

<https://doi.org/10.46861/bmp.30.073>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Wolframová a sulfidická hydrotermální mineralizace z Pekelského vrchu u Jihlavy (Česká republika)

Tungsten and sulphidic hydrothermal mineralization from Pekelský vrch near Jihlava (Czech Republic)

PETR PAULIŠ^{1,2)*}, STANISLAV KOPECKÝ³⁾, ZDENĚK DOLNÍČEK²⁾, JIŘÍ SEJKORA²⁾, ONDŘEJ POUR⁴⁾, JANA ULMANOVÁ²⁾ A STANISLAV KOPECKÝ JUN.⁵⁾

¹⁾Smíškova 564, 284 01 Kutná Hora; *e-mail petr.paulis@post.cz

²⁾Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice

³⁾Žižkov II/1294, 580 01 Havlíčkův Brod

⁴⁾Česká geologická služba, Geologická 6, 152 00 Praha 5

⁵⁾588 41 Výskytná nad Jihlavou 72

PAULIŠ P, KOPECKÝ S, DOLNÍČEK Z, SEJKORA J, POUR O, ULMANOVÁ J, KOPECKÝ S JUN (2022) Wolframová a sulfidická hydrotermální mineralizace z Pekelského vrchu u Jihlavy (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 30(1): 73-94 ISSN 2570-7337

Abstract

The occurrence of tungsten mineralization of greisen type with the dominant ferberite and scheelite in quartz veins was detected in 1963 at the site Pekelský vrch near Jihlava. We conducted a detailed mineralogical research of the vein material sampled in the years 2020 - 2022. The dominating tungsten mineralization is represented especially by two chemically different types of ferberite, including relatively pure younger ferberite and older generation of ferberite containing substantial amounts of hübnerite (19 - 45 mol.%) and huanzalaite component (2.6 - 4.1 mol.%). Widespread scheelite replaces earlier ferberite, and is replaced by younger generation of ferberite. The Ti,W-rich columbite-(Fe) is an accessory phase associated with younger generation of ferberite. In addition to tungsten mineralization, there was recorded a varied sulphidic mineralization with dominating pyrite, chalcopyrite, galena, molybdenite and rare sulphosalts including matildite and gustavite, and locally also tellurosulphides (joséite-A and joséite-B), native bismuth and electrum. The supergene mineralization with Fe³⁺ hydroxides, bismutite, bismite, petitjeanite, kintoreite, corkite, plumbogummite, jarosite and iodargyrite is relatively rare. The gangue is dominated by quartz with flakes of low-F *phenigitic* muscovite and rare siderite and fluorapatite. In addition, a fragment of an Al-rich rock, composed of corundum, andalusite, margarite and muscovite, was identified in the dump material. A total of 32 mineral species was found there.

Key words: *ferberite, scheelite, columbite, joséite, gustavite, native bismuth, electrum, supergene minerals, greisen, margarite, corundum, Pekelský vrch near Jihlava*

Obdrženo 15. 5. 2022; přijato 27. 6. 2022

Úvod

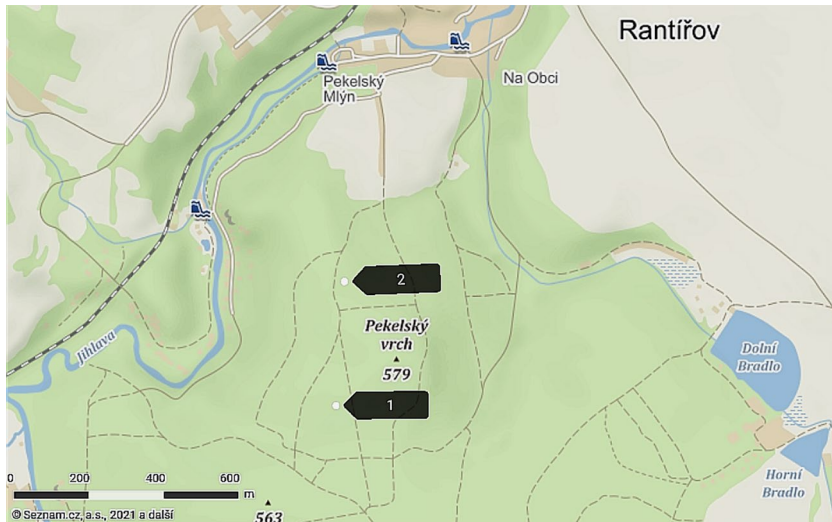
Lokalita Pekelský vrch (též Pekelný vrch), se nachází cca 200 m jz. od kóty 579 m n. m., cca 1.9 km jz. od obce Rantířov a cca 6 km z. od Jihlavy (hlavní výskyt, na obr. 1 označený 1, má souřadnice GPS: 49°23'40.25"N, 15°30'33.91"E).

Výskyt wolframového zrudnění tu byl objeven v roce 1963 M. Veselou během mapování listu Jihlava (Veselá 1964). Později zde bylo provedeno několik rýh a vrtů při ložiskovém průzkumu (Veselá et al. 1989). Bližší údaje o tomto průzkumu bohužel chybí (Losertová 2015). Jde o alterace greisenového typu, doprovázené muskovit-křemenným greisenem, který je nositelem zrudnění s dominujícím *wolframitem* a *scheelitem* (Veselá 1964; Veselá et al. 1989).

W-zrudnění bylo zastíženo ve dvou malých tělesech greisenizovaného drobnozrného muskovit-biotitického granitu, která pronikají cordierit-biotitickým migmatitem při východním okraji centrálního masivu. Podobný výskyt greisenizovaného granitu se nachází u obce Nový

Hubenov, dále sv. od obce Bílý Kámen a s. od Smrčné u Jihlavy (Veselá et al. 1989). Směr foliace těchto metamorfovaných hornin je S - J s úklonem 40 - 50° k V (Janečka 1964; Veselá et al. 1989).

Kopanou sondou byla na Pekelském vrchu odkryta greisenizovaná pásma a křemenné žíly směru SV - JZ s úklonem 20° k JV. Žilný muskovit-křemenný greisen dosahuje mocnosti cm až 1 m, je jemnozrný, místy drobnozrný až středně zrnitý, má bělavě šedou až slabě okrově nažloutlou barvu. Obsahuje ojediněle muskovit, vzácně granát a sericitové pseudomorfózy, vzniklé pravděpodobně přeměnou živců. Zrudnění je reprezentováno především *wolframitem*, *scheelitem* a *pyritem*. Hydrotermálně alterovaný granit v blízkosti muskovit-křemenného greisenu obsahuje drobné greisenizované monominerální muskovitické žilky. V muskovitu z obou typů greisenů nebyla zjištěna přítomnost lithia. Okolními migmatizovanými horninami v blízkosti greisenu proniká síť křemenných žilek, místy se světle modrým fluoritem (Janečka 1964; Veselá et al. 1989). Vrtem bylo v blízkosti greisenových poloh též ověřeno



Obr. 1 Topografická mapa okolí Pekelského vrchu s vyznačenými výskyty zrudněné křemenné žiloviny (1, 2), zdroj: www.mapy.cz.



Obr. 2 Lokalita (1) na Pekelském vrchu (2021). Foto S. Kopecký.



Obr. 3 Ferberit v křemenné žilovině z Pekelského vrchu, velikost vzorku 9 × 4 cm. Foto B. Bureš.

no Pb-Zn zrudnění. Orientačními chemickými analýzami byly zjištěny nízké obsahy wolframu v rozmezí 0.1 - 0.2 % (Veselá et al. 1970).

Nověji se mineralogii této lokality věnovali pouze Losertová a Buřival (2015), kteří studovali vzorky s W-mineralizací zapůjčené z Muzea Vysočiny v Jihlavě. Popsali výskyt sekundárního ferberitu (tzv. reinitu), který zatlačuje nebo zcela pseudomorfuje zrna staršího scheelitu. V agregátech tohoto ferberitu byly identifikovány mikroskopické krystaly monazitu-(Ce), xenotimu a fluorem bohatého muskovitu, ze supergenní mineralizace pak jarosit a plumbojarosit. Původní primární wolframit ve vzorcích studovaných autory zjištěn nebyl.

Regionální šlichová prospekce (Holák et al. 1970) prokázala anomální obsahy scheelitu, místy i kassiteritu a wolframitu v území mezi kótami Pekelský vrch a Kamenný kopec a obcemi Hosov a Vysoká. Je pravděpodobné, že část rudních minerálů pochází z drobných greisenů, část scheelitů z čoček erlanů.

Žíla zjištěná v lese Vlčí jámy, 2 km z. od Hosova, je tvořena mléčně bílým, místy drúzovitým nebo hrubě stébelnatým křemenem. Zrudnění je tvořeno jemnými impregnacemi a zrny sfaleritu, pyritu, arsenopyritu, galenitu, chalkopyritu a tetraedritu (Němec 1964). Žíla pokračuje jako hydrotermálně alterovaná, místy zrudněná zóna ukloněná strmě k V na kótu Pekelský vrch, kde byl její průběh ověřen vrtem (Veselá et al. 1970).

Metodika výzkumu

Rentgenová prášková difrakční data bismutitu byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s polovodičovým pozičně citlivým detektorem LynxEye za užití CuK α záření (40 kV, 40 mA). Práškové preparáty byly nanášeny v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku a následně pak byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.01°, načítací čas 8 s/krok detektoru, celkový čas experimentu cca 15 hod.). Získaná data byla vyhodnocena pomocí softwaru ZDS pro DOS (Ondruš 1993) za použití profilové funkce Pearson VII. Mřížkové parametry byly zpřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Burnhama (1962).

Chemické složení minerálů bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Pra-

ha, analytik Z. Dolníček) ve vlnově disperzním modu. Sulfidy a sulfosoli byly měřeny za použití urychlovacího napětí 25 kV, proudu svazku 5 nA (akantit), respektive 20 nA (všechny ostatní sulfidy) a při průměru svazku 10 μm (akantit), respektive 0.7 μm (všechny ostatní sulfidy). Použité standardy a analytické čáry: Ag (AgLa), Au (AuMa), Bi₂Se₃ (BiM β), CdTe (CdLa), Co (CoKa), CuFeS₂ (CuKa, SKa), FeS₂ (FeKa), GaAs (GaLa), Ge (GeLa), HgTe (HgLa), TlBr (TL β), InAs (InLa), Mn (MnKa), NaCl (ClKa), NiAs (AsL β), Ni (NiKa), PbS (PbMa), PbSe (SeL β), PbTe (TeLa), Sb₂S₃ (SbLa), Sn (SnLa), TlBr (TlLa) a ZnS (ZnKa). Kyslíkaté fáze byly měřeny při urychlovacím napětí 15 kV, proudu svazku 20 nA (bezvodé oxidy, andalusit), 10 nA (slídy), či 5 nA (karbonáty, supergenní fáze) a při průměru elektronového svazku 0.7 μm (bezvodé oxidy, andalusit), 2 μm (slídy), respektive 5 μm (karbonáty, supergenní fáze). Ve wolframitu, rutilu, scheelitu a columbitu byly měřeny obsahy Al, As, Ca, Cr, F, Fe, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, P, Pb, S, Sc, Si, Sn, Ta, Ti, U, V, W, Y a Zr, v korundu a andalusitu Al, Ca, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Sb, Si, Ti, V a Zn, ve slídách Al, Ba, Ca, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Si, Ti, V a Zn, v karbonátech Ba, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, P, Pb, S, Si, Sr a Zn, a v supergenních fázích Al, As, Ba, Bi, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, F, Fe, K, Mg, Mo, Mn, N, Na, Ni, P, Pb, S, Se, Sb, Si, Sn, Sr, Te, U, V, Y, W a Zn. Použité standardy a analytické čáry: albit (NaKa), almandin (FeKa), baryt (BaLa), Bi (BiMa), BN (NKa), celestín (SKa, SrLa), Co (CoKa), Cs sklo (CsLa), diopsid (MgKa), fluorapatit (CaKa, PKa), halit (ClKa), chalkopyrit (CuKa), Cr₂O₃ (CrKa), CrTa₂O₆ (TaLa), klinoklas (AsLa), LiF (FKa), Nb (NbLa), Ni (NiKa), PbSe (SeL β), PbTe (TeLa), RbGe sklo (RbLa), rodonit (MnKa), sanidin (AlKa, KKa), Sb₂S₃ (SbLa), ScVO₄ (ScKa), scheelit (WLa), Sn (SnLa), Th (ThMa), TiO₂ (TiKa), UO₂ (UMa), vanadinit (VKa, PbMa), wollastonit (SiKa, CaKa), wulfenit (PbMa, MoKa), zirkon (ZrLa) a ZnO (ZnKa). 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, Pichoir 1985).



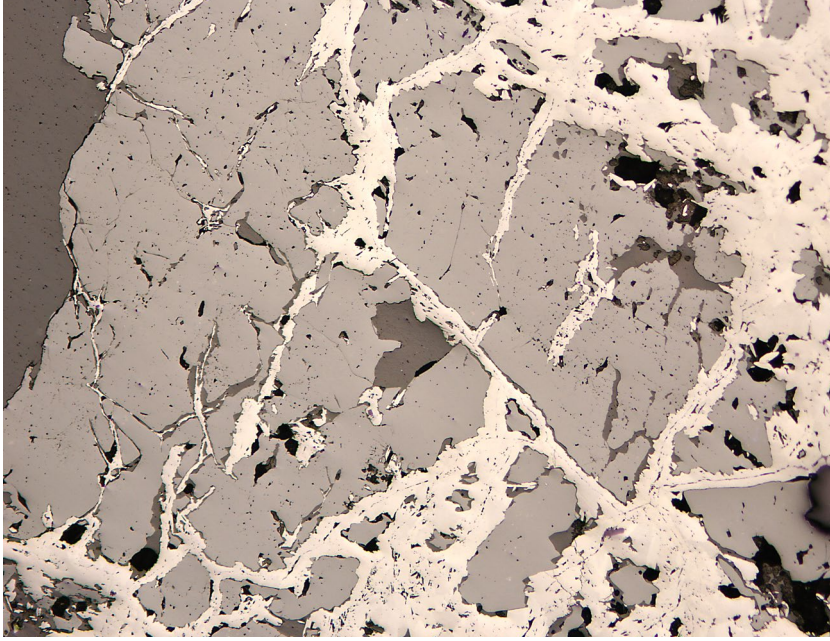
Obr. 4 Ferberit s scheelitem v křemenné žilovině z Pekelského vrchu, šířka záběru 14 mm. Foto B. Bureš.



Obr. 5 Ferberit se scheelitem v křemenné žilovině z Pekelského vrchu, šířka záběru 22 mm. Foto B. Bureš.



Obr. 6 Drobné krystaly ferberitu (světle šedý) v dutině křemene (černý) s produkty jeho přeměny (W-bohatý limonit), šířka záběru 600 μm . BSE foto Z. Dolníček.

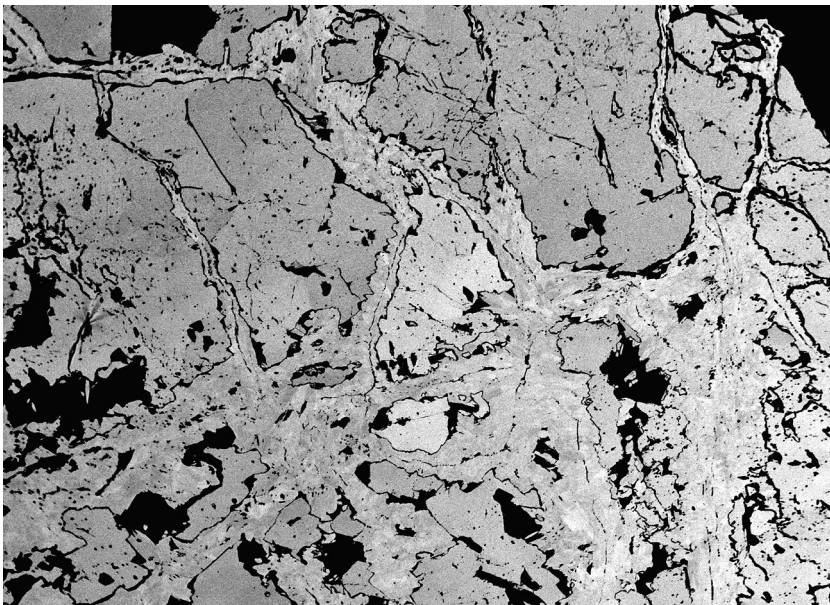
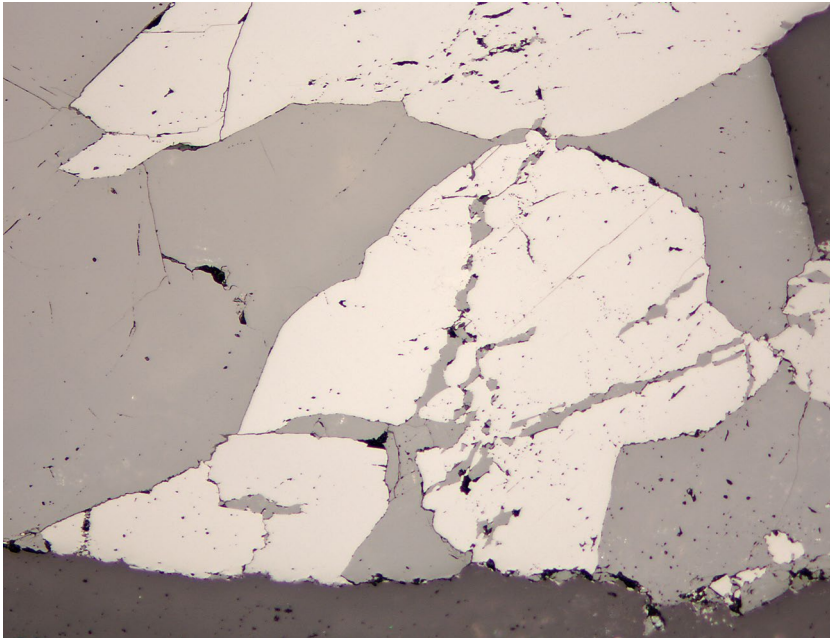


Charakteristika studované mineralizace

O lokalitě je celkově k dispozici poměrně málo informací, totéž platí i o mineralogickém materiálu (nepříliš reprezentativní dokladový materiál je uložen pouze v jihlavském Muzeu Vysočiny). O lokalitu byl ze strany spoluautorů (SK, SK jun.) projevován dlouhodobý zájem, až do roku 2020 však nebyl objeven žádný zajímavý materiál. V roce 2020 došlo v důsledku kúrovcové kalamity k úplnému odlesnění zájmového prostoru a následně i k nálezům vzorků s W-mineralizací z kdysi realizovaných průzkumných rýh na dvou místech (obr. 1). Větší množství rudního materiálu bylo zjištěno na místě č. 1 (obr. 2), na vedlejší výskytu č. 2 bylo nalezeno jen malé množství křemenné žiloviny s ferberitem a scheelitem. V rámci několika návštěv bylo získáno cca 20 kg šedobílé až šedé křemenné žiloviny s ferberitem a scheelitem o rozměrech do 10 × 15 cm. Rozměry nezrudnělých kusů křemenné žiloviny a greisenů dosahovaly větších rozměrů (až 20 × 30 cm). Spolu s W-mineralizací byla ve vzorcích zjištěna zajímavá sulfidická mineralizace s ryzím bismutem, elektrem a dalšími minerály.

