pb-Bi mineralizace v amfibolitech z lomu Libodřice u Kolína (kutnohorské krystalinikum, Česká republika). Bull Mineral Petrolog 29(1): 6-15 ISSN 2570-7337

### Abstract

An interesting ore mineralization containing Pb-Bi minerals, present in a thin layer parallel with schistosity of the host amphibolite, was newly recognized in the Libodřice quarry near Kolín (Kutná Hora Crystalline Complex, Czech Republic). The disseminations of ore minerals are formed especially by pyrrhotite and chalcopyrite, less pyrite and accessory galena, native bismuth, cosalite, bismuthinite and joséite-B. The equilibrium textural relationships of rock-forming silicates and main sulphides indicate that the ore assemblage underwent metamorphic recrystallization together with the host rock, however, indications of younger local re-equilibrations under changed physico-chemical conditions (especially temperature, fugacity of sulphur, fugacity of oxygen) were also observed. The presence of polysynthetic lamellae in chalcopyrite suggests for its origin/re-crystallization at temperatures above 550 °C. Sporadic cosalite, stable at temperatures below 425 °C, was probably precursor of pseudomorphs today formed by galena and native bismuth. Pseudomorphs originated at temperatures below 271 °C probably due to local decrease of sulphur fugacity caused by growth of associated pyrrhotite. The local sulphurisation of small amount of native bismuth to bismuthinite and small part of pyrrhotite to pyrite finished the process of ore evolution. The presence of elevated contents of Te, Se and Ni in the studied mineralization confirms the source of these elements in the host rock environment, which was presupposed on the basis of earlier mineralogical study of Alpine-type veins in the area of the Kutná Hora Crystalline Complex.

**Key words:** Pb-Bi mineralization, bismuth, cosalite, joséite-B, Libodřice, Kutná Hora Crystalline Complex, Bohemian Massif

Obdrženo 12. 1. 2021; přijato 3. 5. 2021

### Úvod

Činný lom, situovaný asi 0.3 km jz. od Libodřic u Kolína, je významnou mineralogickou lokalitou, známou zejména výskytem kvalitních ukávek minerálů žil alpského typu, kterou řadí Bernard (1981) a Fišera (2000) k asociaci C bohaté vápníkem. Z těchto žil, uložených v amfibolitech, byly dosud popsány: feroaxinit (Reif et al. 1991), křemen (Dásek, Pelz 1997), apofylit (Novák et al. 2001, 2002; Franěk, Sláma 2008; Šedina 2019), datolit (Fišera et al. 2002), kalcit (Vichr, Fišera 2002), prehnit (Filippi, Böhmová 2010), analcim, laumontit, klinozoisit (Vichr 2008), chlorit, ilmenit, titanit, natrolit (Pauliš 2000), pyrit, pyrrhotin (Franěk, Sláma 2008), chalkopyrit (Reif et al. 1991) a molybdenit (Šedina 2004). Vedle alpské parageneze se v lomu vyskytují četné křemenné, apilitové a pegmatitové žíly. Mineralogicky jsou pegmatity složené převážně z plagioklasu, K-živce a křemene; známé jsou i nálezy turmalínu (Novák et al. 2001), granátu, epidotu (Pavlicová 1972) a allanitu (Šedina 2018). Známa, ale sběratelsky a badatelsky poněkud opomíjená, je i sulfidická mineralizace, které je nejčastěji jemně rozptýlená přímo v horninové matici amfibolitů. Pouze Pauliš a Plecháček (2008) popisují arsenopyrit a pyrit vtroušený v křemenné žilce protínající amfibolit.

V tomto příspěvku přinášíme charakteristiku nového nálezu vtroušeninové sulfidické mineralizace ve zdejších amfibolitech, při jejímž podrobnějším mineralogickém studiu byla zjištěna zajímavá asociace Pb-Bi minerálů, z dané lokality dosud neznámá.

### Geologická pozice

Lom u Libodřic je založen v tzv. libodřickém amfibolitovém tělese malínské jednotky kutnohorského krystalinika (obr. 1), uloženém v biotitických rulách kouřimské jednotky kutnohorského krystalinika (Synek, Oliveriová 1993; Novák, Vrbová 1996). Těleso amfibolitu čočkovitého tvaru o maximální mocnosti 400 m je protaženo ve směru SZ - JV. Směr foliace je shodný s protažením tělesa a její sklon strmě upadá k SV. Fišera (1977) a Novák, Vrbová (1996) uvádějí z malínské skupiny granátické, diablastické, páskované a masivní amfibolity, přičemž část z nich představuje různě intenzivně retrográdně metamorfované eklogity. Tyto horniny byly formovány za teplot cca 550 - 900 °C a tlaků 5 - 25 kbar (Novák, Vrbová 1996), přičemž nejnižší P-T podmínky odpovídají vzniku typických amfibolitů v amfibolitové facii. Tyto procesy byly datovány Mattem et al. (1990) na cca 325 Ma. Amfibolity se vyznačují proměnlivým obsahem granátu, křemene a pyroxenu.

Amfibolity jsou v libodřickém lomu protnuty třemi žilami granodioritového metaporfyrity o mocnosti do 115 cm se sklonem k V až VJV (Fišera, Šrein 1999).

### Materiál a metodika

Studovaný vzorek byl nalezen autory předložené studie při návštěvě lomu v roce 2020. Ze vzorku byly diamantovou pilou vyřezány sulfidy obsahující partie a z nich byly zhotoveny nábrusy (P. Sečkář, Komenského univerzita Bratislava). Dokumentace zhotovených preparátů v odraženém polarizovaném světle byla provedena na polarizačním mikroskopu Nikon Eclipse ME600 vybaveném digitální kamerou Nikon DXM1200F.

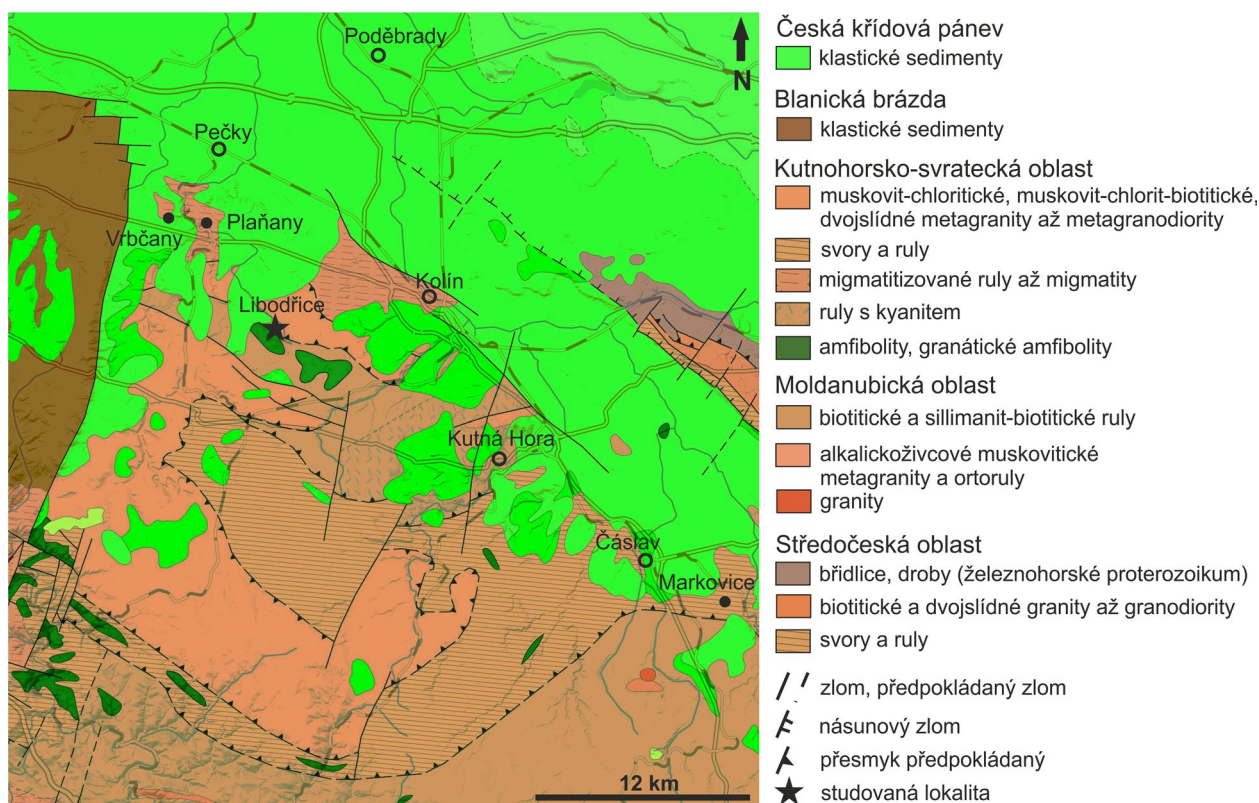
Následně byly nábrusy vakuově napařeny uhlíkovou vrstvou o tloušťce 30 nm a studovány na elektronové mikroskopě Cameca SX-100 (Národní muzeum, Praha). Na přístroji byly pořízeny snímky ve zpětně odražených elektronech (BSE), provedena identifikace jednotlivých fází pomocí energiově disperzních (EDS) spekter a kvantitativně měřeno chemické složení vybraných fází ve vlnové disperzním (WDS) modu. Při bodových analýzách bylo použito urychlovací napětí 25 kV, proud svazkem 20 nA a průměr elektronového svazku 0.7  $\mu\text{m}$ . Použité standardy a analytické čáry: Ag (AgLa), Au (AuMa), Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (BiM $\beta$ ), CdTe (CdLa), Co (CoKa), CuFeS<sub>2</sub> (CuKa, SKa), FeS<sub>2</sub> (FeKa), GaAs (GaLa), Ge (GeLa), HgTe (HgLa), InAs (InLa), Mn (MnKa), NaCl (ClKa), NiAs (AsL $\beta$ ), Ni (NiKa), PbS (PbMa), PbSe (SeL $\beta$ ), PbTe (TeLa), Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (SbLa), Sn (SnLa), Tl(Br,I) (TlLa) a ZnS (ZnKa). Měřicí časy na píku se pohybovaly obvykle mezi 10 a 30 s, měřicí čas každého pozadí trval polovinu času měření na píku. Načtená data byla přepočítána na obsahy prvků vyjádřené v hm. %, s použitím standardní PAP korekce (Pouchou, Pichoir 1985). Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou uvedeny v tabulkách minerálních analýz, byly ve všech případech pod mezí stanovitelnosti (obvykle mezi 0.05 a 0.1 hm. %, v případě Tl a Hg kolem 0.2 %).

