

<https://doi.org/10.46861/bmp.28.454>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Arsenáty mědi z dobývky na žíle Geschieber - sever (patro Daniel), Svornost, jáchymovský rudní revír (Česká republika)

Copper arsenates from the ore stope at the Geschieber vein - north (Daniel level), Svornost, the Jáchymov ore district (Czech Republic)

JIŘÍ SEJKORA^{1)*} A BOHUSLAV BUREŠ²⁾

¹⁾Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice;

*e-mail: jiri.sejkora@nm.cz

²⁾Plevenská 3111, 143 00 Praha 4

SEJKORA J, BUREŠ B (2020) Arsenáty mědi z dobývky na žíle Geschieber - sever (patro Daniel), Svornost, jáchymovský rudní revír (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 28(2): 454-465 ISSN 2570-7337

Abstract

An interesting mineral association of Cu arsenates was found at abandoned ore stope at the Geschieber vein - north at the Daniel level of the Svornost mine, the Jáchymov ore district, Krušné hory, Czech Republic. Tangdanite forms thin tabular crystals up to 3 mm in size and coatings and fine crystalline aggregates on the area up to some cm². It has light green, bluish-green to emerald green color and perfect cleavage. It is monoclinic, space group *C2/c*, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 54.335(12), *b* 5.579(2), *c* 10.459(2) Å, β 95.42(3)° and *V* 3156(2) Å³; its chemical analyses correspond to the empirical formula $\text{Ca}_{1.99}(\text{Cu}_{8.72}\text{Zn}_{0.09}\text{Ni}_{0.04}\text{Al}_{0.04})_{\Sigma 8.89}[(\text{AsO}_4)_{4.383}(\text{PO}_4)_{0.14}(\text{SiO}_4)_{0.03}]_{\Sigma 4.00}(\text{SO}_4)_{0.41}(\text{OH})_{8.97} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ on the basis $\text{As}+\text{P}+\text{Si}+\text{V} = 4$ apfu. The results of Raman and infrared spectroscopy confirmed an absence of carbonate group in studied tangdanite. K-rich lavendulan was found as a relatively abundant sky blue crusts and coatings on the area up to some cm² and hemispherical aggregates with a radial structure or rarely as a group of thin tabular crystals up to 0.2 mm in size. It is monoclinic, space group *P2₁/n*, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 10.081(12), *b* 19.469(12), *c* 10.033(9) Å, β 90.32° and *V* 1969(2) Å³; its chemical analyses correspond to the empirical formula $(\text{Na}_{0.63}\text{K}_{0.16})_{\Sigma 0.79}\text{Ca}_{1.12}(\text{Cu}_{4.82}\text{Al}_{0.01})_{\Sigma 4.83}[(\text{AsO}_4)_{3.86}(\text{PO}_4)_{0.07}(\text{SO}_4)_{0.06}(\text{SiO}_4)_{0.01}]_{\Sigma 4.00}\text{Cl}_{0.96} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ on the basis $\text{As}+\text{P}+\text{V}+\text{Si}+\text{S} = 4$ apfu. Olivinite occurs as olive green spherical aggregates with radial structure up to 8 mm in size and rarely as groups of acicular crystals in association with strashimirite and köttigite. It is orthorhombic, space group *Pnmm*, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 8.6204(10), *b* 8.2332(9), *c* 5.9337(11) Å and *V* 421.13(7) Å³; its chemical analyses correspond to the empirical formula $(\text{Cu}_{1.94}\text{Ni}_{0.01}\text{Al}_{0.01})_{\Sigma 1.96}[(\text{AsO}_4)_{0.97}(\text{VO}_4)_{0.02}(\text{PO}_4)_{0.01}]_{\Sigma 1.00}(\text{OH})_{0.93}$ on the basis $\text{As}+\text{V}+\text{P} = 1$ apfu. Strashimirite forms there light green crystalline coatings on the area up to several cm² and spherical aggregates with a radial structure in association with olivinite and lavendulan. Strashimirite is probably monoclinic, space group *P2*, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 9.991(9), *b* 18.466(9), *c* 8.986(8) Å, β 96.5(2)° and *V* 1574(3) Å³; its chemical analyses correspond to the empirical formula $(\text{Cu}_{7.83}\text{Ni}_{0.18}\text{Ca}_{0.09}\text{Zn}_{0.06}\text{Co}_{0.02}\text{Al}_{0.02})_{\Sigma 8.20}[(\text{AsO}_4)_{3.81}(\text{PO}_4)_{0.07}(\text{SO}_4)_{0.07}(\text{VO}_4)_{0.03}(\text{SiO}_4)_{0.02}]_{\Sigma 4.00}(\text{OH})_{4.45} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ on the basis $\text{As}+\text{P}+\text{Si}+\text{V}+\text{S} = 4$ apfu. Chalcophyllite was found as rare emerald green thin tabular crystals up to 0.5 mm in size and crystalline aggregates. Its chemical composition is possible to express on the basis $\text{As}+\text{S}+\text{P}+\text{Si} = 7$ apfu by the empirical formula $\text{Cu}_{17.83}\text{Al}_{1.97}[(\text{AsO}_4)_{4.00}(\text{PO}_4)_{0.09}]_{\Sigma 4.09}[(\text{SO}_4)_{2.80}(\text{SiO}_4)_{0.11}]_{\Sigma 2.91}(\text{OH})_{23.27} \cdot 36\text{H}_2\text{O}$. Brochantite, devilline, köttigite, erythrite and gypsum were also found in the association with Cu arsenates. The origin of the described mineral association is connected with (sub)recent weathering of primary ore minerals (tennantite, sphalerite, nickelskutterudite) in relatively dry conditions of abandoned mine adits.