W-mineralizace

Wolframová mineralizace na lokalitě dominuje a je ve fragmentech křemenné žiloviny poměrně běžná. Nápadný černý *wolframit* je na lokalitě přítomen v podobě tabulek o rozměrech do 5 × 2 cm a zrnitých agregátů do velikostí 6 × 5 cm (obr. 3). Téměř všechny vzorky obsahují vedle *wolframitu* (vždy jde o ferberit) i světle žlutý až nahnědlý scheelit (obr. 4, 5). V analyzovaných nábrusech



Obr. 7 Zatlačování scheelitu (šedý) mladším ferberitem (světlý) v křemeni (černý), šířka záběru 2.9 mm, nábrus, odražené světlo, PPL. Foto Z. Dolníček.

Obr. 8 Zatlačování staršího ferberitu (světlý) scheelitem (šedý) v křemeni (černý), šířka záběru 1.45 mm, nábrus, odražené světlo, PPL. Foto Z. Dolníček.

Obr. 9 Zatlačování scheelitu (tmavě šedý) mladším ferberitem (světle šedý), šířka záběru 2.1 mm. BSE foto Z. Dolníček.

byly zjištěny dva chemicky odlišné typy **ferberitu**, náležející dvěma generacím, které však nejsou makroskopicky odlišitelné.

Starší typ ferberitu vytváří nepravidelná zrna milimetrových rozměrů, která těsně asociují se scheelitem. Některá jeho zrna těsně asociují s muskovitem. Od mladší generace se starší ferberit (53 - 77 mol. % ferberitové složky) odlišuje podstatnou příměsí hübneritové (19 - 45 mol. %) a zvýšeným podílem huanzalaitové (2.6 - 4.1 mol. %) složky (tab. 1, anal. č. 1 - 8). Zvýšené obsahy Mg ve *wolframitech* jsou považovány za poměrně vzácné (Ferenc, Uher 2007). Po chemické stránce je tento ferberit blízký *wolframitu* z Cetoraze u Pacova, ve kterém bylo zjištěno obdobné zastoupení Mg (kolem 4 mol. % huanzalaitové složky; Losertová et al. 2013). U části analýz staršího ferberitu z Pekelského vrchu byly zaznamenány i slabě zvýšené obsahy Nb (max. 0.006 *apfu*) a S (max. 0.003 *apfu*). U tohoto typu ferberitu dochází při okraji jeho zrn běžně k jeho zatlačování mladším scheelitem, tzv. scheelitizaci *wolframitu* (obr. 6 - 9). Větší tabulky Mg, Mn bohatšího ferberitu jsou v jednom vzorku obrůstány drobnozrnným ferberitem mladší generace prakticky bez obsahů Mg a Mn. Chemické složení staršího typu ferberitu z Pekelského vrchu je možné na bázi čtyř atomů kyslíku vyjádřit empirickým vzorcem $(\text{Fe}_{0.70}\text{Mn}_{0.24}\text{Mg}_{0.04}\Sigma_{0.98}\text{W}_{1.00}\text{O}_{4.00})$ (průměr 20 bodových analýz).

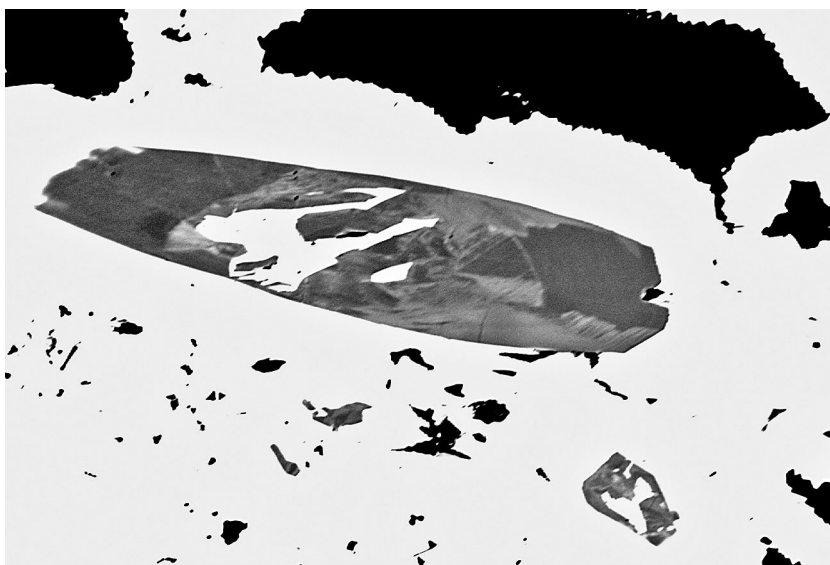
Mladší generace je téměř čistý ferberit, který vedle železnaté ferberitové složky obsahuje jen velmi malou příměs hübneritové složky (max. 1 mol. %) (tab. 1, anal. č. 9 - 12). Z dalších prvků lze zmínit jen malé množství S (max. 0.002 *apfu*), zaznamenané jen v menší části získaných analýz. V nábrusech tvoří tento ferberit až přes 1 mm velká hypautomorfni zrna, v dutinách též drobné (kolem 100 μm) krystaly s cca 10 μm silnými lemy hydratovaného FeWO_4 (suma 90 %), který ho zatlačuje (obr. 6). Ojediněle byl v tomto ferberitu zjištěn W, Ti bohatý columbit-(Fe). Chemické složení tohoto ferberitu je možné na bázi čtyř atomů kyslíku vyjádřit empirickým vzorcem $\text{Fe}_{0.99}\text{W}_{1.00}\text{O}_{4.00}$ (průměr 26 bodových analýz). Tento typ ferberitu po trhlinách zatlačuje starší zrna scheelitu nebo ho zcela pseudomorfuje (obr. 7). Vápník v původním scheelitu je v tomto případě zcela nahrazen železem (Sahama 1981). Jde o jev, při kterém vzniká



Obr. 10 Zrnitý agregát scheelitu s křemenem z Pekelského vrchu, šířka záběru 22 mm. Foto B. Bureš.



Obr. 11 Krystaly scheelitu z Pekelského vrchu, šířka záběru 6.2 mm. Foto B. Bureš.



Obr. 12 Zonální krystal W, Ti, Sc bohatého columbitu-(Fe) zarostlý ve ferberitu, šířka záběru 420 μm . BSE foto Z. Dolníček.

sekundární ferberit, popisovaný z této lokality již Losertovou a Buřivalem (2015).

Z regionálně blízkých projevů wolframového zrudnění, kde byl zjištěn poměrně hojný ferberit se scheelitem, stojí za zmínku jeho objev na vrchu Vysoká u Havlíčkova Brodu, 20 km ssv. od Pekelského vrchu (Pauliš, Kopecký 2007).

Scheelit patří na Pekelském vrchu k poměrně běžným minerálům. Vyskytuje se většinou spolu s ferberitem (obr. 4, 5). Tvoří žluté až světle hnědé, až několik cm² velké zrnité agregáty (obr. 10), které často srůstají s ferberitem. V drobných dutinách jsou vzácné jeho nedokonalé dipyramidální krystaly (obr. 11). V nábrusech tvoří většinou hypautomorfni, až několik mm velká zrna, která

Tabulka 1 Chemické složení dvou generací ferberitu z Pekelského vrchu (hm. %)

An. č.	mean 1	1	2	3	4	5	6	7	8	mean 2	9	10	11	12
Generace	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
SO ₃	0.04	0.00	0.06	0.00	0.00	0.08	0.07	0.00	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.06
WO ₃	76.55	77.35	76.86	76.35	76.19	76.27	76.41	75.72	75.84	75.68	75.76	76.23	76.31	76.45
Nb ₂ O ₅	0.11	0.00	0.25	0.00	0.00	0.11	0.13	0.13	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.47	0.52	0.48	0.53	0.54	0.48	0.37	0.34	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	5.63	4.33	4.62	4.61	4.63	7.10	8.99	9.96	10.28	0.06	0.18	0.10	0.24	0.00
FeO	16.59	17.84	17.67	17.59	17.46	15.13	13.35	12.26	12.20	23.22	23.20	23.44	23.02	23.52
total	99.40	100.04	99.94	99.08	98.82	99.17	99.32	98.41	98.95	99.13	99.14	99.77	99.57	100.03
S ⁶⁺	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.003	0.003	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002
W ⁶⁺	1.003	1.009	1.001	1.005	1.005	1.001	1.002	1.004	0.998	0.999	1.001	1.001	1.004	1.000
Nb ⁵⁺	0.003	0.000	0.006	0.000	0.000	0.003	0.003	0.003	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg ²⁺	0.036	0.039	0.036	0.040	0.041	0.036	0.028	0.026	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn ²⁺	0.241	0.185	0.197	0.198	0.200	0.305	0.385	0.431	0.442	0.003	0.008	0.004	0.010	0.000
Fe ²⁺	0.702	0.751	0.743	0.747	0.743	0.641	0.565	0.524	0.518	0.989	0.989	0.993	0.977	0.993
Σkat.	1.986	1.983	1.985	1.990	1.989	1.988	1.986	1.988	1.992	1.996	1.998	1.998	1.992	1.995
Fer	70.2	75.1	74.3	74.7	74.3	64.1	56.5	52.4	51.8	98.9	98.9	99.3	97.7	99.3
Hüb	24.1	18.5	19.7	19.8	20.0	30.5	38.5	43.1	44.2	0.3	0.8	0.4	1.0	0.0
Hua	3.6	3.9	3.6	4.0	4.1	3.6	2.8	2.6	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Mean 1 - průměr z 20 bodových analýz; mean 2 - průměr z 26 bodových analýz, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na základě čtyř atomů kyslíku, obsahy koncových členů v mol. %.

Tabulka 2 Chemické složení W, Ti bohatého columbitu-(Fe) z Pekelského vrchu (hm. %)

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SO ₃	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.08	0.00	0.07	0.06
WO ₃	5.82	6.66	7.24	8.59	12.44	14.85	15.70	17.95	20.71	22.07	23.02	23.07	26.65	26.99
Nb ₂ O ₅	64.41	65.20	63.92	62.87	58.44	56.42	56.85	54.43	51.80	52.60	49.40	51.19	47.37	47.49
Ta ₂ O ₅	2.78	3.19	2.95	2.57	2.61	2.65	2.29	2.40	2.44	1.52	2.22	1.56	1.91	2.01
TiO ₂	7.79	5.55	6.37	6.92	5.96	5.08	5.10	4.38	4.84	3.21	4.75	3.28	2.81	3.19
SnO ₂	0.31	0.12	0.21	0.32	0.34	0.32	0.28	0.23	0.25	0.13	0.29	0.12	0.19	0.15
Sc ₂ O ₃	2.54	1.82	2.05	2.33	2.18	2.13	2.07	1.82	2.09	1.58	2.03	1.57	1.04	1.27
MgO	0.50	0.49	0.50	0.51	0.50	0.45	0.48	0.44	0.52	0.53	0.49	0.50	0.50	0.50
MnO	3.52	4.05	3.70	3.46	3.60	3.71	3.86	4.12	3.80	5.48	3.95	5.17	4.86	4.70
FeO	13.12	13.35	13.49	13.45	13.87	14.19	14.08	14.47	14.23	13.52	14.43	13.90	14.72	14.46
F	0.56	0.60	0.53	0.51	0.50	0.50	0.49	0.50	0.42	0.47	0.45	0.51	0.52	0.47
O=F	-0.24	-0.25	-0.23	-0.22	-0.21	-0.21	-0.20	-0.21	-0.18	-0.20	-0.19	-0.22	-0.22	-0.20
total	101.13	100.78	100.83	101.32	100.24	100.08	100.97	100.60	100.99	100.91	100.92	100.65	100.42	101.08
S ⁶⁺	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.000	0.004	0.000	0.003	0.003
W ⁶⁺	0.083	0.097	0.105	0.124	0.184	0.223	0.234	0.272	0.314	0.339	0.352	0.356	0.420	0.422
Nb ⁵⁺	1.600	1.650	1.610	1.577	1.510	1.479	1.478	1.438	1.370	1.407	1.319	1.379	1.303	1.294
Ta ⁵⁺	0.042	0.049	0.045	0.039	0.041	0.042	0.036	0.038	0.039	0.024	0.036	0.025	0.032	0.033
Ti ⁴⁺	0.322	0.234	0.267	0.289	0.256	0.222	0.221	0.193	0.213	0.143	0.211	0.147	0.129	0.145
Sn ⁴⁺	0.007	0.003	0.005	0.007	0.008	0.007	0.006	0.005	0.006	0.003	0.007	0.003	0.005	0.004
Sc ³⁺	0.122	0.089	0.100	0.112	0.108	0.108	0.104	0.093	0.107	0.081	0.104	0.082	0.055	0.067
Mg ²⁺	0.041	0.040	0.042	0.043	0.043	0.039	0.041	0.038	0.045	0.047	0.043	0.044	0.045	0.044
Mn ²⁺	0.164	0.192	0.175	0.162	0.174	0.182	0.188	0.204	0.188	0.275	0.198	0.261	0.250	0.240
Fe ²⁺	0.603	0.625	0.629	0.624	0.663	0.688	0.677	0.707	0.696	0.669	0.713	0.693	0.749	0.729
F ⁻	0.098	0.107	0.094	0.090	0.091	0.093	0.088	0.092	0.078	0.088	0.084	0.097	0.101	0.089
Σkat	2.983	2.978	2.980	2.977	2.988	2.989	2.983	2.991	2.981	2.988	2.986	2.990	2.991	2.980

koeficienty empirických vzorců počítány na bázi šesti atomů kyslíku.

jsou mladším ferberitem zatlačována. Jen menší část, která tvoří úzké lemy kolem ferberitu, je mladší a vznikla patrně jeho scheelitizací. Zrna scheelitu jsou homogenní, jedná se o čistý scheelit bez jakýchkoliv příměsí. Scheelit v krátkovlnném UV záření vykazuje intenzivní bílou fluorescenci.