### Charakteristika zjištěné mineralizace

Studovaný materiál byl nalezen pod jihozápadní stěnou 3. etáže jako jediný volný vzorek ležící na bázi etáže. Jde o úlomek bezgranatického nevýrazně páskovaného amfibolitu s makroskopicky patrným sulfidickým zrudněním, tvořeným pyrrhotinem a chalkopyritem (obr. 2a). Zmiňované sulfidy jsou vtroušeny přímo v hornině, v níž vytvářejí až 5 mm mocné a maximálně 2 cm dlouhé izolované protažené čočkovité či nepravidelné útvary, nahlouchené do jedné polohy, paralelní s foliací horniny. Vzorek je protínán mladší žilkou o mocnosti do 2 mm, vyplněnou nezrudnělým bílým zrnitým kalcitem, která probíhá kose k foliaci a protíná i sulfidické agregáty.

Mikroskopický obraz popisované mineralizace potvrzuje výše uvedená makroskopická pozorování. Sulfidy vytvářejí paralelně s foliací protažené čočkovité agregáty či izolovaná zrna, srůstající s horninotvornými minerály (křemenem, živci, slídami, amfibolem a chlority; obr. 2b). Rudní asociace nejeví žádné známky supergenního postížení. Hlavními přítomnými rudními fázemi jsou pyrrhotin a chalkopyrit, vedlejším minerálem je pyrit, a akcesoricky se vyskytují galenit, ryzí bismut, bismutin, cosalit a joséit-B.

**Pyrrhotin** je ve studované rudní asociaci nejzastoupenějším minerálem. Vyskytuje se v podobě samostatných izometrických či čočkovitě protažených agregátů o velikosti až několika milimetrů, srůstajících s horninotvornými minerály (obr. 2b). Nebylo však pozorováno, že by silikáty zatlačoval. V odrazovém mikroskopu je světle hnědý (obr. 2c), při částečně rozkřížených nikolech s velmi dobře patrnou anizotropií. V BSE obraze není zonální. WDS analýzy (tab. 1) ukázaly obvyklý deficit v obsahu kovů oproti síře; obsahy 0.860 - 0.870 *apfu* kovů (při přepočtu na základ 1 atomu síry) by odpovídaly monoklinickému pyrrhotinu (Kaneda et al. 1986). Z minoritních komponent lze zmínit průběžné malé obsahy Co (0.002 - 0.003 *apfu*), Ni (0.003 - 0.004 *apfu*) a Pb (max. 0.001 *apfu*). Ve čtyřech



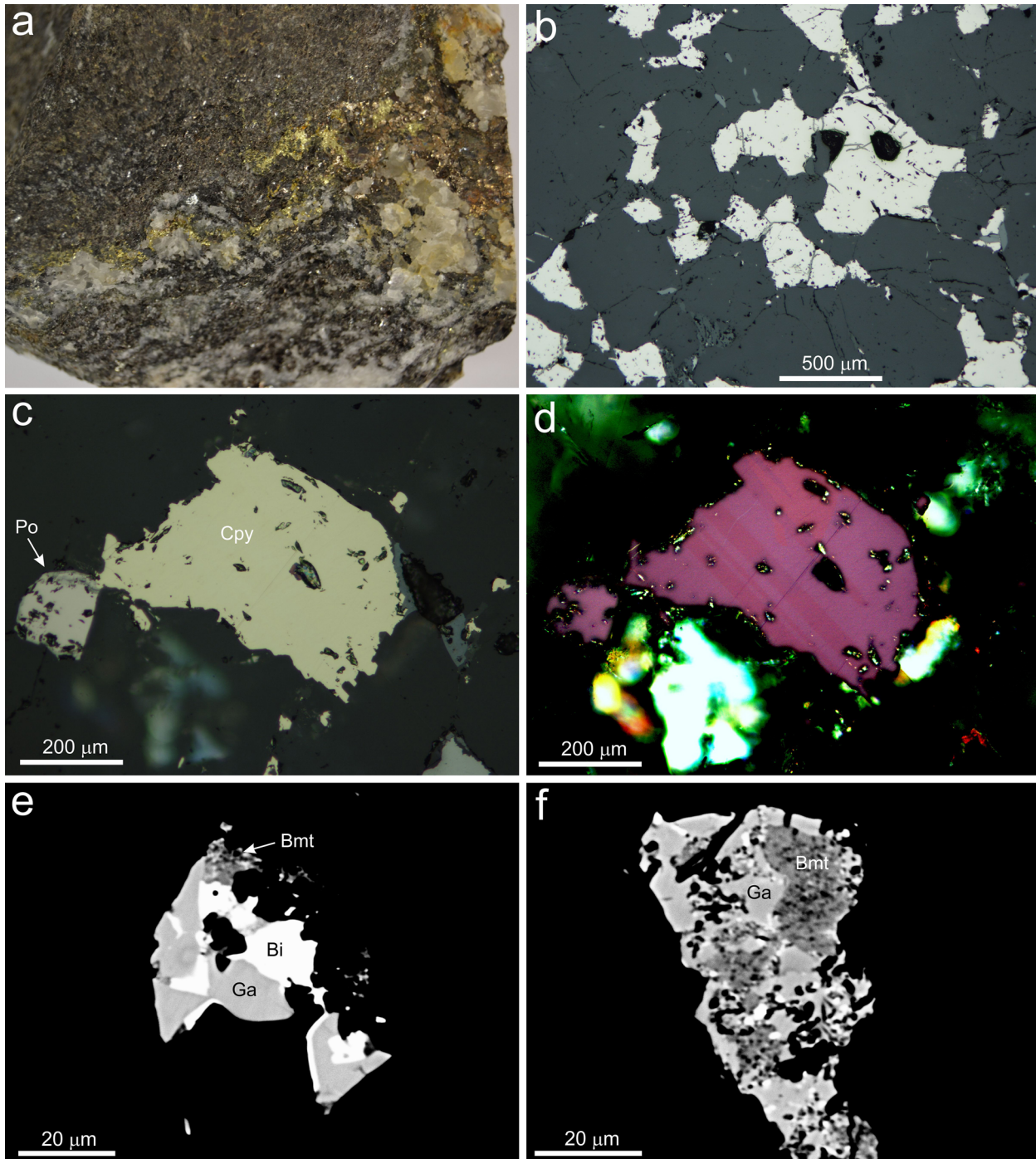
Obr. 1 Geologická pozice studované lokality. Mapa upravena z práce Dolníčka, Ulmanové (2019b).

analýzách byly zjištěny i obsahy zlata nad detekčním limitem mikrosondy (max. 0.0005 *apfu*).