Dalším zjištěným minerálem z této mineralogicky druhově pestré lokality je W, Ti bohatý **columbit-(Fe)**. Byl zjištěn na ploše nábrusu v podobě sporadických, kompozičně nehomogenních tabulkovitých krystalů o rozměrech až 200 × 50 μm (obr. 12) či drobnějších, xenomorfně omezených zrn, která zarůstají do mladší generace ferberitu. Má poměrně komplikovaný chemismus (tab. 2). V minerálech skupiny columbitu s obecným vzorcem AB_2O_6 je pozice A obsazena dominantně Fe a Mn, v menší míře pak Mg a dalšími trojmocnými a dvojmocnými kationty (např. Sc, Bi, Pb, REE). Pozice B je obsazena dominantně Nb a Ta, minoritně bývají zastoupeny především Ti a Sn, dále například W, Zr, Hf, U, Th, aj. (Lehmann et al. 2014). V našem případě se jako substituční elementy uplatnily především W (0.08 - 0.42 *apfu*), Ti (0.13 - 0.32 *apfu*), Mn (0.16 - 0.26 *apfu*) a Sc (0.06 - 0.12 *apfu*). Z obr. 13 je zřejmý substituční trend od Ti-obohaceného columbitu směrem k *wolframitu*, přičemž wolframem nejbohatší analýzy se blíží složení qitianlingitu. Zajímavý je relativně vysoký obsah skandia (1.84 - 2.57 hm % Sc_2O_3), který odpovídá vzácným tzv. skandiovým columbitům s obsahem 1 - 3 hm. % Sc_2O_3 (Wise et al. 1998). Obsah fluoru se pohybuje mezi 0.08 a 0.11 *apfu*. Chemické složení tohoto columbitu -(Fe) je možné na bázi šesti atomů kyslíku vyjádřit empirickým vzorcem $(Fe_{0.68}Mn_{0.20}Mg_{0.04}Sc_{0.10})_{\Sigma 1.02}(Nb_{1.46}Ta_{0.04}Ti_{0.22}W_{0.25})_{\Sigma 1.97}O_{5.91}F_{0.09}$ (průměr 18 bodových analýz).

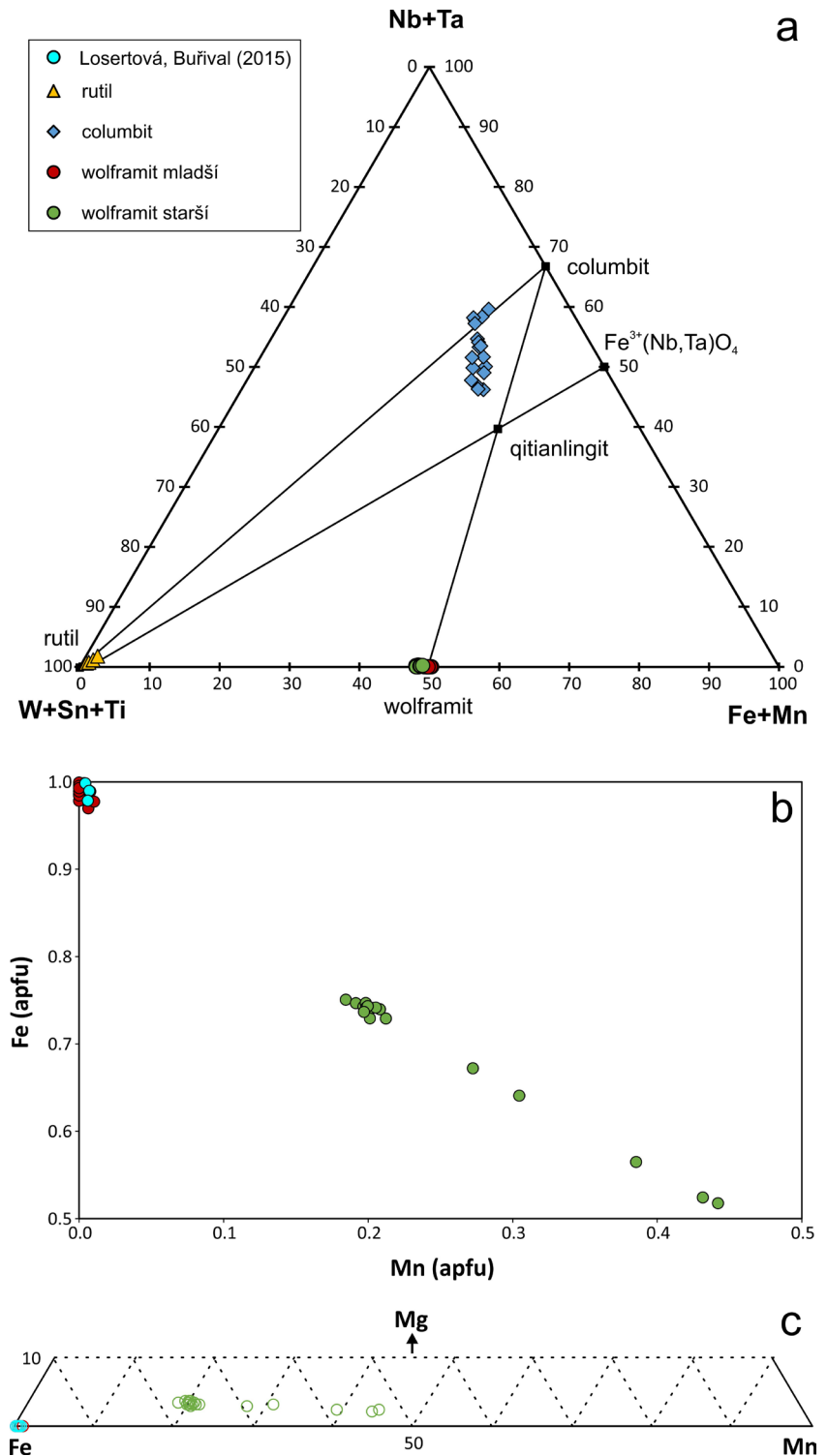
Sulfidická mineralizace

Sulfidická mineralizace se v křemenné žilovině vyskytuje jen sporadicky a v nevelkých rozměrech. Na některých vzorcích poměrně úzce asociuje s wolframovou mineralizací. Nejhojnějším zástupcem této mineralizace je pyrit.

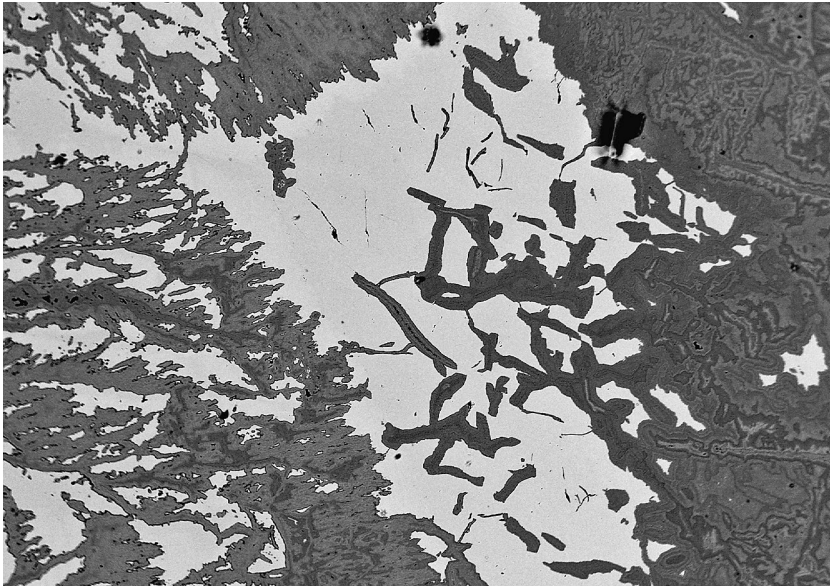
Pyrit vytváří v křemenné žilovině nepravidelné zrnité agregáty až několik mm velké a ojediněle až 1 mm velké krystaly krychlového habitu. Často podléhá alteraci, hnědne a zčásti přechází v hydrooxydy Fe^{3+} (obr. 14). V nábrusech tvoří xenomorfní zrna o rozměrech do 1 mm, ojediněle byl plochou nábrusu zachycen i jeho korodovaný krystal o velikosti 0.4 mm. Někdy pyrit asociuje

s řídkým chalkopyritem, většinou jsou však v jeho těsném okolí přítomny hydrooxydy Fe^{3+} , případně drobně jehlicovitý goethit. Z chemického hlediska obsahuje tento pyrit vedle Fe a S jen velmi malé obsahy Pb (do 0.18 hm. %).

Chalkopyrit je na lokalitě podstatně vzácnější než pyrit. Tvoří ojedinělá xenomorfní zrna až 0.8 mm velká, která se v křemenné žilovině vyskytují samostatně nebo v asociaci s pyritem či ojedinělým pyrhotinem. Chemické



Obr. 13 a - Variace v chemickém složení wolframitu, rutilu a columbitu z Pekelského vrchu v diagramu (W+Sn+Ti) - (Nb+Ta) - (Fe+Mn) (Dixon et al. 2014). b - diagram Fe - Mn pro wolframity. c - diagram Fe - Mn - Mg pro wolframity. Srovnávací data pro mladší generaci wolframitu z Pekelského vrchu jsou z Losertové a Buřivala (2015).

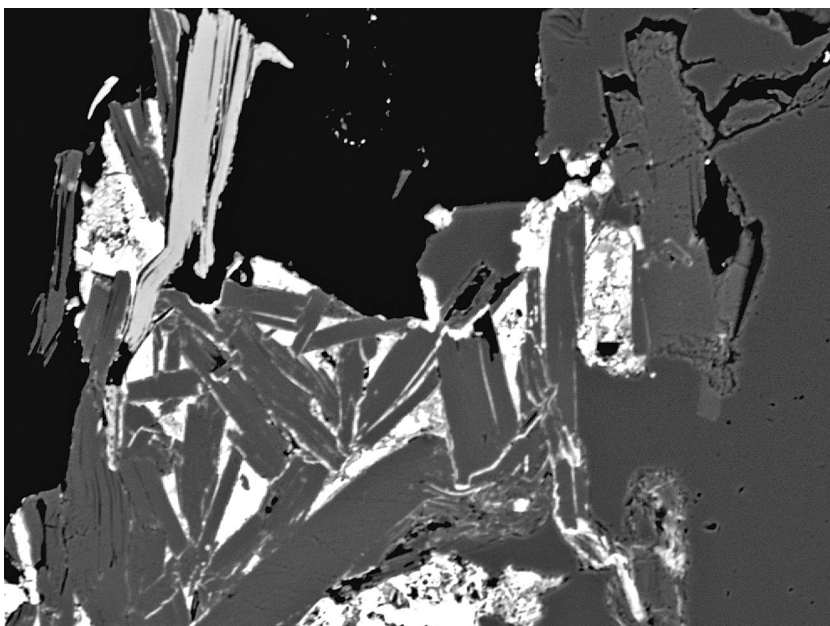


Obr. 14 Agregát pyritu (světle šedý), zatlačovaný limonitem (tmavě šedý), šířka záběru 2.1 mm. BSE foto Z. Dolníček.

Tabulka 3 Chemické složení pyrhotinu z Pekelského vrchu (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6
Fe	57.86	58.03	57.95	57.93	57.68	57.34	58.23
Pb	0.13	0.13	0.12	0.09	0.12	0.14	0.17
S	39.78	39.90	39.82	39.96	40.05	39.87	39.05
total	97.77	98.06	97.89	97.98	97.85	97.35	97.45
Fe	0.842	0.835	0.836	0.832	0.827	0.826	0.856
Pb	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
S	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Mean - průměr z šesti bodových analýz; hodnoty *apfu* jsou vypočítány na 1 atom síry.



Obr. 15 Prohnutý lupínek molybdenitu (světle šedý) s muskovitem (černé lišty) a Bi-okry (bělavé) v křemenu (černý), šířka záběru 420 μ m. BSE foto Z. Dolníček.

ké složení je poměrně jednoduché, vedle Cu, Fe a S obsahuje jen velmi málo Pb (0.11 - 0.14 hm. %).

Jen v jednom ze studovaných 15 nábrusů byla zjištěna velmi drobná (kolem 50 μ m velká) xenomorfní zrna **pyrhotinu**, která zarůstají izolovaně do křemenné žiloviny. Tento sulfid opět obsahuje vedle Fe a S jen velmi malý podíl Pb (0.09 - 0.17 hm. % - tab. 3). Chemické složení pyrhotinu je možné vyjádřit empirickým vzorcem $Fe_{0.84}S_{1.00}$ (průměr šesti bodových analýz, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na 1 atom síry).

Obdobně ojedinělý jako pyrhotin je na Pekelském vrchu **galenit**. Zjištěný byl pouze v jednom nábrusu, kde tvoří jedno cca 10 μ m velké xenomorfní zrna, které v křemenné žilovině srůstá s matilditem. Vedle Pb a S (tab. 4) obsahuje zvýšené obsahy Bi (0.04 *apfu*) a Ag (0.03 *apfu*) a minoritní zastoupení Fe (0.01 - 0.02 *apfu*) a Se (0.01 *apfu*). Chemické složení galenitu je možné na bázi 2 *apfu* vyjádřit empirickým vzorcem $(Pb_{0.92}Bi_{0.03}Ag_{0.03})_{\Sigma 0.98}(S_{0.99}Se_{0.01})_{\Sigma 1.00}$ (průměr tří bodových analýz).

Pouze v jednom nábrusu byl zjištěn **molybdenit** vytvářející v křemenné žilovině šupinkovitý agregát o velikosti kolem 0.1 mm srůstající s muskovitem a supergenními fázemi Bi (obr. 15). Vedle Mo a S nebyly v jeho složení zjištěny žádné další prvky.

Ve dvou nábrusech byl zjištěn poměrně vzácný **matildit**, který tvoří xenomorfní zrna, jedno 25 μ m velké v asociaci s ryzím bismutem, druhé o rozměrech kolem 10 μ m velké srůstající s galenitem a akantitem (obr. 16). Vedle Ag, Bi a S (tab. 5) byly v matilditu zjištěny nevelké obsahy Pb (do 0.05 *apfu*), Fe (do 0.02 *apfu*) a Se (do 0.02 *apfu*). Jeho chemické složení je možné na bázi 4 *apfu* vyjádřit empirickým vzorcem $Ag_{1.01}(Bi_{0.97}Pb_{0.02}Fe_{0.01})_{\Sigma 1.00}(S_{1.98}Se_{0.01})_{\Sigma 1.99}$ (průměr šesti bodových analýz). V rámci blízkého regionu byl matildit zjištěn na lokalitě Svatá Anna u Havlíčkova Brodu (Scharmová 2000) a na Staročeském pásmu v kutnohorském rudním revíru (Hoffman, Trdlička 1979).

V asociaci s drobnými zrnky ryzího bismutu byly zjištěny **joséit-A** a fáze blízká **joséitu-B**. Oba tvoří v křemenné žilovině drobná homogenní xenomorfní zrna dosahující na zkoumaných nábrusech velikosti 10 μ m (izolovaná) až 40 μ m (ve srůstech s bismutem) v asociaci s **elektrem**. Joséity byly zjištěny i v makroskopických rozměrech. Tvoří až kolem

2 mm velké, tmavě šedé lístečkovité agregáty obrůstající zrna staršího ryzího bismutu (obr. 17). Chemické složení joséitu-A je možné na bázi 7 *apfu* vyjádřit empirickým vzorcem $\text{Bi}_{3.88}\text{Pb}_{0.06}\text{Te}_{0.98}\text{S}_{2.07}$ (průměr tří bodových analýz). Chemické složení fáze blízké joséitu-B je možné na bázi 7 *apfu* vyjádřit empirickým vzorcem $\text{Bi}_{4.18}\text{Pb}_{0.04}\text{Te}_{1.54}\text{S}_{1.26}$ (průměr tří bodových analýz) a proti ideálnímu vzorci má vyšší obsahy síry (1.25 - 1.28 *apfu*) na úkor telluru (1.50 - 1.52 *apfu*). V obou typech joséitu se uplatnilo Pb (0.04 - 0.07 *apfu*) (tab. 6). Podobně variabilní obsahy Te a S byly zjištěny u joséitu z Pohledu v havlíčkobrodském rudním revíru (Dolníček et al. 2021).

Minerály joséitové skupiny byly v rámci blízkého regionu zjištěny na několika lokalitách v havlíčkobrodském rudním revíru. Vedle již zmíněného Pohledu byl mikroskopický joséit-A spolu s hojnějším joséitem-B a bismutem zjištěny v křemenné žilovině na vrchu Vysoká u Havlíčkova Brodu (Pauliš et al. 2014).