**Chalkopyrit** je v dané mineralizaci druhým nejhojnějším sulfidem, který je však zastoupen ve výrazně menším množství než pyrrhotin. Podobně jako pyrrhotin vytváří až 0.5 cm velké paralelně s foliací protažené „lité“ agregáty zlatožluté barvy s kovovým leskem (obr. 2a). Často také srůstá s pyrrhotinem, přičemž vzájemné srůsty obou fází svědčí o časově sblížené rovnovážné krystalizaci obou fází. V nábruse lze u části individuí konstatovat poly-

syntetické lamelární zdvojitění, patrné pouze při mírně rozkřížených nikolech (obr. 2d). Obvykle lze zaznamenat jen jeden systém dvojčatných lamel, pouze sporadicky se vyskytují dva systémy lamel v jednom zrně. V BSE obraze je chalkopyrit homogenní. Bodové WDS analýzy ukázaly obvyklé složení blízké ideálnímu vzorci. Z příměsí lze zmínit pouze průběžné nízké obsahy Pb (0.001 *apfu*) a ve dvou analýzách i malý obsah Co (0.001 *apfu*).

**Pyrit** se vyskytuje jen lokálně a v malém množství. Vytváří izolovaná neporézní izometrická zrna o velikos-



**Obr. 2** Minerální asociace a vývin rudních minerálů ze studované mineralizace. a - makroskopický vzhled studovaného vzorku amfibolitu s polohou bohatou na pyrrhotin (bronzový) a chalkopyrit (zlatožlutý), šířka záběru 6 cm. b - vtrošeniny pyrrhotinu (světlý) v amfibolitové matrici (tmavá), nábrus, odražené polarizované světlo. c - zrna chalkopyritu (Cpy) v sousedství pyrrhotinu (Po), nábrus, odražené světlo. d - táž oblast jako snímku (c), mírně rozkřížené nikoly. Dobře patrné jsou polysyntetické lamely v chalkopyritu. e, f - asociace galenitu (Ga) s ryzím bismutem (Bi) a bismutinem (Bmt). Bismutin zatlačuje ryzí bismut. Obrazy BSE. Všechny snímky Z. Dolníček a J. Ulmanová.

ti do 0.5 mm. Pyrit buď ojediněle od okrajů sulfidických agregátů zatlačuje pyrrhotin (textury „ptačích očí“, typické pro tuto přeměnu, však nejsou vyvinuty), častěji je však vtoušený samostatně přímo v hornině. Zrna se vyznačují automorfním, hypautomorfním či (nejčastěji) xenomorfním omezením. Zonalita není patrná ani při pozorování v odrazovém mikroskopu, ani v obraze BSE. Podle EDS spekter nelze vedle Fe a S předpokládat přítomnost žádného dalšího prvku.

**Galenit** je přítomen jen v akcesorickém množství. Pravidelně doprovází minerály bismutu, naproti tomu v přímé asociaci s výše charakterizovanými obecnými sulfidy je poměrně vzácně. S Bi-minerály intimně srůstá, na obecné sulfidy obvykle narůstá na okrajích jejich zrn či agregátů; někdy se vyskytuje v místě vyklínění jejich čočkovité akumulace. Galenit vytváří xenomorfně omezená zrna nepravidelného tvaru, o velikosti obvykle maximálně do 30  $\mu\text{m}$  (obr. 2e,f). Zcela výjimečně byly zjištěny dva větší protažené agregáty galenitu srůstajícího s ryzím bismutem, zarostlé zčásti v pyrrhotinu, s hypautomorfním omezením a dosahující velikosti kolem 100  $\mu\text{m}$  (obr. 3a-d). Okrajové partie obou těchto dvou agregátů téměř neobsahují inkluze ryzího bismutu a naopak do nich prstovitě proniká okolní pyrrhotin (obr. 3c-d). V BSE obraze je galenit nezonální. Bodové WDS analýzy (tab. 2) ukázaly zajímavé chemické složení a značnou podobnost chemismu různých morfologických forem galenitu. Olovo je vždy zčásti zastupováno bismutem (0.008 - 0.020 *apfu*), stříbrem (0.002 - 0.015 *apfu*) a s výjimkou dvou analýz i železem (0.002 - 0.041 *apfu*). Přibližně třetina získaných analýz vykazovala i zvýšené obsahu Cu (0.003 - 0.008 *apfu*), Tl (0.003 - 0.007 *apfu*) a/nebo In (0.001 - 0.002 *apfu*). Síra je vždy v malé míře zastupována selenem (0.005 - 0.032 *apfu*). Statisticky významná pozitivní korelace existuje mezi obsahy Ag a Bi ( $R^2 = 0.72$ ), nasvědčující uplatnění substituce  $2\text{Pb} = \text{Ag} + \text{Bi}$  (obr. 4a). Naproti tomu mezi dalšími dvojicemi zjištěných prvků nejsou žádné korelace patrné. Neobvyklé jsou v galenitu zejména zvýšené ob-

sahy Fe, neboť ve většině případů nelze vzhledem k absenci Fe-minerálů ve srůstech s galenitem předpokládat, že by mohlo jít o ovlivnění analýz drobných zrn galenitů okolní minerální fází. Rovněž chybějící korelace mezi obsahem Fe a sumou kationtů v empirickém vzorci, která navíc nijak nevybočuje z obvyklých mezí (0.993 - 1.006 *apfu*; báze přepočtu 2 *apfu*), jasně nasvědčuje izomernímu charakteru zjištěných zvýšených koncentrací Fe.

**Ryzí bismut** téměř vždy doprovází galenit, v němž typicky vytváří náhodně uzavíraná izometrická izolovaná xenomorfně omezená zrna o velikosti do 10  $\mu\text{m}$  (obr. 2e). Ve zřetelně vyšší koncentraci se uzavřeniny bismutu vyskytují ve dvou výše zmíněných, výrazně větších, hypautomorfně omezených agregátech tvořených bismutem a galenitem. V nich vytváří ryzí bismut i poněkud protažená, mírně zprohýbaná individua, jejichž charakter agregace poněkud připomíná myrmekitovou či grafickou strukturu

**Tabulka 1** Příklady chemického složení pyrrhotinu. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na základ 1 atomu síry. b.d. - pod mezí stanovitelnosti

An. č.	1	2	3	4	5	6
Fe	58.67	58.84	58.24	59.35	59.22	59.26
Co	0.16	0.15	0.20	0.21	0.19	0.20
Ni	0.25	0.23	0.23	0.26	0.24	0.28
Au	0.11	0.11	0.10	b.d.	b.d.	b.d.
Pb	0.14	0.14	0.12	0.09	0.13	0.14
S	39.00	39.28	39.19	39.93	39.78	39.76
Celkem	98.33	98.75	98.08	99.84	99.56	99.64
Fe	0.864	0.860	0.853	0.853	0.855	0.856
Co	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
Ni	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004
Au	0.000	0.000	0.000	b.d.	b.d.	b.d.
Pb	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001
Catsum	0.870	0.866	0.860	0.860	0.861	0.863
at. % Me	46.53	46.41	46.23	46.24	46.26	46.31