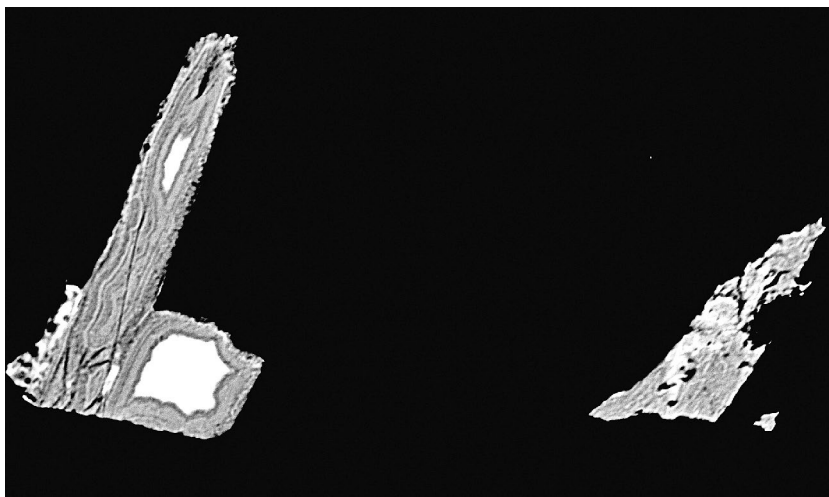
V křemenné žilovině bylo též zjištěno několik xenomorfně omezených zrn sulfosolů ze skupiny lillianitových homologů. Jsou homogenní a dosahují rozměrů 30 - 150 μm . Jedno je lemováno Bi bohatým akantitem. Na základě jejich chemického složení a vypočteného čísla *N* (3.92 - 4.55) je lze označit za **gustavit**. V tabulce 7 jsou uvedeny analýzy dvou zrn, které se poněkud odlišují. Analýzy č. 1 - 5 jsou blízké teoretickému složení gustavitu. Na bázi 11 *apfu* je možné jeho chemismus vyjádřit empirickým vzorcem $\text{Ag}_{1.09}\text{Pb}_{1.04}\text{Bi}_{2.90}\text{Sb}_{0.02}\text{S}_{5.95}$ (průměr pěti bodových analýz). Druhé analyzované zrn (analýzy č. 6 - 12) se odlišuje především deficitním obsahem Ag, respektive Bi a zvýšeným obsahem Pb. Jeho složení lze vyjádřit empirickým vzorcem $\text{Ag}_{0.63}\text{Cu}_{0.05}\text{Pb}_{1.63}\text{Bi}_{2.63}\text{Sb}_{0.03}\text{S}_{6.03}\text{Te}_{0.02}$ (průměr sedmi bodových analýz). Gustavity obdobného chemického složení analyzoval Pažout (2017) ve vzorcích z kutnohorských rudních žil. Mikroskopické gustavity byly též zjištěny v nedalekém havlíčkobrodském rudním revíru ve vrtu ze Svaté Anny (Scharmová 2000) a z galenitu z kamenolomu Pohled (Mastíková 2011). Poměrně hojný byl však především v kutnohorském rudním revíru, kde se vyskytoval v poměrně hojném množství na několika rudních pásmech (Hoffman et al. 1989; Pažout 2017; Pažout et al. 2000, 2001).

Další dvě sulfidické fáze patří

Tabulka 4 Chemické složení galenitu z Pekelského vrchu (hm. %)

	mean	1	2	3
Fe	0.33	0.30	0.30	0.35
Ag	1.38	1.44	1.38	1.32
Pb	81.62	81.72	81.38	81.76
Bi	3.09	3.11	3.01	3.16
Se	0.25	0.24	0.27	0.25
S	13.67	13.74	13.68	13.59
total	100.34	100.55	100.07	100.28
Fe	0.014	0.012	0.015	0.015
Ag	0.030	0.031	0.030	0.029
Pb	0.919	0.918	0.917	0.924
Bi	0.035	0.035	0.034	0.034
Se	0.007	0.007	0.008	0.007
S	0.995	0.997	0.996	0.992

Mean - průměr ze tří bodových analýz; báze přepočtu 2 *apfu*.



Obr. 16 Zrna gustavitu (bílé) s drobným zrnem matilditu (bílé) obklopené zonálním Bi bohatým akantitem (šedý) v křemenu (černý), šířka záběru 340 μm . BSE foto Z. Dolníček.

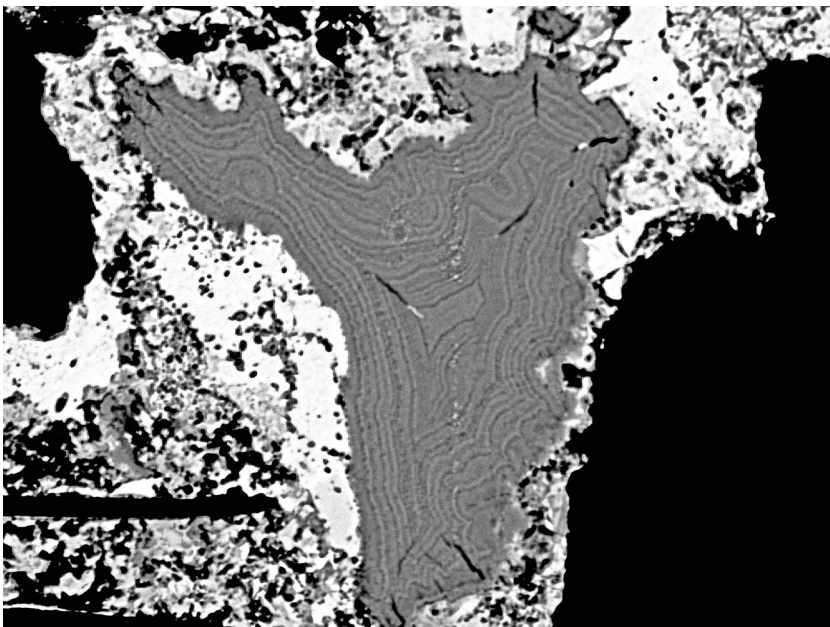
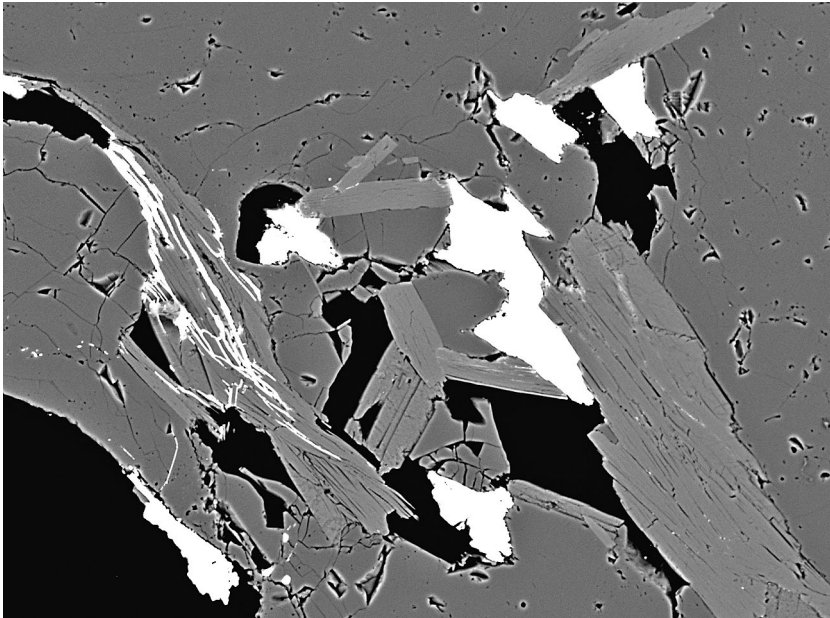
Tabulka 5 Chemické složení matilditu z Pekelského vrchu (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6
Fe	0.14	0.23	0.25	0.90	0.00	0.02	0.04
Ag	27.76	28.14	27.42	27.80	27.81	28.20	27.19
Pb	1.04	0.64	2.54	0.20	0.13	0.27	2.44
Bi	52.01	52.02	52.04	51.98	52.03	50.13	53.88
Se	0.21	0.40	0.37	0.42	0.00	0.09	0.00
S	16.22	16.20	16.33	16.13	15.62	15.73	16.12
total	97.38	97.63	98.95	96.82	95.59	94.42	99.67
Fe	0.010	0.016	0.017	0.020	0.000	0.000	0.003
Ag	1.009	1.016	0.983	1.010	1.037	1.052	0.983
Pb	0.020	0.012	0.047	0.004	0.003	0.005	0.046
Bi	0.974	0.969	0.963	0.974	1.001	0.965	1.006
Se	0.010	0.020	0.018	0.021	0.000	0.005	0.000
S	1.979	1.967	1.970	1.971	1.959	1.974	1.962

Mean - průměr 6 bodových analýz, báze přepočtu 4 *apfu*.



Obr. 17 Zrno ryzího bismutu s joséitem z Pekelského vrchu, šířka záběru 4.8 mm. Foto B. Bureš.



svým charakterem již mezi minerály supergenní přeměny. Hojnějším je **akantit**, vytvářející xenomorfní zrna v křemenu o rozměrech 100 - 300 μm , provázený bismutem (obr. 18). Bi bohatý akantit byl zjištěn v těsné asociaci s gustavitem, tvoří též spolu s bismutem zonální výplně nepravidelných drobných dutin o velikosti do 0.1 mm či submikroskopickou disperzi v *limonitu* (obr. 19). Z hlediska jeho chemického složení zde byly analyzovány jak poměrně čisté akantity s jen nepatrnými obsahy Bi a Te, tak i akantity s vysokým podílem Bi (max. 0.22 *apfu*) (tab. 8).

Dalším sulfidem nepochybně supergenního původu je fáze odpovídající svým chemickým složením **yarrowitu**. Obvykle tvoří 5 - 10 μm silné lemy kolem drobných zrn chalkopyritu, zjištěno bylo i izolované xenomorfní zrno o velikosti 50 μm v křemenné žilovině. Vedle Cu a S obsahuje Fe (0.14 - 0.63 *apfu*) (tab. 9). Průměrný (sedm bodových analýz) empirický vzorec yarrowitu je na bázi 17 *apfu* možno vyjádřit jako $\text{Cu}_{8.79}\text{Fe}_{0.36}\text{S}_{7.85}$. Yarrowit je poměrně vzácný minerál, v ČR byl dosud zjištěn ve směsi s dalšími Cu-sulfidy na lokalitách Brno-Komín, Nedvědice a Zlaté Hory (Burešová 2014) a na ložisku Fe rud Pittenwald u Rýmařova (Dolníček, Nepejchal 2019).

Spolu se sulfidickou mineralizací byl v křemenné žilovině zjištěn i výskyt ryzího bismutu a elektra. Ryzí **bismut** tvoří poměrně častá, makroskopicky identifikovatelná, stříbřitě bílá, nažloutlá a narůžovělá, kovově lesklá štěpná zrna dosahující velikosti kolem 2 mm (obr. 20). Bismut tvoří izolovaná zrna nebo srůstá s joséitem (obr. 17) v asociaci s *elektrem*. Poměrně snadno podléhá supergenní přeměně za

Obr. 18 Akantit (bílý) v křemenu (tmavošedý) v asociaci s muskovitem (světle šedý), šířka záběru 700 μm . BSE foto Z. Dolníček.

Obr. 19 Zonální agregát Bi bohatého akantitu (tmavě šedý) v bismutitu (světle šedý) v křemenu, šířka záběru 240 μm . BSE foto Z. Dolníček.

Tabulka 6 Chemické složení joséitu-A (anal. č. 1 - 3) a joséitu-B (anal. č. 4 - 6) z Pekelského vrchu (hm. %)

	1	2	3	4	5	6
Pb	1.31	1.29	1.31	0.85	0.85	0.73
Bi	79.78	78.08	79.00	77.63	77.88	77.38
Te	12.09	12.14	12.31	17.22	17.13	17.03
S	6.57	6.38	6.43	3.54	3.65	3.56
total	99.75	97.89	99.05	99.24	99.51	98.70
Pb	0.064	0.065	0.065	0.046	0.046	0.040
Bi	3.886	3.881	3.884	4.188	4.175	4.192
Te	0.964	0.988	0.991	1.521	1.504	1.511
S	2.086	2.067	2.060	1.245	1.275	1.257

Báze přepočtu 7 apfu.

Tabulka 7 Chemické složení gustavitu z Pekelského vrchu (hm. %)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.07	0.33	0.35	0.36	0.37	0.33
Ag	10.55	10.51	10.52	10.41	10.57	6.11	6.05	5.41	5.79	6.12	5.90	5.93
Pb	19.09	19.34	19.13	19.36	19.32	29.55	29.62	29.97	28.97	28.63	28.35	30.35
Bi	53.91	54.60	54.41	54.41	53.84	48.34	48.18	46.42	47.93	49.53	48.56	46.01
Sb	0.24	0.24	0.21	0.22	0.28	0.28	0.26	0.29	0.26	0.27	0.27	0.27
Te	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.13	0.13	0.11	0.18	0.12	0.13
S	16.92	17.13	17.07	17.06	17.22	17.06	16.89	16.43	16.73	17.23	17.07	16.33
total	100.71	101.82	101.34	101.46	101.23	101.52	101.20	98.98	100.21	102.32	100.64	99.35
Cu	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.013	0.061	0.064	0.064	0.066	0.061
Ag	1.100	1.084	1.090	1.079	1.091	0.644	0.642	0.588	0.619	0.638	0.623	0.644
Pb	1.037	1.039	1.032	1.044	1.038	1.623	1.637	1.696	1.613	1.553	1.559	1.715
Bi	2.903	2.908	2.910	2.910	2.868	2.631	2.640	2.605	2.645	2.664	2.648	2.579
Sb	0.022	0.022	0.019	0.020	0.026	0.026	0.024	0.028	0.025	0.025	0.025	0.026
Te	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.012	0.012	0.016	0.016	0.016	0.011
S	5.938	5.946	5.949	5.950	5.978	6.054	6.032	6.010	6.018	6.040	6.067	5.964
N	4.55	4.48	4.49	4.46	4.57	3.92	3.93	4.02	4.00	3.97	3.96	4.29

1-12 reprezentativní bodové analýzy, báze přepočtu 11 apfu.

Tabulka 8 Chemické složení akantitu z Pekelského vrchu (hm. %)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ag	85.31	84.45	87.39	75.65	76.53	81.84	77.26	74.15	66.05	77.28	80.76	85.63	86.16
Bi	0.70	0.96	0.15	4.32	5.83	3.12	5.96	8.34	15.90	9.64	4.21	2.04	1.55
Te	0.03	0.07	0.07	0.25	0.30	0.34	0.21	0.22	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
S	10.32	10.30	11.13	13.73	10.52	11.63	13.10	12.70	11.80	9.93	12.50	10.26	10.89
total	96.36	95.78	98.74	93.95	93.18	96.93	96.53	95.41	94.06	96.85	97.47	97.93	98.60
Ag	2.125	2.117	2.098	1.826	1.993	1.998	1.860	1.833	1.735	2.004	1.938	2.119	2.091
Bi	0.009	0.012	0.002	0.054	0.078	0.039	0.074	0.106	0.215	0.129	0.052	0.026	0.019
Te	0.001	0.001	0.001	0.005	0.007	0.007	0.005	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S	0.865	0.869	0.899	1.115	0.922	0.995	1.061	1.056	1.043	0.866	1.009	0.854	0.889

1-13 reprezentativní bodové analýzy, báze přepočtu 3 apfu.

Tabulka 9 Chemické složení yarrowitu z Pekelského vrchu (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7
Fe	2.37	1.40	1.17	2.54	2.89	4.13	3.51	0.93
Cu	66.32	65.28	66.27	65.03	64.80	67.81	68.71	66.32
S	29.87	31.69	30.54	30.81	30.23	27.61	27.44	30.76
total	98.56	98.37	97.98	98.38	97.92	99.55	99.66	98.01
Fe	0.358	0.209	0.171	0.381	0.437	0.628	0.534	0.140
Cu	8.793	8.558	8.793	8.571	8.606	9.060	9.191	8.785
S	7.849	8.233	8.030	8.048	7.957	7.311	7.975	8.075

Mean - průměr ze sedmi bodových analýz; reprezentativní bodové analýzy, báze přepočtu 17 apfu.



Obr. 20 Ryzí bismut z Pekelského vrchu, šířka záběru 3.9 mm. Foto B. Bureš.



Obr. 21 Ryzí bismut s povlaky a jehličkovitými krystaly bismutitu z Pekelského vrchu, šířka záběru 5.2 mm. Foto B. Bureš.



Obr. 22 Ryzí bismut se žlutým bismutitem z Pekelského vrchu, šířka záběru 4.2 mm. Foto B. Bureš.

vzniku žlutavého bismutitu (obr. 21, 22). V nábrusech byl zjištěn v podobě oválných zrn o rozměrech do 80 μm , často je obklopen supergenními produkty jeho přeměny, nejčastěji bismutitem (obr. 23). Z hlediska jeho chemického složení jde o čistý Bi bez jakýchkoliv příměsí. Bismut v obdobné asociaci s joséitem a *elektrem* byl též zjištěn na Vysoké u Havlíčkova Brodu (Pauliš et al. 2014).

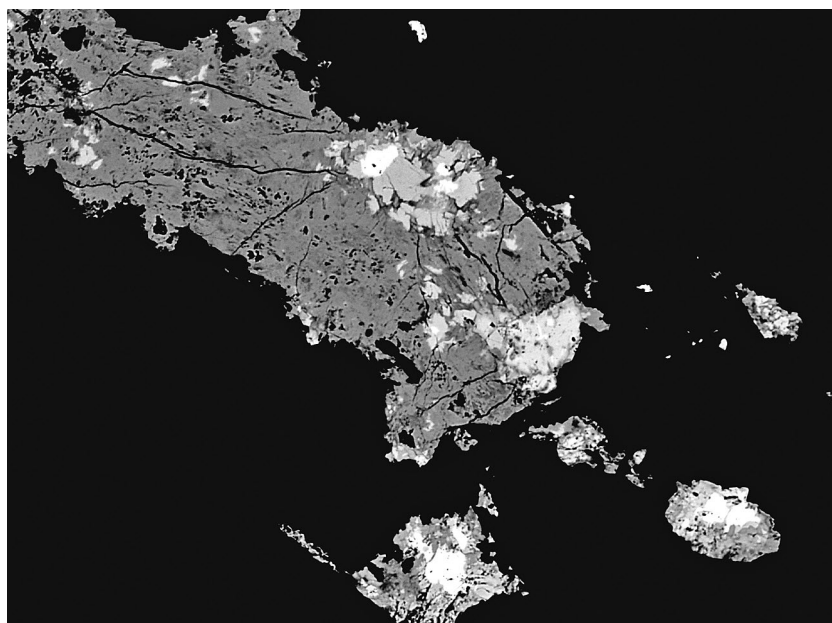
Spolu s ryzím bismutem a joséitem bylo zjištěno i *elektrum*. Tato přirozená slitina zlata a stříbra tu vytváří až 1 mm velké žluté plíškovité agregáty v drobných dutinách či puklinách křemene. Byly tu nalezeny pouze dva vzorky s makroskopicky vyvinutým *elektrem*. Na jednom se *elektrum* vyskytuje samostatně bez další mineralizace, na druhém úzce asociuje s joséitem a ryzím bismutem (obr. 24). V nábrusech, v křemenu, byla zjištěna a analyzována jeho izolovaná xenomorfní zrna o rozměrech do 30 μm . *Elektrum* obsahuje přibližně třetinu hmotnosti stříbra (tab. 10), jeho průměrný (čtyři bodové analýzy) empirický vzorec je možno vyjádřit jako $\text{Au}_{0.57}\text{Ag}_{0.43}$. Obsahy dalších prvků v něm nebyly zjištěny. *Elektrum* z obdobné asociace nalezené na Vysoké u Havlíčkova Brodu (Kopecký et al. 2015) obsahuje méně stříbra (18 hm. %), což může být způsobeno tím, že bodové analýzy byly prováděné z povrchu zlatinek, kde bývá koncentrace stříbra menší. *Elektrum* obdobného složení (17.6 - 26.6 hm. % Ag) je známé ze Zlátenky u Pacova, která je součástí nejbližší zlatonosné oblasti (Morávek et al. 1992).

Další primární mineralizace

Zcela převládající žilnou výplň zjištěnou na Pekelském vrchu je bílý křemen. Z karbonátů je přítomen ve zcela akcesorickém množství pouze *siderit*. Zjištěn byl jen ve studovaných nábrusech, ve kterých tvoří ojedinelá idiomorfne omezená zrna kosočtverečného tvaru o velikosti 100 \times 60 μm . V BSE obraze jsou tato zrna homogenní. V chemickém složení karbonátu studovaném čtyřmi bodovými WDS analýzami (tab. 11) dominuje sideritová složka (77.0 - 83.8 mol. %), následují magnezitová (11.2 - 14.5 mol. %), kalcitová (3.4 - 6.8 mol. %) a rodochrozitová (1.6 - 1.7 mol. %). V obdobné akcesorickém množství byl na tenkých křemenných trhlínách zjištěn chemicky čistý *baryt*.

Lokálně častý je v křemenné žilovině **muskovit**, tvořící lupenité agregáty až několik mm velké. Muskovit vytváří undulózně zhášejší, subparalelně uspořádané, hypautomorfně omezené šupiny (obr. 25). Jeho chemické složení bylo ověřeno prostřednictvím 30 bodových analýz, z nichž reprezentativní jsou uvedeny v tabulce 12. Vedle muskovitu v křemenné žilovině (tab. 12, analýzy č. 1 - 6) byly analyzovány i muskovity zachycené v nábrusu metamorfované horniny s andalusitem a korundem (tab. 12, analýzy č. 7 - 9). Chemické složení muskovitu v obou typech hostitelské materie je obdobné. Obsahy Si jsou v dané fázi zvýšené (3.03 - 3.19 *apfu*), obsahy Al naopak nižší (2.62 - 2.89 *apfu*), obsahy Mg a Fe jsou též zvýšené (0.07 - 0.11, resp. 0.03 - 0.06 *apfu*). Obsahy mezivrstevních kationtů jsou mezi 0.86 a 0.94 *apfu*. Převažuje mezi nimi draslík, zatímco sodík je jen minoritní komponentou (0.02 - 0.09 *apfu*). U větší části analýz muskovitu z křemenné žiloviny jde klasifikačně o „fengitické“ muskovity (tj. členy řady muskovit - (alumin)seladonit; Rieder et al. 1998) (obr. 26). Obsah fluoru je v dané fázi z křemenné žiloviny nízký (0.08 - 0.12 *apfu*); ještě nižší je v muskovitu doprovázejícím andalusit a korund (0.03 - 0.11 *apfu*).

Vedle této světlé slídy byla v nábrusu metamorfované horniny s korundem zjištěna i vzácnější Ca-slída **margarit**. Vytváří lupenité agregáty až 0.2 mm velké tvořené subparalelně uspořádanými, hypautomorfně omezenými šupinami (obr. 25). Jeho chemické složení bylo ověřeno prostřednictvím 11 bodových analýz, z nichž reprezentativní jsou uvedeny v tab. 12 (analýzy č. 10 - 14). Obsahy Si jsou v dané fázi vyšší



Obr. 23 Drobná zrna ryzího bismutu (bílý) s lemy bismutu (světle šedý) v bismutitu (tmavošedý) v křemenné žilovině (černá), šířka záběru 560 μm . BSE foto Z. Dolníček.



Obr. 24 Elektrum s jositém z Pekelského vrchu, šířka záběru 4.1 mm. Foto B. Bureš.

Tabulka 10 Chemické složení elektra z Pekelského vrchu (hm. %)

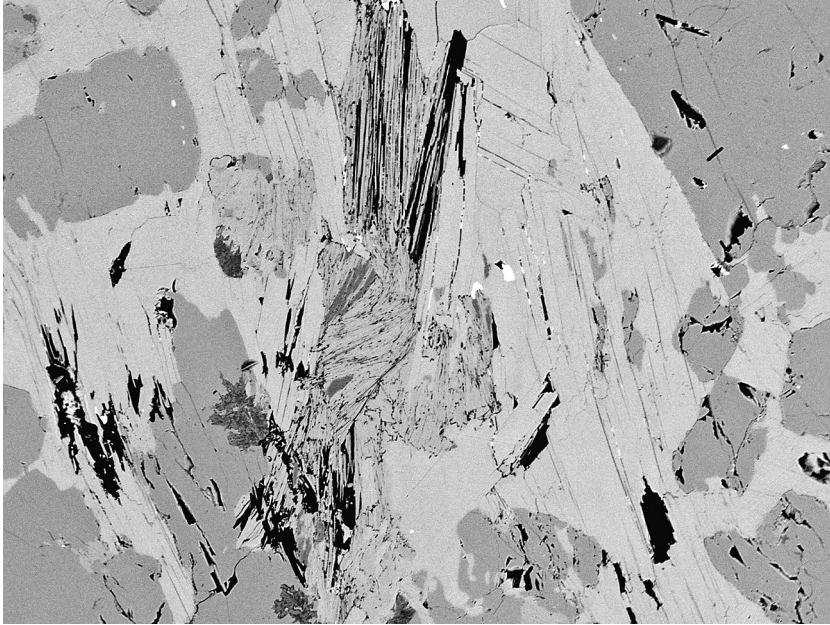
	mean	1	2	3	4
Ag	27.68	28.76	27.73	28.79	25.45
Au	67.59	66.47	68.38	67.47	68.04
total	95.27	95.23	96.11	96.26	93.49
Ag	0.428	0.441	0.425	0.438	0.406
Au	0.572	0.559	0.575	0.562	0.594
total	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Mean - průměr ze čtyř bodových analýz; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 1 *apfu*.

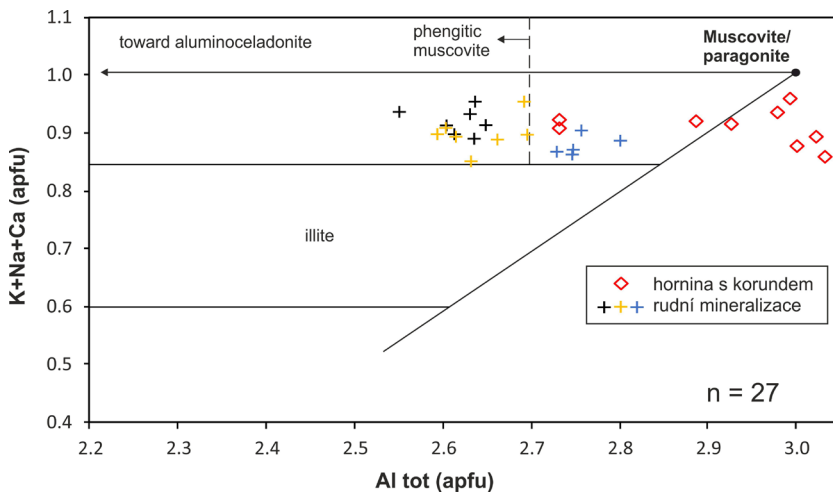
Tabulka 11 Chemické složení sideritu z Pekelského vrchu (hm. %)

	mean	1	2	3	4
MgO	4.38	3.93	4.33	4.23	5.04
CaO	2.52	1.73	3.36	2.65	3.34
MnO	1.01	0.98	1.01	0.99	1.08
FeO	50.33	52.29	50.47	50.39	48.18
total	58.24	58.93	58.17	58.26	57.64
Mg	0.136	0.112	0.124	0.121	0.145
Ca	0.052	0.034	0.049	0.054	0.068
Mn	0.016	0.016	0.016	0.016	0.017
Fe	0.806	0.838	0.830	0.809	0.770
Σkat	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Mean - průměr ze čtyř bodových analýz; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi $\Sigma\text{kat} = 1$.



Obr. 25 Agregát muskovitu (světle šedý) s margaritem (středně šedý v centru obrázku) s andalusitem (tmavě šedý) se zrny rutilu (bílé), šířka záběru 1.2 mm. BSE foto Z. Dolníček.



Obr. 26 Graf K+Na+Ca versus Al (apfu) muskovitu z Pekelského vrchu. Diagram podle Maydagána et al. (2016), klasifikační hranice pro illit modifikována podle Riedera et al. (1998).



než teoretické (2.10 - 2.17 apfu), koncentrace Al naopak nižší (3.84 - 3.92 apfu), což je v souladu s významnou příměsí jednomocných kationtů zastupujících Ca v pozici mezivrstevních kationtů. Obsahy Mg a Fe jsou nevelké. Obsahy mezivrstevních kationtů se pohybují mezi 0.93 a 1.00 apfu. Mezi mezivrstevními kationty převažuje vápník (0.74 - 0.77 apfu), zvýšená je přítomnost sodíku (paragonitová složka) (0.13 - 0.22 apfu), zatímco draslík je jen minoritní komponentou (0.02 - 0.05 apfu). Obsah fluoru je v margaritu nízký (0.08 - 0.12 apfu).

Margarit je poměrně vzácnou slídou charakteristickou pro vyšší až střední stupeň metamorfózy hornin. V ČR byla zjištěna na několika málo lokalitách, jde například o Myšelec u Písku (Holub 1980), Benešov nad Černou (Vrána 2000) a svory kutnohorského krystalinika u Solopysk a Ratají (Olivierová 1993).

V agregátech margaritu bylo detekováno xenomorfní zrno korundu (s cca 100 hm. % Al_2O_3 a max. 0.14 hm. % FeO a max. 0.74 hm. % TiO_2) 200 μm velké, spolu s až několika mm velkým zrnitým agregátem andalusitu s 0.21 - 0.32 hm. % FeO (ověřen Ramanovou spektroskopií). Do agregátů slídy též zarůstají až 10 μm velká xenomorfní zrna rutilu (obr. 25), který obsahuje nevelké zastoupení Nb, W, Sn, Ta, Cr, V a Fe (tab. 13).

Vedle rutilu tu bylo v drobně drúzovitém křemeni nalezeno několik hnědých tabulkovitých krystalů **anatasu** o velikosti kolem 1 mm (obr. 27). Jde o čistý TiO_2 , bez dalších příměsí (EDS analýza). Jeho identita byla ověřena Ramanovskou spektrometrií.

Dalším primárním minerálem, který byl ojediněle zjištěn na puklinách křemenné žiloviny, je **fluorapatit** (ověřen EDS analýzou). Tvoří až 3 mm velká, bělavá, slabě nažloutlá zrna srůstající s muskovitem.

V jednom případě byl v ploše nábrusu zjištěn jehličkovitý agregát o rozměrech do 0.4 mm, který kromě Fe neobsahuje další příměsí (obr. 28). V tomto případě jde nepochybně o hypogenní **goethit**, který vznikl v rámci mladšího hydrotermálního vývoje žilné mineralizace.

Obr. 27 Anatas z Pekelského vrchu, šířka záběru 4.8 mm. Foto B. Bureš.

Supergenní mineralizace

Poměrně omezený rozsah mají na Pekelském vrchu minerály vzniklé v rámci supergenních procesů. V nábrusech byly zjištěny především hydrooxydy Fe^{3+} (*limonit*) asociující hlavně s ferberitem či pyritem, jejichž přeměnou většinou vznikly. Vedle Fe obsahují kolísavé množství WO_3 (až 3.7 hm. %), SiO_2 , Al_2O_3 (až 10 hm. %), PbO (až 12 hm. %), P_2O_5 (až 10 hm. %), či Bi_2O_3 (až 6.6 hm. %). Proměnlivý je i stupeň jejich hydratace (suma analýz 70 - 85 hm. %). V BSE obraze je *limonit* často zonální v důsledku rozdílných obsahů W, Pb, Bi, Si

a Al, a mnohde i zřetelně vícegenerační. Mladší žilkovité proniky zpravidla obsahují menší množství těžkých kovů než starší *limonit*.

Dalším poměrně rozšířeným supergenním minerálem je **bismutit**. Makroskopicky vytváří především až 10 mm velké, světle žluté, místy slabě nahnědlé, zrnité a nevýrazně jehlicovité agregáty a povlaky vyskytující se nejčastěji v okolí ryzího bismutu (obr. 23). V nábrusech křemenné žiloviny tvoří nepravidelné agregáty o rozměrech do 1 mm nebo výplně trhlin v křemenu, případně jehličkovité agregáty až 0.1 mm velké. Při studiu chemického složení

Tabulka 12 Chemické složení muskovitu (*Msc*) a margaritu (*Mrg*) (hm. %)

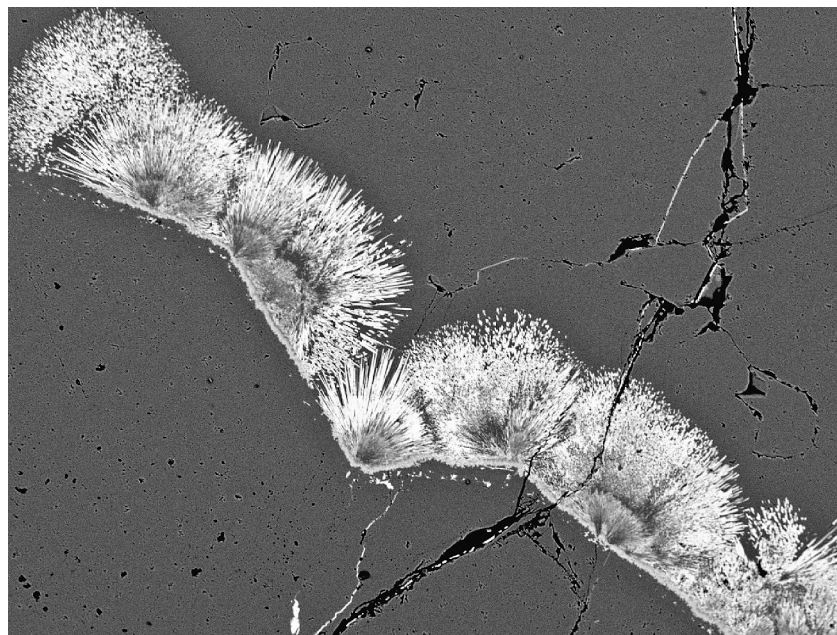
An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Msc	Msc	Msc	Msc	Msc	Msc	Msc	Msc	Msc	Mrg	Mrg	Mrg	Mrg	Mrg
SiO_2	47.84	47.47	48.02	47.27	46.97	47.27	46.35	47.32	47.93	31.94	31.56	31.93	31.84	32.89
TiO_2	0.52	0.74	0.73	0.49	0.71	0.66	0.48	0.45	0.48	0.05	0.07	0.06	0.10	0.08
Al_2O_3	33.56	33.32	34.35	34.42	35.36	35.50	37.48	35.22	35.59	50.02	49.99	49.84	48.45	49.37
FeO	1.07	0.96	0.97	0.89	0.95	0.99	0.59	1.20	0.91	0.29	0.24	0.31	0.34	0.29
MgO	1.13	0.98	1.10	1.11	1.11	1.11	0.71	1.00	1.08	0.18	0.32	0.20	0.17	0.07
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	10.52	10.84	10.71	10.51	10.34
Na_2O	0.15	0.36	0.27	0.71	0.21	0.32	0.51	0.52	0.34	1.39	1.05	1.21	1.50	1.50
K_2O	10.24	10.36	10.18	10.19	9.94	9.81	10.26	10.20	10.41	0.49	0.30	0.44	0.29	0.62
F	0.42	0.46	0.52	0.36	0.44	0.45	0.33	0.38	0.52	0.46	0.46	0.42	0.45	0.47
H_2O	4.30	4.26	4.31	4.34	4.34	4.35	4.43	4.37	4.35	4.31	4.28	4.31	4.23	4.31
O=F	-0.18	-0.19	-0.22	-0.15	-0.19	-0.19	-0.14	-0.16	-0.22	-0.19	-0.19	-0.18	-0.19	-0.20
total	99.05	98.72	100.23	99.63	100.83	100.39	101.00	100.50	101.39	99.46	98.92	99.25	97.69	99.74
Si^{4+}	3.188	3.181	3.158	3.138	3.096	3.105	3.030	3.115	3.123	2.115	2.103	2.122	2.150	2.173
Ti^{4+}	0.026	0.037	0.036	0.024	0.035	0.033	0.024	0.022	0.024	0.002	0.004	0.003	0.005	0.004
Al^{3+}	2.626	2.632	2.663	2.693	2.747	2.748	2.888	2.733	2.733	3.904	3.926	3.903	3.856	3.845
Fe^{2+}	0.060	0.052	0.053	0.049	0.052	0.054	0.032	0.066	0.050	0.016	0.013	0.017	0.019	0.016
Mg^{2+}	0.112	0.098	0.108	0.110	0.109	0.109	0.069	0.098	0.105	0.018	0.032	0.020	0.017	0.007
Ca^{2+}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.746	0.774	0.762	0.760	0.732
Na^+	0.019	0.047	0.034	0.091	0.027	0.041	0.065	0.066	0.043	0.217	0.136	0.156	0.196	0.192
K^+	0.871	0.886	0.854	0.863	0.836	0.822	0.856	0.857	0.865	0.041	0.025	0.037	0.025	0.052
Σkat	6.902	6.933	6.906	6.968	6.902	6.920	6.964	6.957	6.943	7.059	7.013	7.020	7.028	7.021
F ⁻	0.089	0.097	0.108	0.076	0.092	0.093	0.068	0.079	0.107	0.096	0.097	0.088	0.096	0.098
OH ⁻	1.911	1.903	1.892	1.924	1.908	1.907	1.932	1.921	1.893	1.904	1.903	1.912	1.904	1.902
OH+F	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Msc	87.1	88.6	85.4	86.3	83.6	82.2	85.6	85.7	86.5	4.1	2.5	3.7	2.5	5.2
Prg	1.9	4.7	3.4	9.1	9.1	4.1	6.5	6.6	4.3	21.7	13.6	15.6	19.6	19.2
Mrg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	74.6	77.4	76.2	76.0	73.2