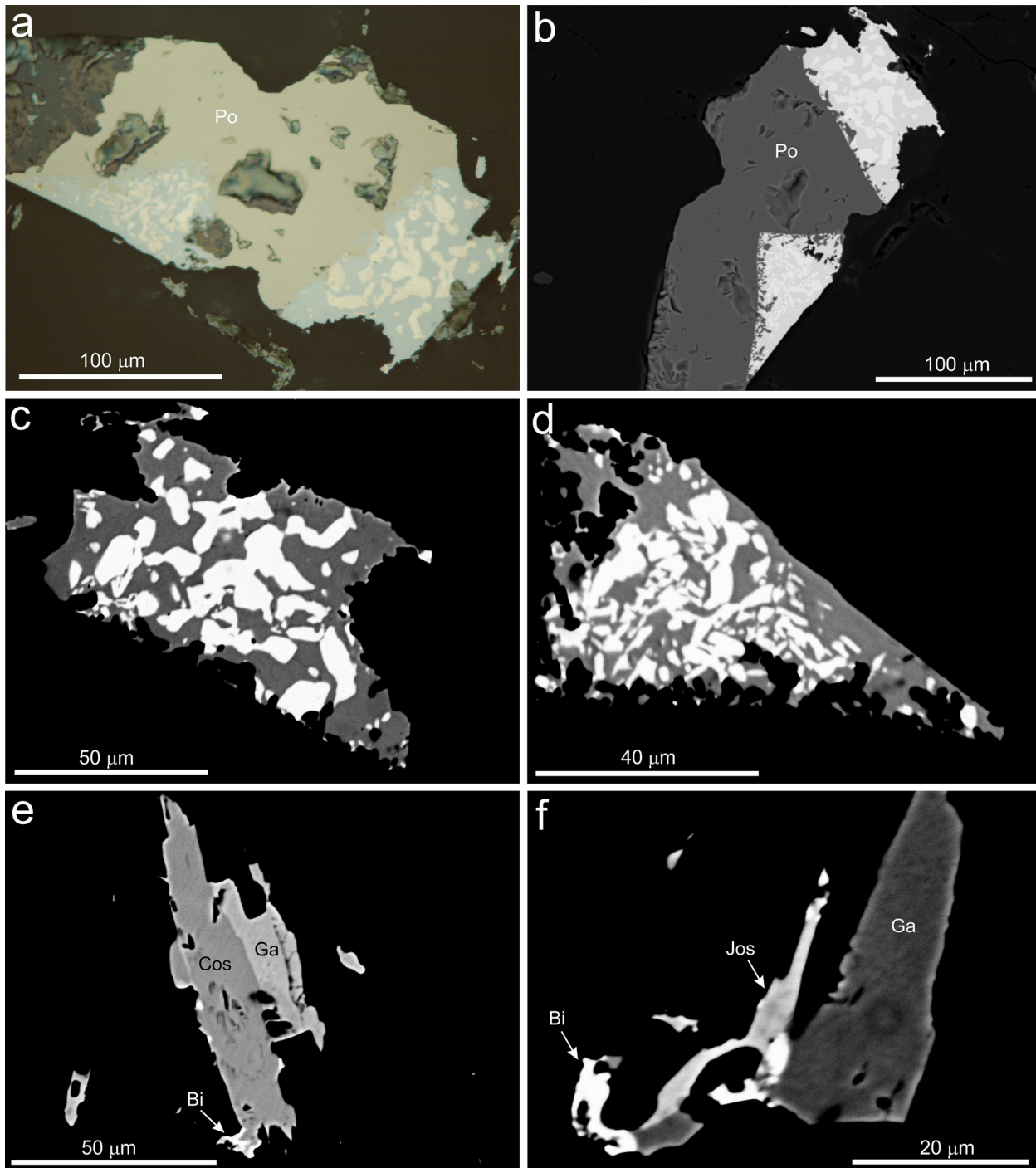
**Tabulka 2** Příklady chemického složení galenitu. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na základ 2 *apfu*. b.d. - pod mezí stanovitelnosti, n.a. - neanalyzováno

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fe	0.98	0.79	0.87	0.71	0.05	b.d.	0.22	0.41	0.25	0.26	0.29	0.08	0.68	0.53
Cu	0.10	0.08	0.07	0.07	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.17	b.d.	b.d.	b.d.
Ag	0.10	0.15	0.16	0.16	0.17	0.21	0.25	0.35	0.37	0.39	0.48	0.54	0.63	0.64
Pb	83.48	83.66	83.62	83.78	84.52	84.60	83.69	83.22	82.21	84.19	82.97	83.69	82.53	82.83
In	0.07	0.05	0.09	n.a.	0.08	b.d.	n.a.	0.07	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Tl	0.26	0.43	0.24	n.a.	0.43	0.63	n.a.	0.27	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Bi	0.80	0.72	0.80	0.74	1.04	0.95	1.39	1.38	1.49	1.19	1.40	1.63	1.76	1.61
S	13.54	13.36	13.48	13.31	13.40	13.36	13.03	13.43	12.86	13.52	13.23	13.30	13.37	13.28
Se	0.23	0.42	0.25	0.37	0.16	0.19	0.79	0.47	1.03	0.28	0.36	0.28	0.22	0.29
Celkem	99.56	99.66	99.58	99.14	99.85	99.94	99.37	99.60	98.21	99.83	98.90	99.52	99.19	99.18
Fe	0.041	0.033	0.037	0.030	0.002	b.d.	0.009	0.017	0.011	0.011	0.012	0.003	0.029	0.023
Cu	0.004	0.003	0.003	0.003	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.006	b.d.	b.d.	b.d.
Ag	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005	0.006	0.008	0.008	0.009	0.011	0.012	0.014	0.014
Pb	0.944	0.952	0.948	0.959	0.973	0.976	0.969	0.950	0.961	0.961	0.957	0.966	0.943	0.951
In	0.001	0.001	0.002	n.a.	0.002	b.d.	n.a.	0.001	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Tl	0.003	0.005	0.003	n.a.	0.005	0.007	n.a.	0.003	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Bi	0.009	0.008	0.009	0.008	0.012	0.011	0.016	0.016	0.017	0.013	0.016	0.019	0.020	0.018
Catsum	1.004	1.005	1.005	1.004	0.998	0.999	1.000	0.995	0.997	0.994	1.003	1.000	1.006	1.006
S	0.989	0.982	0.988	0.985	0.997	0.996	0.976	0.991	0.971	0.997	0.986	0.992	0.988	0.985
Se	0.007	0.013	0.007	0.011	0.005	0.006	0.024	0.014	0.032	0.008	0.011	0.008	0.007	0.009
Ansum	0.996	0.995	0.995	0.996	1.002	1.001	1.000	1.005	1.003	1.006	0.997	1.000	0.994	0.994

(obr. 3a,c,d). Při pozorování v režimu zkřížených nikolů odrazového mikroskopu nebylo nikdy patrné lamelární dvojčatění bismutu. V BSE obraze je bismut nezonální. Reprezentativní WDS analýzy (tab. 3) ukázaly u menší části zrn čisté složení bez příměsí, zatímco u většiny analýz byly naměřeny i malé příměsí Fe (0.007 - 0.021 *apfu*), Cu (0.004 - 0.009 *apfu*) a/nebo In (0.001 *apfu*).

**Bismutin** se vyskytuje jen ojediněle společně s bismutem a galenitem. Vytváří jemnozrnné, slabě porézní a v obraze BSE poněkud nehomogenní okrouhlé agregáty o velikosti maximálně 20  $\mu\text{m}$ . Jsou vždy obklopeny ga-

lenitem s inkluzemi bismutu, které však v případě největšího zjištěného agregátu téměř chybějí. Texturní vztahy tedy nevyklučují ani možnost, že bismutin vznikl zatlačováním bismutu (obr. 2e,f). WDS analýzy (tab. 3) ukázaly vedle hlavních složek (Bi, S) ve všech měřených bodech i příměsí Fe (0.018 - 0.253 *apfu*) a Pb (0.015 - 0.055 *apfu*), v polovině získaných analýz i Ag (0.004 - 0.015 *apfu*), Cu (0.007 - 0.026 *apfu*), In (0.003 *apfu*) a ve třetině analýz i Te (0.003 - 0.004 *apfu*). Stechiometrie řady analýz není uspokojivá, lze konstatovat systematický přebytek kationtů nad anionty (Catsum = 2.043 - 2.255 *apfu* při přepočtu

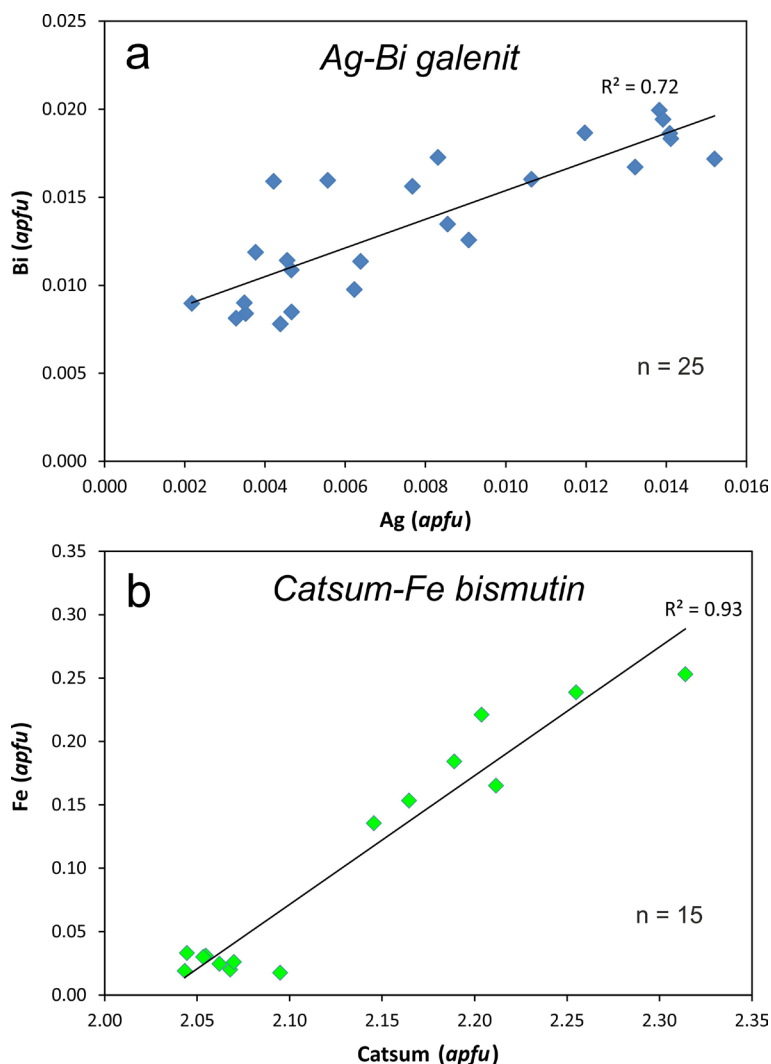


**Obr. 3** Minerální asociace a vývin rudních minerálů ze studované mineralizace. a,b - celkový pohled na dvě pseudomorfózy uzavřené v pyritinu (Po), nábrus, odražené světlo (obr. a), obraz BSE (obr. b). c,d - detailní BSE obrazy obou pseudomorfóz tvořených galenitem (šedý) a ryzím bismutem (bílý). e - lištovité individuuum cosalitu (Cos) v asociaci s galenitem (Ga) a ryzím bismutem (Bi), obraz BSE. f - joséit-B (Jos) v asociaci s galenitem (Ga) a bismutem (Bi), BSE obraz. Všechny snímky Z. Dolníček.

na bázi 5 *apfu*). Suma kationtů statisticky významně pozitivně koreluje s obsahem Fe ( $R^2 = 0.93$ ; obr. 4b). Je tedy pravděpodobné, že zvýšené obsahy Fe patří jiné minerální fázi, přítomné buď v submikroskopických srůstech s bismutinem nebo v intergranulárních jemně porézního bismutinu. Tato fáze musí mít vyšší poměr kationty/anionty než má bismutin (2/3). Může jít tedy například o pyrhotin, ale ne o pyrit, markazit či greigit. Vyloučit nelze ani fázi neobsahující síru (např. *limonit?*, *siderit?*).

**Cosalit** byl zjištěn jen v jediném protaženém individuu o rozměrech  $70 \times 15 \mu\text{m}$  v asociaci s galenitem a jen stopovým množstvím ryzího bismutu (obr. 3e). Uvedená asociace je uložena přímo v hornině a není v kontaktu s převažujícími sulfidy (pyrhotinem, chalkopyritem). V obraze BSE je cosalit homogenní (obr. 3e). WDS analýzy (tab. 4) ukázaly velmi dobrou stechiometrii dané fáze (kationty zaujímají 3.990 až 4.008 *apfu*, báze přepočtu 9 *apfu*). Vedle hlavních složek (Pb, Bi, S) byly ve všech měřených bodech zjištěny i minoritní obsahy Ag (0.063 - 0.084 *apfu*), Sb (0.055 - 0.060 *apfu*) a Cd (0.007 - 0.011 *apfu*), v menší části získaných analýz i Fe (0.007 - 0.014 *apfu*), Cu (0.007 - 0.009 *apfu*) a In (0.004 - 0.007 *apfu*). Všechny tyto prvky ve struktuře cosalitu pravdě-

**Obr. 4** Variace v chemickém složení některých minerálů ze studované mineralizace. a - diagram Ag vs. Bi pro galenit. b - diagram suma kationtů vs. Fe v bismutinu.



**Tabulka 3** Příklady chemického složení ryzího bismutu (Bi) a bismutinu (Bmt). Obsahy v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na základ 1 atomu kovů (bismut), resp. 5 apfu (bismutin). b.d. - pod mezí stanovitelnosti, n.a. - neanalyzováno

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Bmt	Bmt	Bmt	Bmt	Bmt	Bmt	Bmt	Bmt
Fe	0.20	0.56	0.59	0.24	b.d.	0.19	0.18	0.20	0.27	1.44	1.75	1.92	2.39	2.63
Cu	0.14	0.29	0.26	b.d.	b.d.	0.20	b.d.	b.d.	b.d.	0.08	0.21	0.08	0.32	0.21
Ag	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.14	0.31	0.31	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Pb	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	1.39	1.72	2.12	0.73	0.76	0.84	0.62	0.68
In	0.05	0.06	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.07	n.a.	n.a.	0.07	b.d.	0.06	n.a.	0.06
Bi	100.56	100.53	100.28	100.63	100.53	100.96	78.08	77.59	76.57	78.83	79.62	76.97	78.46	78.69
S	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	17.12	17.89	17.42	17.42	16.95	16.82	17.34	16.03
Te	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.07	0.08	0.09	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Celkem	100.95	101.44	101.13	100.87	100.53	101.35	97.05	97.79	96.78	98.57	99.29	96.69	99.13	98.30
Fe	0.007	0.020	0.021	0.009	b.d.	0.007	0.018	0.019	0.026	0.135	0.165	0.184	0.221	0.253
Cu	0.005	0.009	0.008	b.d.	b.d.	0.006	b.d.	b.d.	b.d.	0.007	0.017	0.007	0.026	0.018
Ag	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.007	0.015	0.015	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Pb	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.036	0.044	0.055	0.019	0.019	0.022	0.015	0.018
In	0.001	0.001	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.003	n.a.	n.a.	0.003	b.d.	0.003	n.a.	0.003
Bi	0.987	0.970	0.970	0.991	1.000	0.987	2.031	1.965	1.973	1.982	2.009	1.973	1.941	2.023
Catsum	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.095	2.043	2.070	2.145	2.212	2.189	2.204	2.314
S	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	2.902	2.953	2.926	2.855	2.788	2.811	2.796	2.686
Te	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.003	0.003	0.004	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ansum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.905	2.957	2.930	2.855	2.788	2.811	2.796	2.686

podobně zastupují olovo (srov. Topa, Makovický 2010), neboť Pb je na rozdíl od Bi (1.998 - 2.021 *apfu*) mírně deficitní (1.833 - 1.860 *apfu*). Síra je ve všech měřených bodech minoritně zastupována Se (0.015 - 0.027 *apfu*) a v několika analýzách i Te (0.063 - 0.084 *apfu*).

**Joséit-B** byl rovněž zjištěn jen zcela ojediněle ve dvou individuích. Větší z nich o délce cca 20  $\mu\text{m}$  a maximální šířce 5  $\mu\text{m}$  je v asociaci s galenitem a ryzím bismutem (obr. 3f). Menší, okrouhlé zrno o průměru 3  $\mu\text{m}$ , bylo uzavřeno v pyrotinu. V BSE obraze je Joséit-B homogenní. WDS analýzy (tab. 4) ukázaly v dané fázi převahu kationtů a deficit aniontů oproti ideální stechiometrii (kationty zaujímají 4.036 až 4.156 *apfu*, báze přepočtu 7 *apfu*). Zatímco obsah S se pohybuje okolo teoretické hodnoty 1 *apfu* (0.936 - 1.009 *apfu*), Te je deficitní (1.625 - 1.796 *apfu*); tento deficit je částečně vyrovnáván zvýšenými obsahy Se (0.184 - 0.226 *apfu*). Bi je ve všech měřených bodech v malé míře zastupován Pb (0.032 - 0.138 *apfu*), Fe (0.068 - 0.120 *apfu*) a Sb (0.007 - 0.012 *apfu*). Zvýšená suma kationtů v empirickém vzorci patrně není důsledkem anizominerálních příměsí v analyzovaných bodech, neboť žádné korelace mezi obsahy Fe či Pb na straně jedné a sumou kationtů ve vzorci na straně druhé neexistují. Podobně nestechiometrické složení Joséitu-B uvádějí i Mastíková (2011; Catsum = 4.105) a Dolníček et al. (2021; Catsum = 3.928 - 4.048) z lokality Pohled v havlíčkovobrodském rudním revíru.