Koeficienty empirického vzorce vypočítané na bázi 11 atomů kyslíku, obsahy koncových členů v mol. %.

Tabulka 13 Chemické složení rutilu z Pekelského vrchu (hm. %)

	mean	1	2	3	4		mean	1	2	3	4
WO_3	1.45	1.27	1.58	1.68	1.25	W^{6+}	0.005	0.004	0.006	0.006	0.004
Nb_2O_5	1.55	0.81	1.15	1.66	2.56	Nb^{5+}	0.009	0.005	0.007	0.010	0.016
Ta_2O_5	0.36	0.32	0.15	0.38	0.60	Ta^{5+}	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
TiO_2	94.84	95.64	95.64	94.65	93.44	Ti^{4+}	0.963	0.972	0.968	0.961	0.952
SnO_2	0.77	0.79	0.74	0.71	0.84	Sn^{4+}	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005
V_2O_3	0.32	0.30	0.33	0.33	0.32	V^{3+}	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003
Cr_2O_3	0.22	0.40	0.26	0.12	0.10	Cr^{3+}	0.002	0.004	0.003	0.001	0.001
Fe_2O_3	0.69	0.47	0.52	0.76	1.03	Fe^{3+}	0.007	0.005	0.005	0.008	0.010
FeO	0.36	0.12	0.31	0.48	0.52	Fe^{2+}	0.004	0.001	0.003	0.005	0.006
total	100.56	100.12	100.69	100.78	100.66	Σkat	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Mean - průměr ze čtyř bodových analýz; koeficienty empirických vzorců a rozpočet Fe počítány na bázi 2 atomů kyslíku a $\Sigma\text{kat} = 1$.



Obr. 28 Jehličkovitý agregát goethitu (světle šedý) zarostlý v křemeni, šířka záběru 1.4 mm. BSE foto Z. Dolníček.

bismutitu bylo v kationtové části vzorce zjištěno vedle převládajícího Bi (1.84 - 1.97 *apfu*) i minoritní zastoupení Pb, Mg, Fe a Ca (tab. 14), v aniontu pak je karbonát doprovázen malými obsahy S, P, Se a Te. Empirický vzorec bismutitu z Pekelského vrchu (průměr 11 bodových analýz) lze na bázi Σ kationtů = 2 *apfu* vyjádřit jako $[(\text{BiO})_{1.92}\text{Pb}_{0.03}\text{Mg}_{0.02}\text{Fe}_{0.02}\text{Ca}_{0.01}]_{\Sigma 2.00}(\text{CO}_3)_{0.86}(\text{SO}_4)_{0.07}(\text{PO}_4)_{0.05}(\text{SeO}_4)_{0.02}(\text{TeO}_4)_{0.02}\text{Cl}_{0.03}$.

Rentgenová prášková data bismutitu (tab. 15) jsou ve shodě s publikovanými údaji i teoretickým záznamem vypočteným z krystalové struktury (Grice 2002); vzhledem k hůře krystalickému charakteru studované fáze (široká difrakční maxima) není možné v záznamu rozlišit hodnoty s blízkými ortorombickými indexy typu 103/013 nebo 200/020. Zpřesněné parametry jeho základní cely jsou v tabulce 16 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerální druh.

Tabulka 14 Chemické složení bismutitu z Pekelského vrchu (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CaO	0.06	0.11	0.08	0.00	0.00	0.09	0.07	0.00	0.17	0.12	0.00	0.00
MgO	0.16	0.28	0.18	0.12	0.18	0.23	0.00	0.28	0.13	0.13	0.25	0.00
PbO	1.10	4.73	0.94	0.79	0.72	0.97	0.00	0.00	0.58	0.70	1.31	1.31
Al ₂ O ₃	0.03	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00
Fe ₂ O ₃	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.93	0.19	1.39	1.06	0.00	0.00
Bi ₂ O ₃	86.21	82.95	86.25	86.94	87.09	88.42	86.35	90.67	82.52	85.44	85.10	86.58
CO ₂ *	11.74	13.01	12.19	10.77	11.06	12.98	9.98	14.05	11.31	12.35	11.49	9.98
SeO ₂	0.45	0.00	0.47	0.99	1.05	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.56
TeO ₂	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.17	0.00	1.05	0.77	1.66	0.81
P ₂ O ₅	0.72	0.35	0.58	0.52	0.44	0.54	1.63	0.23	1.57	0.93	0.54	0.63
SO ₃	1.00	1.38	0.95	1.41	1.59	0.60	1.08	0.00	0.80	0.87	1.07	1.30
MoO ₃	0.02	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CrO ₃	0.15	0.00	0.00	0.19	0.00	0.22	0.00	0.22	0.28	0.23	0.23	0.23
Cl	0.19	0.41	0.18	0.27	0.22	0.19	0.17	0.00	0.14	0.10	0.22	0.17
O=Cl	-0.04	-0.09	-0.04	-0.06	-0.05	-0.04	-0.04	0.00	-0.03	-0.02	-0.05	-0.04
total	102.63	103.13	101.95	102.21	102.30	104.34	102.24	105.64	99.91	102.68	101.98	102.53
Ca	0.005	0.010	0.007	0.000	0.000	0.008	0.007	0.000	0.016	0.011	0.000	0.000
Mg	0.021	0.036	0.023	0.016	0.023	0.029	0.000	0.035	0.017	0.017	0.033	0.000
Pb	0.026	0.110	0.022	0.019	0.017	0.022	0.000	0.000	0.014	0.016	0.031	0.031
Al	0.003	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000
Fe	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.061	0.012	0.092	0.068	0.000	0.000
Bi	1.923	1.844	1.930	1.966	1.960	1.932	1.933	1.953	1.862	1.888	1.920	1.969
C	0.860	0.950	0.896	0.800	0.817	0.931	0.734	0.994	0.838	0.896	0.851	0.745
Se	0.021	0.000	0.022	0.047	0.050	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.074
Te	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038	0.000	0.035	0.025	0.055	0.027
P	0.053	0.026	0.043	0.039	0.033	0.039	0.120	0.016	0.116	0.067	0.040	0.047
S	0.065	0.089	0.062	0.093	0.104	0.038	0.070	0.000	0.053	0.056	0.070	0.086
Mo	0.001	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.008	0.000	0.000	0.010	0.000	0.011	0.000	0.011	0.015	0.012	0.012	0.012
Cl	0.028	0.060	0.026	0.040	0.033	0.027	0.025	0.000	0.021	0.015	0.033	0.025

mean - průměr 11 bodových analýz; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi Σ kationtů = 2 *apfu*; CO₂* obsah vypočtený na základě vyrovnání náboje.

Vzácným minerálem je **bismit**, tvořící lemy o mocnosti maximálně prvních desítek μm kolem reliktních zrn ryzího bismutu. Bismut-bismitové agregáty jsou pak ještě obrůstány bismutitem. Při studiu chemického složení (tři analy-

zované body) byly zjištěny obsahy Bi_2O_3 v rozmezí 97.78 - 98.51 hm. % doprovázené minoritním zastoupením SeO_2 (do 1.54 hm. %) a stopami Ca, Al, Mg, P, S, Cr a Cl, nepřevyšujícími 0.22 hm. % příslušných oxidů. V asociaci

Tabulka 15 Rentgenová prášková data bismutitu z Pekelského vrchu

d_{obs}	l_{obs}	d_{calc}	h	k	l	d_{obs}	l_{obs}	d_{calc}	h	k	l	d_{obs}	l_{obs}	d_{calc}	h	k	l
6.881	11	6.890	0	0	2	2.556	5	2.552	1	1	2	1.7617	15	1.7619	1	1	6
3.741	44	3.739	1	0	1	2.2970	6	2.2966	0	0	6	1.7217	12	1.7237	2	1	1
3.741	44	3.739	0	1	1	2.1484	18	2.1477	1	1	4	1.7217	12	1.7237	1	2	1
3.436	17	3.445	0	0	4	1.9418	22	1.9424	2	0	0	1.6912	17	1.6919	2	0	4
2.971	100	2.966	1	0	3	1.9418	22	1.9424	0	2	0	1.6912	17	1.6919	0	2	4
2.971	100	2.966	0	1	3	1.8707	6	1.8695	2	0	2	1.6257	24	1.6250	2	1	3
2.747	61	2.747	1	1	0	1.8707	6	1.8695	0	2	2	1.6257	24	1.6250	1	2	3

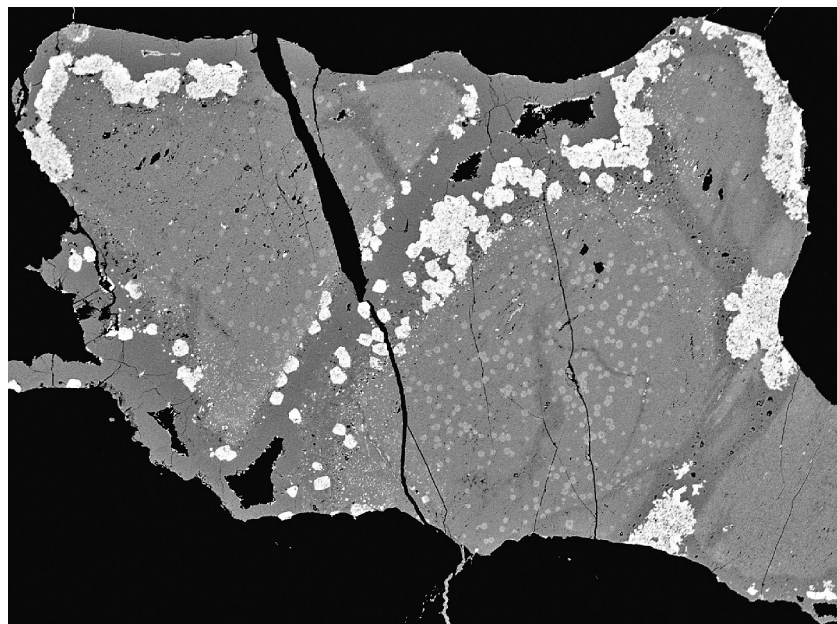
Tabulka 16 Parametry základní cely bismutitu (pro ortorombickou prostorovou grupu $\text{Imm}2$)

		a [Å]	b [Å]	c [Å]	V [Å ³]
Pekelský vrch	tato práce	3.8847(15)	3.8847(15)	13.779(8)	207.95(13)
Přisečnice	Sejkora et al. (2019)	3.8666(5)	3.8666(5)	13.790(3)	206.16(4)
neuveдено	Grice (2002)	3.865(2)	3.862(2)	13.675(6)	204.1(2)
Љubietová	Števkó et al. (2016)	3.873(2)	3.874(4)	13.722(9)	205.9(3)
Horní Blatná	Pauliš et al. (2015)	3.8679(8)	3.866(3)	13.683(2)	204.6(2)
Horní Slavkov	Sejkora et al. (2006)	3.878(7)	3.878(7)	13.65(3)	205.3(5)

Tabulka 17 Chemické složení jarositu z Pekelského vrchu (hm. %)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
K_2O	5.91	6.31	5.04	5.84	6.33	8.19	8.22	8.26	7.74	7.60	8.45
CaO	0.27	0.24	0.36	0.16	0.12	0.00	0.00	0.00	0.10	0.08	0.00
BaO	0.26	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00
Al_2O_3	0.35	0.26	0.40	0.27	0.21	0.00	0.14	0.07	0.14	0.14	0.09
Fe_2O_3	50.27	49.00	50.76	46.89	45.44	44.69	45.27	46.53	43.92	44.69	45.61
SiO_2	1.39	1.25	2.43	1.41	0.94	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00
SeO_2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
As_2O_5	0.00	0.00	0.27	0.34	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00
P_2O_5	0.78	0.63	0.70	0.89	1.03	0.58	0.36	0.31	0.68	0.48	0.26
SO_3	21.77	23.29	19.45	23.12	23.81	30.71	31.09	30.03	29.27	30.07	30.97
WO_3	9.19	8.08	12.65	8.65	8.92	1.26	1.09	0.64	3.88	2.63	1.12
MoO_3	0.43	0.46	0.45	0.35	0.38	0.62	0.63	0.56	0.65	0.70	0.59
H_2O^*	11.65	11.09	11.27	10.00	9.71	9.38	9.54	10.37	9.10	9.44	9.87
total	102.27	100.61	103.78	97.92	97.09	95.43	96.99	96.77	95.96	95.83	96.96
K	0.674	0.720	0.578	0.684	0.747	0.919	0.909	0.918	0.880	0.861	0.935
Ca	0.026	0.023	0.035	0.016	0.012	0.000	0.000	0.000	0.010	0.008	0.000
Ba	0.009	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000
Σ	0.709	0.743	0.613	0.700	0.766	0.919	0.909	0.918	0.897	0.869	0.935
Al	0.037	0.027	0.042	0.029	0.023	0.000	0.014	0.007	0.015	0.015	0.009
Fe	3.382	3.300	3.436	3.242	3.162	2.959	2.952	3.052	2.944	2.988	2.976
Σ	3.418	3.328	3.478	3.271	3.185	2.959	2.966	3.059	2.959	3.003	2.985
Si	0.124	0.112	0.219	0.130	0.087	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000
Se	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000
As	0.000	0.000	0.013	0.016	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
P	0.059	0.048	0.053	0.069	0.081	0.043	0.026	0.023	0.051	0.036	0.019
S	1.460	1.564	1.313	1.594	1.653	2.028	2.022	1.964	1.957	2.005	2.015
W	0.213	0.187	0.295	0.206	0.214	0.029	0.024	0.014	0.090	0.061	0.025
Mo	0.016	0.017	0.017	0.013	0.015	0.023	0.023	0.020	0.024	0.026	0.021
Σ	1.873	1.929	1.909	2.029	2.049	2.122	2.125	2.022	2.144	2.128	2.081
OH	6.947	6.621	6.761	6.129	5.990	5.505	5.514	6.030	5.407	5.595	5.708

koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 6 *apfu*; H_2O^* obsah vypočtený na základě vyrovnání náboje.