## Diskuse

Nově zjištěná rudní mineralizace v amfibolitech libodřického lomu je unikátní nejen svou geologickou pozicí, ale i minerálním složením. Vtroušeniny sulfidů v horninách kutnohorského krystalinika nejsou nijak neobvyklým jevem, podle poznatků autorů byly však dosud zjišťo-

vány jen jednoduché, mineralogicky fádni asociace, reprezentované pouze pyritem, pyrotinem a někdy i chalkopyritem. V tomto směru je tedy popisovaná asociace zmíněných obecných sulfidů, galenitu, ryzího bismutu, bismutinu, cosalitu a Joséitu-B neobvyklá a připomíná spíše asociace pozorované v dané oblasti na rudních žilách - například v kutnohorském či havlíčkovobrodském revíru (srov. Mastíková 2011; Pažout et al. 2017).

Jednoduché granoblastické srůsty nejhojnějších sulfidů (pyrotinu a chalkopyritu) s horninotvornými minerály (obr. 2a) a také absence textur vzájemného zatlačování rudních a nerudních fází svědčí o časově sblížené krystalizaci (případně rekrystalizaci) celé studované minerální asociace během metamorfních dějů. Texturně bezesporu nejzajímavějšími objekty jsou v popisované rudní asociaci dva hypautomorfně omezené agregáty tvořené myrmekitickými až grafickými srůsty ryzího bismutu a galenitu (obr. 3a-d). Obdobné, avšak xenomorfně omezené objekty popsali i Sejkora et al. (2020) v rudní mineralizaci miarolového pegmatitu ve Vepicích v durbachitech masivu Čertova břemene; ke genezi těchto objektů autoři uvádějí, že by mohlo jít o pseudomorfózy po neznámém minerálu. V našem případě se s výše uvedeným názorem zcela ztotožňujeme. Z chemického složení pseudomorfóz vyplývá, že pravděpodobným prekurzorem byl nějaký Bi-Pb sulfid (resp. sulfosúl). Z nich byl ve studovaném materiálu zjištěn jen cosalit. Jeho jediné pozorované individuum mělo srovnatelnou velikost a také i tvar a omezení. Nelze tedy vyloučit, že cosalit mohl být prekurzorem těchto pseudomorfóz. Cosalit je stabilní jen do teploty cca 425 °C (Craig 1967; obr. 5). Vliv na stabilitu tohoto minerálu má vedle teploty i přítomnost, respektive nepřítomnost příměsí v jeho chemickém složení (srov. Craig 1967) a také fugacita síry, při jejímž snížení pod rovnovážnou

**Tabulka 4** Příklady chemického složení cosalitu (Cos) a Joséitu-B (Jos). Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na základě 9 (cosalit), resp. 7 *apfu* (Joséit-B). b.d. - pod mezí stanovitelnosti, n.a. - neanalyzováno

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Cos	Cos	Cos	Cos	Cos	Cos	Cos	Cos	Jos	Jos	Jos	Jos	Jos	Jos
Fe	b.d.	b.d.	0.08	0.04	0.05	b.d.	b.d.	0.06	0.34	0.59	0.56	0.60	0.50	0.44
Cu	0.05	b.d.	0.05	0.05	0.06	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ag	0.94	0.71	0.84	0.88	0.80	0.71	0.85	0.71	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Pb	39.80	39.98	39.04	39.05	38.85	39.25	39.37	39.39	2.11	1.13	2.57	0.60	1.23	0.98
Cd	0.08	0.12	0.12	b.d.	0.12	0.13	0.08	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
In	b.d.	0.05	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.08	0.05	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.07
Sb	0.70	0.76	0.73	0.73	0.71	0.71	0.75	0.75	0.08	0.13	0.11	0.13	0.10	0.19
Bi	43.51	43.58	42.75	43.26	42.88	43.35	43.42	43.81	73.70	73.85	73.21	73.76	73.03	73.59
S	16.59	16.57	16.18	16.39	16.25	16.33	16.53	16.57	2.73	2.90	2.91	2.68	2.81	2.80
Se	0.17	0.16	0.17	0.21	0.18	0.17	0.12	0.22	1.59	1.31	1.48	1.43	1.32	1.49
Te	0.06	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.06	b.d.	18.88	19.42	18.65	19.85	19.12	20.83
Celkem	101.90	101.93	99.96	100.61	99.90	100.65	101.26	101.56	99.43	99.33	99.49	99.05	98.11	100.39
Fe	b.d.	b.d.	0.014	0.007	0.009	b.d.	b.d.	0.010	0.068	0.117	0.112	0.120	0.101	0.087
Cu	0.008	b.d.	0.008	0.008	0.009	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ag	0.084	0.063	0.076	0.079	0.073	0.064	0.076	0.063	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Pb	1.846	1.858	1.849	1.834	1.838	1.849	1.837	1.833	0.114	0.061	0.138	0.032	0.067	0.052
Cd	0.007	0.010	0.010	b.d.	0.010	0.011	0.007	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
In	b.d.	0.004	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.007	0.004	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.007
Sb	0.055	0.060	0.059	0.058	0.057	0.057	0.060	0.059	0.007	0.012	0.010	0.012	0.009	0.017
Bi	2.001	2.008	2.008	2.014	2.012	2.025	2.009	2.021	3.964	3.928	3.897	3.954	3.949	3.874
Catsum	4.001	4.004	4.025	4.000	4.008	4.007	3.995	3.991	4.154	4.118	4.156	4.118	4.127	4.036
S	4.974	4.977	4.954	4.974	4.969	4.972	4.985	4.982	0.957	1.006	1.010	0.936	0.991	0.961
Se	0.021	0.020	0.021	0.026	0.022	0.021	0.015	0.027	0.226	0.184	0.208	0.203	0.189	0.208
Te	0.005	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.005	b.d.	1.663	1.692	1.626	1.743	1.693	1.796
Ansum	4.999	4.996	4.975	5.000	4.992	4.993	5.005	5.009	2.846	2.882	2.844	2.882	2.873	2.964

hodnotu se cosalit mění v galenit a bismut (Nekrasov 1996; obr. 5), což jsou fáze zjištěné i v našem případě. Na základě pozorované minerální asociace a texturních vztahů nelze vyloučit možnost, že v případě obou pseudomorfóz byla síra konzumována rostoucím pyrhotinem - tento minerál, kromě toho, že částečně uzavírá obě pseudomorfózy, tak také zarůstá do okrajových částí pseudomorfóz (obr. 3c,d), z čehož lze usuzovat, že byl během vzniku pseudomorfózy nejen stabilní, ale že také aktivně rostl. Destabilizace cosalitu by pak byla tedy vyvolána snížením fugacity síry v systému v důsledku krystalizace pyrhotinu. Naopak úplná absence pyrhotinu v lokální minerální asociaci jediného dochovaného individua cosalitu (obr. 3e) mohla být příčinou, že se fugacita síry v jeho okolí nezměnila a díky tomu k přeměně na galenit a ryzí bismut nedošlo. Uvedená pozorování tedy nasvědčují významným lokálním variacím fugacity síry v prostorovém měřítku desetin až jednotek milimetrů. Eh koexistujících fluid bylo v této fázi vývoje nepochybně nízké, vzhledem k asociaci se současně krystalizujícím pyrhotinem.