Obr. 29 Izometrické automorfně omezené krystaly plumbogummitu a jejich shluky (bílé) v puklinách limonitu (šedý až tmavošedý) v křemeni, šířka záběru 1400 μm . BSE foto Z. Dolníček.

s limonitem byl zjištěn nehojný žlutý práškovitý jarosit, který zde vzniká rozkladem sulfidů Fe, především pyritu. Analyzován byl v nábrusu, kde tvořil spolu s limonitem 200 μm velkou výplň korozní dutiny ve ferberitu. Agregáty jarositu jsou v BSE obraze zřetelně zonální, vedle převládajícího jarositu s obsahy W do 0.09 *apfu* (body 1 - 5 v tabulce 17) byly pozorovány i světlejší partie se zvýšenými obsahy W v rozmezí 0.19 - 0.19 *apfu* (body 6 - 11). V kationtové části vzorce obou typů jarositu byly vedle dominantního K (0.58 - 0.93 *apfu*) zjištěny i minoritní obsahy Ca a Ba (do 0.03 a 0.01 *apfu*) a v druhé pozici zcela převládající Fe (2.98 - 3.44 *apfu*) je substituováno Al jen v minimálním rozsahu do 0.04 *apfu*. V aniontu bylo vedle S (1.31 - 2.03 *apfu*) a již zmíněného W pozorováno i zastoupení Si (do 0.22 *apfu*), P (do 0.08 *apfu*), Mo (do 0.03 *apfu*), As (do 0.01 *apfu*) a v jednom bodě pak i 0.02 *apfu* Se.

Tabulka 18 Chemické složení Pb-dominantních členů superskupiny alunitu z Pekelského vrchu (hm. %)

	plumbogummit								corkit					kintoreit	
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	1	2
CaO	0.06	0.19	0.06	0.09	0.06	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PbO	36.75	38.57	38.31	38.09	37.43	38.08	37.54	38.06	25.94	27.97	26.36	26.45	26.06	34.47	34.44
Al ₂ O ₃	20.80	20.41	19.65	16.69	19.87	18.28	14.94	16.23	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	6.07	7.00
Fe ₂ O ₃	9.12	7.21	8.59	10.85	8.77	9.09	14.08	13.00	33.70	33.63	33.26	33.85	32.93	24.88	23.81
Sb ₂ O ₃	0.62	0.67	0.93	0.45	0.55	0.69	1.23	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.35
Bi ₂ O ₃	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.30	6.75	7.25	8.68	7.85	0.00	0.00
As ₂ O ₅	0.00	1.02	0.89	0.83	0.37	0.37	0.69	0.81	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	1.82	1.90
P ₂ O ₅	21.44	15.56	20.44	20.14	21.82	20.83	19.04	19.53	11.05	10.93	10.35	10.97	12.62	14.94	14.84
SO ₃	0.57	5.97	1.68	1.33	0.28	0.90	1.68	1.33	6.85	7.31	7.97	6.75	5.31	3.58	4.04
WO ₃	1.13	0.82	1.33	0.71	1.09	0.87	1.31	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.22	1.01
F	0.00	0.44	0.24	0.20	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O*	11.45	10.13	10.47	9.83	10.74	10.24	10.30	10.61	9.46	9.18	8.85	9.60	9.16	9.07	9.07
O=F	0.00	-0.19	-0.10	-0.08	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total	101.94	100.80	102.71	99.13	101.08	99.42	100.88	101.90	96.30	95.77	94.43	96.42	93.93	96.47	96.46
Ca	0.007	0.022	0.007	0.010	0.007	0.008	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pb	1.049	1.129	1.065	1.099	1.052	1.095	1.118	1.122	0.964	1.022	0.950	0.992	0.957	1.118	1.100
Bi	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.331	0.236	0.250	0.312	0.276	0.000	0.000
Σ	1.055	1.151	1.077	1.109	1.059	1.103	1.126	1.122	1.294	1.258	1.200	1.304	1.233	1.118	1.100
Al	2.598	2.615	2.391	2.108	2.445	2.301	1.948	2.094	0.000	0.000	0.000	0.020	0.000	0.862	0.979
Fe	0.727	0.590	0.667	0.875	0.689	0.730	1.172	1.071	3.499	3.434	3.349	3.549	3.379	2.255	2.127
Sb	0.027	0.030	0.040	0.020	0.024	0.030	0.056	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.017
Σ	3.352	3.235	3.097	3.002	3.157	3.061	3.176	3.216	3.499	3.434	3.349	3.569	3.379	3.138	3.123
AsO ₄	0.000	0.058	0.048	0.046	0.020	0.021	0.040	0.046	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.115	0.118
PO ₃ OH	0.924	0.490	0.834	0.873	0.949	0.904	0.823	0.857	0.291	0.256	0.200	0.294	0.457	0.638	0.609
PO ₄	1.000	0.942	0.952	0.954	0.980	0.979	0.960	0.954	1.000	1.000	0.973	1.000	1.000	0.885	0.882
SO ₄	0.045	0.487	0.130	0.107	0.022	0.072	0.139	0.109	0.709	0.744	0.800	0.706	0.543	0.324	0.360
WO ₄	0.031	0.023	0.036	0.020	0.029	0.024	0.038	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038	0.031
Σ	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F	0.000	0.151	0.078	0.068	0.056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
OH	8.094	7.345	7.209	7.025	7.479	7.294	7.600	7.749	8.706	8.309	7.899	8.923	8.331	7.288	7.181

koeficienty empirických vzorců počítány na bázi P+As+S+W = 2 *apfu*; H₂O* obsah vypočtený na základě obsahu (SO₄)+(WO₄)+(PO₃OH) = 1 v aniontu a vyrovnání náboje.

Při studiu materiálu z Pekelského vrchu byla dále zjištěna přítomnost tří Pb-dominantních minerálů alunitové superskupiny - plumbogummitu, corkitu a kintoreitu. Minerály řady **plumbogummit - kintoreit** vytvářejí jednotlivé izometrické, automorfně omezené krystaly o velikosti do 40 μm a jejich shluky v puklinách staršího (Pb, Si, Al obohaceného) *limonitu*, vyplňujícího dutiny po blíže nespecifikovatelných vyvětralých primárních fázích v křemenné žilovině (obr. 29). Zbylé volné prostory v rámci puklin pak byly ještě zcela vyhojeny mladším *limonitem* bez významnějších obsahů výše uvedených příměsí. Jindy jsou jednotlivá zrna i větší agregáty těchto minerálů uzavírány i přímo ve W,Pb,Sb,Al,As-bohatém *limonitu*, výjimečně i v asociaci s drobnými, xenomorfně omezenými zrny **jodargyritu**. Ojedinele byl ve zcela obdobném vývoji spolu s *limonitem*, vznikajícím na úkor pyritu, zjištěn i **corkit**.

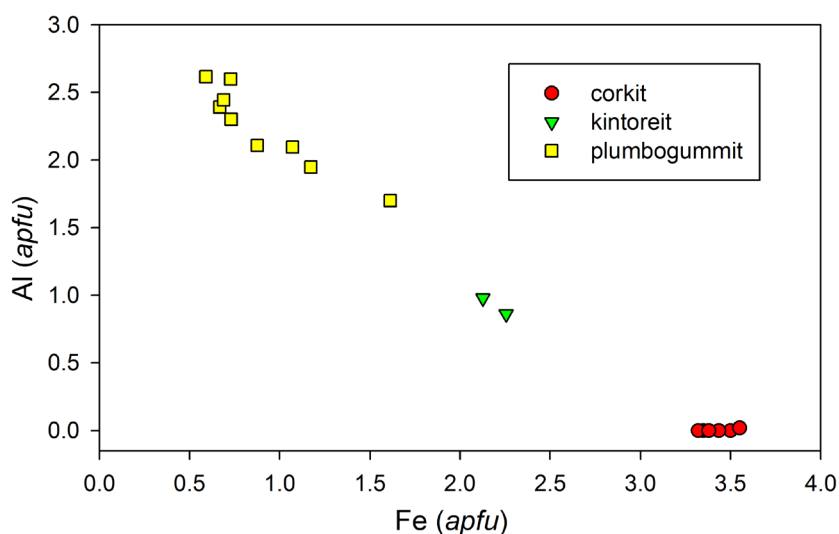
Idealizovaný vzorec minerálů superskupiny alunitu je možno vyjádřit jako $AB_3(XO_4)_2(OH, H_2O)_6$. Pozice A je obsazovaná velkými monovalentními (Na^+ , K^+ , Rb^+ , Ag^+ , NH_4^+ , H_3O^+ , Tl^+), divalentními (Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+}) nebo trivalentními (Bi^{3+} , REE^{3+}) kationty. Pozice B je obvykle obsazovaná trivalentními kationty jako Fe^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+} a Ga^{3+} , v některých případech může obsahovat i divalentní (např. Cu^{2+} a Zn^{2+}) nebo pentavalentní (Sb^{5+}) kationty. Pozice X je tetraedricky koordinovaná a obvykle zde vystupuje S^{6+} , P^{5+} a As^{5+} , ale vzácněji může být obsazovaná i C^{4+} , Cr^{6+} a Si^{4+} . V případě významného zastoupení divalentních kationtů v pozici A a převahy P nebo As v tetraedrické pozici X je část aniontových skupin protonována za vzniku skupin $(\text{PO}_3\text{OH})^{2-}$ nebo $(\text{AsO}_3\text{OH})^{2-}$. Část OH skupin může být zastupovaná O, F nebo H_2O (Jambor, Dutrizac 1983; Scott 1987; Rattray et al. 1996; Jambor 1999; Kolitsch, Pring 2001; Sejkora et al. 2001; Grey et al. 2008; Mills et al. 2008; Sejkora et al. 2009; Bayliss et al. 2010; Vrtiška et al. 2019; Sejkora et al. 2021). Příklady složení fází z Pekelského vrchu jsou spolu s jejich koeficienty empirických vzorců uvedeny v tabulce 18. Zvýšené sumy v kationtových pozicích některých analyzovaných bodů naznačují, že nelze vyloučit i přítomnost karbonátových skupin v aniontu.

V A-pozici plumbogummitu je dominantní Pb (1.05 - 1.13 *apfu*) doprovázené jen minoritními obsahy Ca (do 0.02 *apfu*) a ojedinele i Bi (do 0.01 *apfu*). V B-pozici (obr. 30) převládá Al (1.70 - 2.61 *apfu*) nad Fe (0.59 - 1.61 *apfu*) a zjištěny zde byly i obsahy Sb nepřevyšující 0.06 *apfu*. V aniontu (obr. 31) je P s obsahy 1.43 - 1.93 *apfu* doprovázen S (do 0.48 *apfu*), As (do 0.08 *apfu*) a W (do 0.04

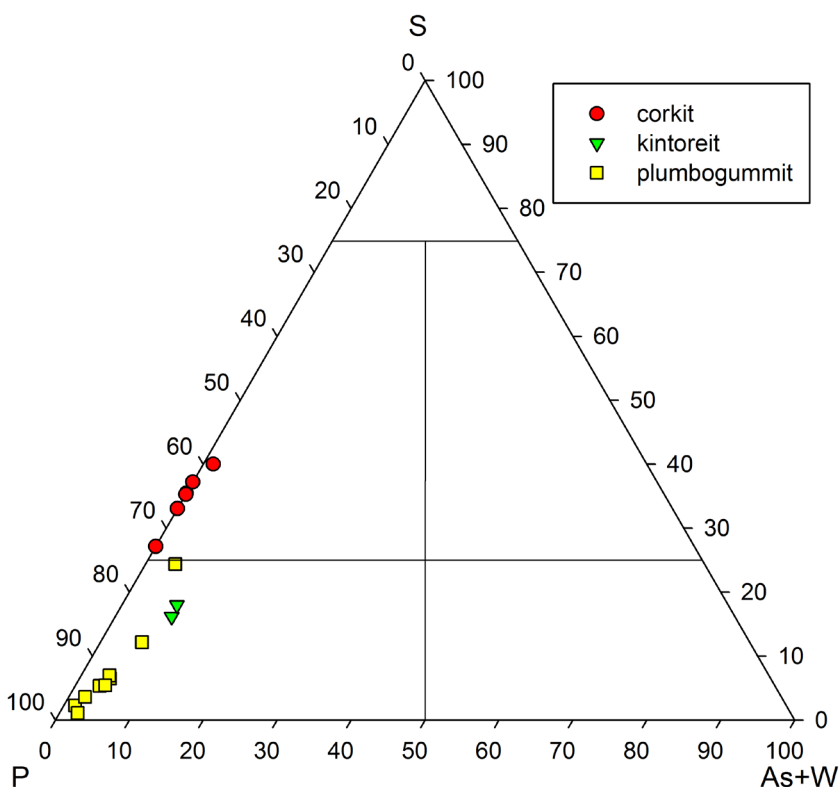
apfu). OH skupiny jsou částečně substituovány F s obsahy do 0.15 *apfu*.

Pro chemické složení corkitu je charakteristická převaha Pb v A-pozici vzorce (0.95 - 1.02 *apfu*) doprovázeného významnějším zastoupením Bi (0.24 - 0.33 *apfu*). V B-pozici (obr. 30) byly vedle převládajícího Fe (3.32 - 3.55 *apfu*) jen ojedinele zjištěny obsahy Al do 0.02 *apfu*. V aniontu vystupuje P v rozmezí 1.17 - 1.46 *apfu* (obr. 31) doprovázený S (0.54 - 0.80 *apfu*) a v jednom bodě i As (0.03 *apfu*).

V A-pozici kintoreitu byly zjištěny jen obsahy Pb v rozmezí 1.10 - 1.12 *apfu*. V B-pozici (obr. 30) vedle dominantního Fe (2.13 - 2.26 *apfu*) vystupují i Al (0.86 - 0.98 *apfu*) a minoritní Sb (0.02 *apfu*). V aniontu (obr. 31) je



Obr. 30 Graf Fe vs Al (*apfu*) pro Pb-dominantní členy superskupiny alunitu z Pekelského vrchu.



Obr. 31 Ternární graf P - S - As+W (*apfu*) pro Pb-dominantní členy superskupiny alunitu z Pekelského vrchu.

převažující P (1.49 - 1.52 *apfu*) doprovázen S (0.32 - 0.36 *apfu*), As (0.11 - 0.12 *apfu*) a W (do 0.04 *apfu*).

Petitjeanit byl výjimečně zjištěn v křemenu jako 0.3 mm velký zrnitý agregát (patrně pseudomorfovaný starší sulfidy či ryzí Bi). Chemické složení petitjeanitu se blíží stechiometrii ideálního vzorce $\text{Bi}_3\text{O}(\text{OH})(\text{AsO}_4)_2$; v kationtové i aniontové části vzorce však byly zjištěny minoritní obsahy řady prvků, které pro tento minerál nejsou obvyklé. V kationtu byly vedle převládajícího Bi (2.77 - 2.91 *apfu*) pozorovány zvýšené obsahy Pb v rozmezí 0.14 - 0.23 *apfu* a minoritní obsahy Mg, Al, Ca a Fe nepřevyšující 0.01 až 0.09 *apfu* (tab. 19). V aniontové části vzorce dominantní P (1.37 - 1.72 *apfu*) není substituován As nebo V, jak je pro petitjeanit charakteristické (Sejkora 1992; Krause et al. 1993; Sejkora et al. 2019), ale naopak zde byly zjištěny zvýšené obsahy S (do 0.19 *apfu*), W (do 0.15 *apfu*), Te (do 0.13 *apfu*), Se (do 0.07 *apfu*) a ojediněle i Cr (do 0.01 *apfu*). Empirický vzorec petitjeanitu z Pekelského vrchu (průměr sedmi bodových analýz) je možno vyjádřit na bázi 5 *apfu* jako $[\text{Bi}_{2.85}\text{Pb}_{0.19}\text{Mg}_{0.03}\text{Al}_{0.03}\text{Ca}_{0.01}\text{Fe}_{0.01\pm 0.12}\text{O}(\text{OH})_{1.79}[(\text{PO}_4)_{4.158}(\text{SO}_4)_{0.13}(\text{TeO}_4)_{0.07}(\text{WO}_4)_{0.07}(\text{SeO}_4)_{0.02}]_{\Sigma 1.87}]$. Petitjeanit je poměrně vzácný minerál blízce asociující s bismutitem. V ČR byl zjištěn pouze na několika lokalitách (např. v Jáchymově a na Huberově pni v Krásné; Sejkora et al. 2006). Nověji byl mikroskopický petitjeanit zjištěn spolu s *wolframitem* v Cetorazi u Pacova (Losertová et al. 2014).