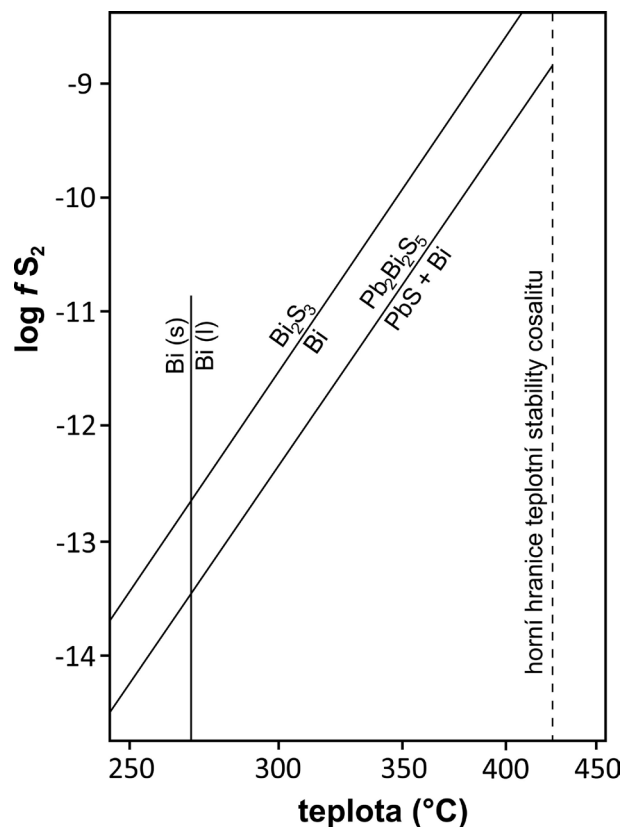
Náhrada ryzího bismutu bismutinem v některých galenit-„bismutových“ srůstech (obr. 2e,f) naproti tomu svědčí o působení procesů přesně opačných než ve výše diskutovaném případě pseudomorfóz. Uvedený proces tedy může být důsledkem poklesu teploty při nezměněné fugacitě síry fluid, zvýšení fugacity síry a/nebo kombinace změny obou parametrů (srov. obr. 5).

Vznik pyritu na úkor pyrhotinu je zpravidla důsledkem nárůstu fugacity síry a/nebo kyslíku koexistujících fluid (např. Murowchick, Barnes 1986; Murowchick 1992).

Přítomnost lamelárního dvojčatění v chalkopyritu (obr. 2d) nasvědčuje vysokoteplotnímu původu dané fáze (nad 550 °C). Vznik polysyntetických lamel je vysvětlován fázovým přechodem vysokoteplotní kubické modifikace v nízkoteplotní tetragonální chalkopyrit (Kostov, Stefanova 1981; Čvileva et al. 1988). Uvedená teplota fázového přechodu je blízká teplotě metamorfózy masivních amfibolitů malínské skupiny (cca 555 °C; Novák, Vrbová 1996) a je dalším dokladem společné rekrystalizace silikátové matrice amfibolitů a studované rudní mineralizace již během variské metamorfózy v zájmové oblasti. Naproti tomu morfologická charakteristika ryzího bismutu (nepravidelná, často protažená a zprohýbaná „ostrohranná“ zrna, absence zaoblených kapkovitých tvarů; obr. 2e, 3) jasně ukazuje, že tento minerál vznikl za teploty nižší, než je bod tání bismutu (271 °C; Živkovič, Živkovič 1996). S tím je v souladu i absence lamelárního zdvojitění, které vzniká v bismutu vykryštalizovaném z taveniny (Craig 1967). To svědčí o výrazně mladším vzniku ryzího bismutu v porovnání s chalkopyritem.

Na základě pozorovaných texturních a genetických vztahů mezi minerály lze tedy usuzovat, že vývoj popisované sulfidické mineralizace proběhl v několika fázích, vzájemně se lišících teplotou, fugacitou síry a/nebo fugacitou kyslíku. Hlavní část chalkopyritu a pravděpodobně i pyrhotinu vznikla/rekrystalizovala v rané fázi za poměrně vysoké teploty (nad 550 °C). Později, za nižších teplot, pak byla konsolidována asociace Pb-Bi minerálů (při <425 °C nejprve vznikl cosalit; později došlo k transformaci části cosalitu při <271 °C v asociaci galenit + ryzí bismut). Následnými procesy jsou pak sulfurizace bismutu na bismutin a pyrhotinu na pyrit, které vývoj rudní asociace uzavírají.

Zjištění přítomnosti joséitu-B a dalších fází se zvýšeným obsahem Se a/nebo Te (galenit, cosalit) v amfibolitech kutnohorského krystalinika potvrzuje názor Dolníčka,



Obr. 5 Diagram teplota vs.  $fS_2$  s vyznačením vybraných rovnováh diskutovaných v textu. Diagram upraven podle Nekrasova (1996), hranice teplotní stability cosalitu je podle Craiga (1967).

Ulmanové (2018a,b) o lokálním původu Te a Se v horninovém prostředí kutnohorského krystalinika. Zmínění autoři popsali akcesorické teluridy (melonit, frobergit), elementární tellur a selenidy (clausthalit, naumannit) ve výplni alpských žil v amfibolitech na lokalitě Markovice u Čáslavi. K mobilizaci Se a Te z horninového prostředí došlo pravděpodobně vlivem (retrogradně) metamorfických hydrotermálních procesů, podobně jako například na VMS sulfidických ložiskách či Fe-ložiskách typu Lahn-Dill (např. Hassan, Roberts 2017; Dolníček, Nepejchal 2019). Také zvýšený obsah Ni v pyrhotinu (tab. 1) odráží geochemickou charakteristiku hostitelského horninového prostředí. V amfibolitech z nedalekých Plaňan popsal Dolníček a Ulmanová (2020) i akcesorický pentlandit. Nikl je rovněž v dané oblasti charakteristickým minoritním prvkem obecných sulfidů alpských žil (pyritu, pyrhotinu) a někdy dokonce i chloritů (Dolníček, Ulmanová 2018b, 2019a,b, 2020). Akcesoricky se v alpských žilách v zájmové oblasti vyskytují i minerály s podstatným obsahem Ni - melonit, siegenit, Ni-bohatý kobaltin, millerit, pentlandit a argentopentlandit (Dolníček, Ulmanová 2018a,b, 2020).

## Závěr

V amfibolitu z lomu Libodřice u Kolína (kutnohorské krystalinikum) byla zjištěna zajímavá mineralizace s obsahem Pb-Bi minerálů, tvořící drobnou polohu paralelní s foliací horniny. Vtroušeniny rudních minerálů jsou tvořeny zejména pyrhotinem a chalkopyritem, méně pyritem, akcesoricky i galenitem, ryzím bismutem, cosalitem, bismutinem a joséitem-B. Rovnovážné texturní vztahy



mezi silikáty a hlavními sulfidy naznačují, že rudní asociace prodělala metamorfni rekrystalizaci spolu s okolní horninou, nicméně byly zaznamenány i lokální doklady mladších reekvilibrací za změněných fyzikálně-chemických podmínek (zejména teplota, fugacita síry, fugacita kyslíku). Přítomnost polysyntetických lamel v chalkopyritu indikuje jeho vznik/rekrystalizaci za teplot nad 550 °C. Ojediněle zjištěný cosalit, stabilní za teplot nižších než 425 °C, byl pravděpodobně prekurzorem pseudomorfóz tvořených galenitem a ryzím bismutem. Tyto pseudomorfózy vznikly za teplot pod 271 °C pravděpodobně v důsledku lokálního snížení fugacity síry zapříčiněného patrně růstem asociujícího pyrrhotinu. V další fázi došlo k sulfidizaci malé části ryzího bismutu na bismutin a malé části pyrrhotinu na pyrit. Přítomnost zvýšených obsahů Te, Se a Ni v dané mineralizaci potvrzuje zdroj těchto prvků v daném horninovém prostředí, jak už bylo dříve předpokládáno na základě studia minerálů alpských žil v oblasti kutnohorského krystalinika.

#### Poděkování

Práce na článku byly finančně podpořeny Ministerstvem kultury ČR v rámci institucionálního financování výzkumné organizace Národního muzea (00023272 - cíl DKRVO 2019/2023 1.1.c). P. Paulišovi a M. Števkovi děkujeme za vstřícné recenzní posouzení rukopisu.