Závěr

Na Pekelském vrchu u Jihlavy byl v roce 1963 zjištěn výskyt wolframového zrudnění greisenového typu s dominujícím ferberitem a scheelitem v křemenné žilovině. Později zde bylo provedeno několik rýh a vrtů při ložiskovém průzkumu. V letech 2020 - 2022 byl v prostoru v minulosti realizovaných průzkumných rýh získán zajímavý mineralogický materiál, který byl podroben detailnímu výzkumu. V rámci dominujícího wolframového zrudnění tu byly zjištěny dva chemicky odlišné typy ferberitu, poměrně čistý mladý ferberit, který po trhlinách zatlačuje starší zrna scheelitu, a druhý starší typ, který obsahuje podstatnou příměs hübnertitové složky. Spolu s ferberitem úzce asociuje scheelit, který zatlačuje starší ferberit a naopak je sám zatlačován mladší ferberitem. Ve ferberitu byl jako akcesorie zjištěn W, Ti a Sc bohatý columbit-(Fe). Vedle wolframové mineralizace tu byla zjištěna pestrá sulfidická mineralizace, ve které byly vedle nejrozšířenějšího pyritu a řídkých sulfidů (chalkopyrit, pyrhotin, galenit, molybdenit) zjištěny i vzácnější sulfosol matildit a gustavit, případně tellurosulfidy joséit-A a joséit-B asociující úzce s ryzím bismutem a elektrem. Poměrně pestrá je i doprovodná mineralizace vázaná na křemennou žilovinu i vločky metamorfovaných hornin (muskovit, margarit, fluorapatit, rutil, anatas, aj.). Poměrně chudé je

Tabulka 19 Chemické složení petitjeanitu z Pekelského vrchu (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7
CaO	0.03	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.15	0.20	0.00	0.00	0.40	0.08	0.28	0.10
PbO	4.78	4.19	4.60	5.16	5.16	5.73	3.47	5.15
Al ₂ O ₃	0.17	0.20	0.00	0.11	0.26	0.18	0.18	0.24
Fe ₂ O ₃	0.08	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00
Bi ₂ O ₃	74.16	75.56	74.72	75.05	74.10	73.29	72.78	73.59
SeO ₂	0.29	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	0.59
TeO ₂	1.23	2.33	1.31	0.61	0.86	0.43	1.50	1.56
P ₂ O ₅	12.52	11.09	13.18	13.33	13.61	13.64	10.62	12.16
SO ₃	1.19	1.37	1.18	0.92	0.94	1.03	1.63	1.28
WO ₃	1.91	1.41	0.93	0.91	1.92	0.85	3.82	3.51
CrO ₃	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00
H ₂ O*	1.80	2.42	1.54	1.76	1.62	1.55	2.03	1.65
total	98.32	99.76	97.46	97.85	98.87	96.78	97.62	99.91
Ca	0.005	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.013
Fe	0.009	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.000
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.034	0.045	0.000	0.000	0.087	0.018	0.063	0.022
Pb	0.192	0.168	0.186	0.208	0.202	0.230	0.142	0.204
Al	0.029	0.035	0.000	0.019	0.044	0.032	0.032	0.042
Bi	2.850	2.911	2.895	2.905	2.774	2.823	2.850	2.795
Σ	3.119	3.209	3.081	3.133	3.106	3.103	3.128	3.075
Se	0.024	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071	0.047
Te	0.069	0.131	0.074	0.034	0.047	0.024	0.086	0.086
P	1.579	1.402	1.676	1.694	1.672	1.725	1.365	1.516
S	0.133	0.154	0.133	0.104	0.102	0.115	0.186	0.141
W	0.074	0.055	0.036	0.035	0.072	0.033	0.150	0.134
Cr	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000
Σ	1.881	1.791	1.919	1.867	1.894	1.897	1.872	1.925
OH	1.789	2.411	1.543	1.762	1.568	1.544	2.056	1.621

mean - průměr 7 bodových analýz; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 5 *apfu*; H₂O* obsah vypočtený na základě vyrovnání náboje.

spektrum minerálů vzniklé v rámci supergenních procesů, reprezentované především hydrooxydy Fe³⁺ a v menší míře bismutitem, bismitem, petitjeanitem, kintoreitem, corkitem, plumbogummitem, jarositem a jodargyritem. Mnohdy značně zvýšené obsahy Bi, W, Te a Se v supergenních minerálech odrážejí specifické geochemické prostředí dané složením primární mineralizace. Celkem bylo na Pekelském vrchu zjištěno 32 minerálních druhů.

Z ložiskového hlediska jde o složitou komplexní Ag-Pb-Cu-W-Au-Te-Bi rudní mineralizaci v drobných křemenných žilách hydrotermálního původu. Zda jde o překryv samostatných, časově odlišných nezávislých mineralizací na stejných strukturách opakovaně oživených, či o jednu z etap ve vývoji geochemicky komplexního systému, není jasné.

Obdobnou komplexní polymetalickou mineralizaci popsala Scharmová (2000) z vrtného jádra ze Svaté Anny u Havlíčkova Brodu. V brekciovité kalcit-křemenné žilné výplni zjistila vedle pyritu, Fe-bohatého sfaleritu, arsenopyritu, chalkopyritu a galenitu vzácnou minerální asociaci Ag-Bi-Pb-Te-S sulfosolů ze skupiny lillianitu, matildit, hessit, ryzí Bi a další. Obdobně na lokalitě Vysoká u Havlíčkova Brodu dominuje ferberit se scheelitem, méně zastoupeny jsou běžné sulfidy (arsenopyrit, pyrit, sfalerit, galenit a molybdenit), *elektrum*, telluridy Bi a další. Relativ-

ně pestrá je supergenní mineralizace W, Pb a As (např. Kopecký et al. 2015; Pauliš, Kopecký 2007; Pauliš et al. 2014). Wolframová (scheelit) a bohatá sulfidická mineralizace byla zjištěna též v kamenolomu Pohled u Havlíčkova Brodu. Ze sulfosolů tu byl zjištěn gustavit, ze sulfotelluridů opět joséit-A i joséit-B (např. Mastíková 2011; Dolníček et al. 2021).

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za poskytnutí fotografií B. Burešovi z Prahy. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 - cíl DKRVO 1.1.d).

Literatura

- BAYLISS P, KOLITSCH U, NICKEL EH, PRING A (2010) Alunite supergroup: recommended nomenclature. *Mineral Mag* 74: 919-927
- BUREŠOVÁ I (2014) Minerály skupiny chalkozín-digenit z Cu-mineralizací Českého masivu. MS, Dipl práce PříF Masarykova univerzita, Brno
- BURNHAM CHW (1962) Lattice constant refinement. *Carnegie Inst Washington Year Book* 61: 132-135
- DIXON A, CEMPIREK J, GROAT LA (2014) Mineralogy and geochemistry of pegmatites on Mount Begbie, British Columbia. *Can Mineral* 52(2): 129-164
- 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, MALÝ K, HAVLÍČEK J, SEJKORA J (2021) Minerály kontaminovaných granitových pegmatitů z lomu Pohled u Havlíčkova Brodu (moldanubikum), část II: prvky a sulfidy. *Bull Mineral Petrolog* 29(1): 90-107
- FERENC Š, UHER P (2007) Magnesian wolframite from hydrothermal quartz veins in the Rochovce granite exocontact, Ochtiná, Western Carpathians, Slovakia. *N Jb Mineral Abh* 183(2): 165-172
- GRICE JD (2002) A solution to the crystal structures of bismitite and beyerite. *Can Mineral* 40: 693-698
- GREY IE, MUMME WG, BORDET P, MILLS SJ (2008) A new crystal-chemical variation of the alunite-type structure in monoclinic $PbZn_{0.5}Fe_3(AsO_4)_2(OH)_6$. *Can Mineral* 46: 1355-1364
- HOFFMAN V, TRDLIČKA Z (1979) A matildite-similar phase from Kutná Hora (Czechoslovakia). *Čas Mineral Geol* 24(4): 421-423
- HOFFMAN V, ŠREIN V, TRDLIČKA Z (1989) Sb-gustavit a bournonit z Kutné Hory. *Věst Ústí geol* 64(5): 313-316
- HOLÁK J, MAŇOUR J, TENČÍK I (1970) Regionální šlichová prospekce - Českomoravská vrchovina. MS Ústí geol, Praha
- HOLUB FV (1980) První český výskyt margaritu u Myšence na Písecku. *Čas Mineral Geol* 25(2): 205
- JAMBOR JL (1999) Nomenclature of the alunite supergroup. *Can Mineral* 37: 1323-1341
- JAMBOR JL, DUTRIZAC JE (1983) Beaverite-plumbojarosite solid solutions. *Can Mineral* 21: 101-113
- JANEČKA J (1964) Předběžné zhodnocení prací provedených na Sn rudy a prognózní ocenění zásob ložisek Sn rud v Českém masivu. MS, Ústí geol, Praha. Geofond P112251
- KOLITSCH U, PRING A (2001) Crystal chemistry of the cran-dallite, beudantite, and alunite groups: A review and evaluation of the suitability as storage materials for toxic metals. *J Miner Petrol Sci* 96: 67-78
- KOPECKÝ S, PAULIŠ P, POUR O (2015) Zlato z Vysoké u Havlíčkova Brodu (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 23(2): 218-220
- KRAUSE W, BELLENDORFF K, BERNHARDT H-J (1993) Petitjeanite, $Bi_3O(OH)(PO_4)_2$, a new mineral, and additional data for the corresponding arsenate and vanadate, preisingerite and schumacherite. *N Jb Mineral, Mh* 1993(11): 487-503
- LEHMANN B, HALDER S, RUZINDANA MUNANA J, DE LA NGIZIMANA J, BIRYABAREMA M (2014) The geochemical signature of rare-metal pegmatites in Central Africa: Magmatic rocks in the Gatumba tin-tantalum mining district, Rwanda. *J Geochem Explor* 144: 528-538
- LOSERTOVÁ L (2015) Přehled wolframitové mineralizace vázané na centrální moldanubický pluton a na ortorulová tělesa v moldanubiku. *Acta Mus Moraviae, Sci geol* 100(2): 45-67
- LOSERTOVÁ L, BUŘIVAL Z (2015) Výskyt sekundárního ferberitu na Pekelném vrchu u Jihlavy (moldanubikum, Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 23(2): 201-207
- LOSERTOVÁ L, BUŘIVAL Z, LOSOS Z (2014) Waylandit a petitjeanit, dva nové fosfáty pro lokalitu Cetoraz u Pacova (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 22(2): 269-274
- LOSERTOVÁ L, BUŘIVAL Z, LOSOS Z, HOUZAR S (2013) Mineralogická asociace a chemické složení Mg-wolframitu a scheelitu z Cetoraze u Pacova, Česká republika. *Acta Mus Moraviae, Sci geol* 98(1): 41-48
- MASTÍKOVÁ E (2011) Mineralogie a podmínky vzniku vybraných mineralizací v lomu Pohled (moldanubikum). MS, Dipl práce UP Olomouc
- MAYDAGÁN L, FRANCHINI M, IMPICINI A, LENTZ D (2016) Phyllosilicates geochemistry and distribution in the Altar porphyry Cu-(Au) deposit, Andes Cordillera of San Juan, Argentina: Applications in exploration, geothermometry, and geometallurgy. *J Geoch Explor* 167: 83-109
- MILLS SJ, GREY IE, MUMME WG, MIYAWAKI R, MATSUBARA S, BORDET P, BIRCH WD, RAUDSEPP M (2008) Kolitschite, $Pb[Zn_{0.5}Fe_3(AsO_4)_2(OH)_6]$, a new mineral from the Kintore opencut, Broken Hill, New South Wales. *Austral J Mineral* 14: 63-67
- MORÁVEK P, AICHLER J, DOŠKÁŘ Z, DUDA J, ĎURISOVÁ J, HAUK J, JANATKA J, KALENDA Z, KLOMÍNSKÝ J, KVĚTOŇ P, LI-TOCHLEB J, MALEC J, MRÁZEK I, NOVÁK F, POUBA Z, PUDILOVÁ M, PUNČOCHÁŘ M, SKÁCEL J, SOUKUP B, STUDNIČNÁ B, SZTACHO P, ŠPONAR P, TÁSLER R, VAŇA T, VANĚČEK M, VESELÝ J (1992) Zlato v Českém masivu. *Český geologický ústav Praha*
- NĚMEC D (1964) Geologische und paragenetische Verhältnisse der Erzgänge des Jihlava-Jezdovice-Reviers. *Tschermaks mineral petrogr Mitt* 9(1-2): 42-85
- OLIVIEROVÁ D (1993) Ca-Al mica margarite - its occurrences and metamorphic significance in mica schists from Kutná Hora Crystalline Complex. *J Czech Geol Soc* 38(3-4): 209-213
- ONDRUŠ P (1993) ZDS - A computer program for analysis of X-ray powder diffraction patterns. *Materials Science Forum*, 133-136, 297-300, EPDIC-2. Enschede

- PAULIŠ P, KOPECKÝ S (2007) Výskyt wolframové mineralizace u Vysoké u Havlíčkova Brodu. *Acta Rer Nat* 3: 47-50
- PAULIŠ P, KOPECKÝ S, POUR O, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, CIVIŠ S (2014) Bi-Te mineralizace z Vysoké u Havlíčkova Brodu (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz* 22(2): 275-280
- PAULIŠ P, URBAN M, MALÍKOVÁ R, POUR O (2015) Bismutit z ložiska manganových rud Horní Blatná v Krušných horách (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 23(1): 109-112
- PAŽOUT R (2017) Lillianite homologues from Kutná Hora ore district, Czech Republic: a case of large-scale Sb for Bi substitution. *J Geosci* 62: 37-57
- PAŽOUT R, ONDRUŠ P, ŠREIN V (2000) Makroskopický gустavit s proměnlivým poměrem Bi/Sb z kutnohorského rudního revíru. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 8: 218-222
- PAŽOUT R, ONDRUŠ P, ŠREIN V (2001) Gustavite with variable Bi/Sb ratio from Kutná Hora deposit, Czech Republic, a new occurrence. *N Jb Mineral Mh* 14: 157-168
- POUCHOU JL, PICHOR F (1985) "PAP" (ppZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: ARMSTRONG JT (ed): *Microbeam Analysis*. San Francisco Press, San Francisco: 104-106
- RATTRAY KJ, TAYLOR MR, BEVAN DJM, PRING A (1996) Compositional segregation and solid solution in the lead-dominant alunite-type minerals from Broken Hill, N.S.W. *Mineral Mag* 60: 779-785
- RIEDER M, CAVAZZINI G, D'YAKONOV YS, KAMENETSKII VAF, GOTTARDI G, GUGGENHEIM S, KOVAL' PV, MUELLER G, NEIVA AMR, RADOSLOVICH EW, ROBERT JL, SASSI FP, TAKEDA H, WEISS Z, WONES DR (1998) Nomenclature of micas. *Can Mineral* 36: 905-912
- SAHAMA TG (1981) The secondary tungsten minerals, a review. *Min Record* 12: 81-87
- SCOTT KM (1987) Solid solution in, and classification of, gossan-derived members of the alunite-jarosite family, northwest Queensland, Australia. *Am Mineral* 72: 178-187
- SEJKORA J (1992) Mineralogie oxidických fází s bismutem. MS Dipl práce, Přír fakulta Univ Karol Praha, 1-154
- SEJKORA J, ČEJKA J, ŠREIN V (2001) Pb dominant members of crandallite group from Cínovec and Moldava deposits, Krušné hory Mts. (Czech Republic). *J Czech Geol Soc* 46(1-2): 53-68
- SEJKORA J, ONDRUŠ P, FIKAR M, VESELOVSKÝ F, MACH Z, GABAŠOVÁ A, ŠKODA R, BERAN P (2006) Supergene minerals at the Huber stock and Schnöd stock deposits, Krásno ore district, the Slavkovský les area, Czech Republic. *J Czech Geol Soc* 51: 57-101
- SEJKORA J, PAULIŠ P, GRAMBLIČKA R, MALÍKOVÁ R, POUR O, DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J, VRTIŠKA L (2019) Nově zjištěná Bi-Co-Ni-As-U-V mineralizace přísečnického rudního revíru v Krušných horách (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 27(1): 1-37
- SEJKORA J, PAULIŠ P, URBAN M, DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J, POUR O (2021) Mineralogie křemenných žil ložiska cínových rud Hřebečná u Abertam v Krušných horách. *Bull Mineral Petrolog* 29(1): 131-163
- SEJKORA J, ŠKOVÍRA J, ČEJKA J, PLÁŠIL J (2009) Cu-rich members of the beudantite-seginitite series from the Krupka ore district, the Krušné hory Mountains, Czech Republic. *J Geosci* 54: 355-371
- SCHARMOVÁ M (2000) Polymetalické zrudnění od Svaté Anny u Havlíčkova Brodu. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 8: 165-170
- ŠTEVKO M, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R (2016) Nové údaje o supergenných minerálech z banského pola Rainer, ložisko Ľubietová - Podlipa (Slovenská republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 24(1): 1-12
- VESELÁ M (1964) Druhá zpráva o geologickém mapování v okolí Jihlavy. *Zpr geol Výzk v Roce 1963*, 1: 55-56
- VESELÁ M, HRÁDEK M, CHROBOK J (1970) Vysvětlivky k listu základní geologické mapy 1:25 000 M-33-92-Cc Jihlava. MS Geofond, Praha
- VESELÁ M, HRÁDEK M, CHROBOK J, ŠALANSKÝ K (1989) Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000, 23-234 Jihlava. Ústř Úst geol, Praha
- VRÁNA S (2000) Margarit a sekundární korund v andalusitovém pegmatitu u Benešova nad Černou: důsledky pro interpretaci vzniku korundu v andalusitových pegmatitech moldanubika. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 8: 250-252
- VRTIŠKA L, MALÍKOVÁ R, DOLNÍČEK Z, SEJKORA J (2019) Pyromorfit, kintoreit a cerusit z historického Ag-Pb-Zn ložiska Ratibořské hory (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 27(2): 394-410
- WISE MA, ČERNÝ P, FALSTER AU (1998) Scandium substitution in columbite-group minerals and ixiolite. *Can Mineral* 36: 673-680