#### Literatura

- BERNARD JH (1981) Minerály alpských žil a jim podobných asociací. In: Bernard JH, Čech F, Dávidová Š, Dudek A, Fediuk F, Hovorka D, Kettner R, Koděra M, Kopecný L, Němec D, Paděra K, Petránek J, Sekanina J, Staněk J, Šimová M: Mineralogie Československa: 405-419. Academia Praha
- CRAIG JR (1967) Phase relations and mineral assemblages in the Ag-Bi-Pb-S system. Miner Deposita 1: 278-306
- ČVILEVA TN, BEZSMERTNAJA MS, SPIRIDONOV EM, AGROSKIN AS, PAPAYAN GV, VINOGRADOVA RA, LEBEDEVVA SI, ZAVJALOV EN, FILIMONOVA AA, PETROV VK, RAUTIAN LI, SVESNIKOVA OL (1988) Handbook for determination of ore minerals in reflected light. Moskva, 504 pp (in Russian)
- DOLNÍČEK Z, MALÝ K, HAVLIČEK J, ULMANOVÁ J, SEJKORA J (2021) Minerály kontaminovaných granitových pegmatitů z lomu Pohled u Havlíčkova Brodu (moldanubikum), část II: prvky a sulfidy. Bull Mineral Petrolog 29: 90-107
- DOLNÍČEK Z, NEPEJCHAL M (2019) Sylvanit, clausthalit a doprovodné minerály ze železnorudného ložiska typu Lahn-Dill Pittenwald u Skal u Rýmařova. Bull Mineral Petrolog 27, 1: 82-88
- DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2018a) Texturně neobvyklá Cu sulfidická mineralizace a doprovodné minerály z alpské žíly od Markovic u Čáslavi. Bull Mineral Petrolog 26: 78-89
- DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2018b) Revize sulfidické mineralizace z alpských žil od Markovic u Čáslavi (kutnohorské krystalinikum): minerální asociace a chemické složení. Bull Mineral Petrolog 26: 138-148
- DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2019a): Minerální asociace a chemické složení chloritů z alpských žil od Markovic u Čáslavi (kutnohorské krystalinikum). Bull Mineral Petrolog 27: 212-220
- DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2019b) Mineralogická charakteristika dvou typů hydrotermálních žil s obsahem REE minerálů z lomu u Vrbčan (kutnohorské krystalinikum). Bull Mineral Petrolog 27: 331-345
- DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2020) Mineralogická charakteristika křemenné žíly se scheelitem a alpské žíly s prehnitem z lomu v Plaňanech u Kolína (kutnohorské krystalinikum). Bull Mineral Petrolog 28, 1: 74-85
- ĎÁSEK M, PELZ J (1997) Zajímavé nálezy křišťálů v Libodřicích u Kolína. Minerál 5 (1): 19
- FILIPPI M, BÖHMOVÁ V (2010) Prehnitové pseudomorfózy z Libodřic. Minerál 18 (3): 223-229
- FIŠERA M (1977) Geologie a petrografie kutnohorského krystalinika západně od Kolína. Výzk práce ÚÚG 16: 19-31
- FIŠERA M (2000) Alpská parageneze - klasifikace, typy a naleziště v České republice. Bull Mineral-petrolog odd Nár muz (Praha) 8: 23-40
- FIŠERA M, ŠREIN V (1999) Výskyt žilných metaporfyrů v amfibolitovém lomu u Libodřic (jz. od Kolína). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz 7: 158-162
- FIŠERA M, VICHŘ P, SEJKORA J (2002) Datolit a nepřeměnný fluorapofylit z alpských žil v amfibolitech z Libodřic (jz. od Kolína). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz 10: 210-215
- FRANĚK J, SLÁMA J (2008) Nález velkých krystalů apofylitu v zonální alpské žíle u Libodřic na Kolínsku. Minerál 16 (4): 340-345
- HASSAN LY, ROBERTS MP (2017) Tellurides associated with volcanogenic massive sulfide (VMS) mineralization at Yuinmery and Austin, Western Australia. Ore Geol Rev 80: 352-362
- KANEDA H, TAKENOUCI S, SHOJI T (1986) Stability of pentlandite in the Fe-Ni-Co-S system. Miner Deposita 21: 169-180
- KOSTOV I, STEFANOVA JM (1981) Sulphide minerals. Crystal chemistry, parageneses and systematics. Bulgarian Acad Sci, Sofia, 212 pp
- MASTÍKOVÁ E (2011) Mineralogie a podmínky vzniku vybraných mineralizací v lomu Pohled (moldanubikum). MS, diplomová práce, PŘF UP v Olomouci
- MATTE P, MALUSKI H, RAJLICH P, FRANKE W (1990) Terrane boundaries in the Bohemian Massif: result of the large-scale Variscan shearing. Tectonophysics 177: 151-170
- MUROWCHICK JB (1992) Marcasite inversion and the petrographic determination of pyrite ancestry. Econ Geol 87: 1141-1152
- MUROWCHICK JB, BARNES HL (1986) Marcasite precipitation from hydrothermal solutions. Geochim Cosmochim Acta 50: 2615-2629
- NEKRASOV IYA (1996) Geochemistry, mineralogy and genesis of gold deposits. A.A. Balkema, Rotterdam, 344 p
- NOVÁK JK, VRBOVÁ H (1996) Petrogenesis and geochemistry of mafic rocks from the Kutná Hora Crystalline Complex and the neighbouring part of the Rataje Micashist Zone. Geolines 4: 1-41
- NOVÁK F, PAULIŠ P, TIHLAŘÍK M (2001) Albinizovaný apofylit z Libodřic na Kolínsku. Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz 9: 303-305
- NOVÁK F, PAULIŠ P, TIHLAŘÍK M (2002) Zajímavý nález albinizovaného apofylitu z Libodřic na Kolínsku. Minerál 10 (1): 5-7
- PAULIŠ P (2000) Nejzajímavější mineralogická naleziště Čech. 1-71, Kutná Hora, Kutná Hora
- PAULIŠ P, PLECHÁČEK J (2008) Arsenopyrit z Libodřic u Kolína. Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz 16 (2): 247
- PAVLICOVÁ Š (1972) Krystalchemický výzkum některých epidotů. MS, diplomová práce, PŘF UK Praha

- PAŽOUT R, SEJKORA J, ŠREIN V (2017) Bismuth and bismuth-antimony sulphosalts from Kutná Hora vein Ag-Pb-Zn ore district, Czech Republic. *J Geosci* 62: 59-76
- POUCHOU JL, PICOIR F (1985) "PAP" ( $\varphi\varphi Z$ ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: ARMSTRONG JT (ed.) *Microbeam Analysis*: 104-106. San Francisco Press, San Francisco
- REIF J, PAULIŠ P, ŠANC I (1991) Feroaxinit z alpské žíly v amfibolitu u Libodřic (západně od Kolína). *Čas mineral geol* 36 (4): 243-246
- SEJKORA J, LITOHLEB J, NOVÁK M, CÍCHA J, DOLNÍČEK Z (2020) Nickel-(Bi,Ag) sulphide mineralization from NYF Vepice pegmatite, Milevsko pluton, southern Bohemia (Czech Republic) - a reflection of the parental granite chemistry. *J Geosci* 65(3): 187-199
- SYNEK J, OLIVERIOVÁ D (1993) Terrane character of the north-east margin of the Moldanubian Zone: the Kutná Hora Crystalline Complex, Bohemian Massif. *Geol Rundsch* 82: 566-582
- ŠEDINA M (2004) Překvapivý výskyt molybdenitu v asociaci minerálů alpské parageneze v Libodřicích u Kolína. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz* 12: 226-227
- ŠEDINA M (2018) Allanitem bohatý pegmatit v Libodřicích. *Minerál* 26 (4): 321-329
- ŠEDINA M (2019) Další zajímavý nález apofylitu z Libodřic. *Minerál* 27 (2): 107-112
- TOPA D, MAKOVICKÝ E (2010) Crystal-chemistry of cosalite based on new microprobe data and single-crystal structure determinations. *Can Mineral* 48(5): 1081-1107
- VICHR P (2008) Nálezy minerálů alpské parageneze v Libodřicích z let 2000 až 2008. *Minerál* 16 (4): 333-339
- VICHR P, FIŠERA M (2002) Neobvyklá forma výskytu kalcitu v alpské paragenezi z Libodřic na Kolínsku. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz* 10: 335-337
- ŽIVKOVIČ Ž, ŽIVKOVIČ D (1996) Comparative determination of the infinite dilution constants and interaction parameters in the binary system Bi-Sb. *Rud-Metalur Zbor* 43(3-4): 215-218