Key words: copper arsenates, tangdanite, lavendulan, powder X-ray diffraction data, unit-cell parameters, chemical composition, Geschieber vein, Jáchymov ore district, Czech Republic

Obdrženo 16. 11. 2020; přijato 14. 12. 2020

Úvod

Historicky velmi významný rudní revír Jáchymov v Krušných horách (Česká republika) je klasickým příkladem Ag + As + Co + Ni + Bi + U hydrotermální žilné mineralizace. Rudní žíly jsou zde lokalizovány v komplexu středně metamorfovaných sedimentárních hornin kambrického až ordovického stáří v kontaktní aureole variských granitoidů. Většina primárních rudních minerálů vznikla z mezotermálních fluid variského stáří (Ondruš et al. 2003a,c).

Primární i supergenní mineralizace jáchymovského rudního revíru je vzhledem k jejímu světově unikátnímu

charakteru (více než 440 známých druhů) v posledních třiceti letech velmi intenzivně studována (viz souhrnné práce Ondruše et al. 1997, 2003a-c, Hlouška et al. 2014, Škáchy et al. 2019a). V poslední době byl výzkum vedle primární mineralizace (Velebil, Sejkora 2018) soustředěn zejména na supergenní minerální fáze vznikající sub-recentně v podmínkách opuštěných důlních děl (např. Kampf et al. 2017; Plášil et al. 2015a-c, 2017a-c; Plášil 2020; Sejkora et al. 2018; Sejkora, Čejka 2019), ale publikovány byly i práce zaměřené na minerály a asociace vznikající v

supergenní zóně *in-situ* (Plášil et al. 2014, 2018; Sejkora et al. 2011). Tento příspěvek je zaměřen na asociaci Cu arsenátů, z jáchymovského revíru dosud neznámou, zjištěnou v historické dobývce Geschieber - sever na patře Daniel dolu Svornost.

Charakteristika místa nálezu

Při dokumentaci mineralogických poměrů na patře Daniel v důlním poli jámy Svornost (centrální část jáchymovského rudního revíru) byla v historické dobývce na žíle Geschieber zjištěna pozoruhodná asociace supergenních Cu arsenátů.

Geschieber je jednou z nejznámějších a v minulosti nejvíce dobývaných žil revíru. Žíla byla v minulosti otevřena a z největší části dobývána do úrovně historické štoly Daniel. Na počátku 19. století sahaly dobývky až na 10. patro. Po roce 1817 se práce po určitou dobu omezily pro potíže s čerpáním vody a s těžbou rubaniny. Do začátku 20. století byla žíla vysledována až na 12. patro. Historicky významné bylo i obohacení v místech překřížení a posunutí žilou Fundgrübner, kde bylo zaraženo vůbec první důlní dílo jáchymovského revíru. Žíla byla v 50. a 60. letech 20. století podrobena systematické revizi a byl na ní proveden nejrozsáhlejší průzkum na neuranové rudy v rudním uzlu jámy Svornost (Veselý 1982). V rámci geologického průzkumu byla žíla Geschieber na patře Daniel v minulosti prosledována v souhrnné délce 2900 m, včetně odžilků G-4, G-6, G-11, G-12, Nikolaj 1 a Nikolaj 2. Žíla byla jak v úseku středním (mezi šachtami Svornost a Josef), tak v úseku jižním (na jih od šachty Josef) a v úseku severním (na sever od šachty Svornost) zcela rozfárána starými důlními díly. Přístupné úseky vykazují v blízkosti starých dobývek ojedinělé čočky slabého zrudnění arzenidového typu. Ve středním úseku jsou četné dobývky sahající do výše až 10 m. Jsou to místa, kde se s největší pravděpodobností koncentrovalo značné zrudnění, dnes již vydobyté.

Studovaná historická dobývka na žíle Geschieber se nachází na patře Daniel, severně od šachty Svornost (obr. 1) a je přístupná z novodobého překopu Jáchymovských dolů (JD), od kterého je výškově odsazena asi 4 m vysokým komínem. Dobývka ražená po žíle v podstatě navazuje na ručně raženou historickou chodbu (r. 1722, dle letopočtu vytesaného ve stěně), kterou v současné době částečně kopíruje nový překop JD. Od této chodby je však oddělena mohutným závalem v místě tektonické poruchy. Dobývka má převažující směr 325° se strmým úklonem kolem 80° na Z, přecházejícím však v některých úsecích v opačný úklon přibližně stejné hodnoty. Mocnost žíly zde byla značně proměnlivá, kdy historické údaje uvádějí hodnoty od 8 do 230 cm, v průměru 30 až 50 cm. Výplň samotné žíly tvoří v proměnlivém poměru kalcit, křemen, alterovaný svor, tektonický jíl a dolomit. V nejširším místě má dobývka cca 5 m, kdy směrem vzhůru je žíla zcela vydobyta a v dobývce je značné množství starých povalů, na kterých leží suť z vrchních částí žíly. Délka přístupného úseku je přibližně 50 m, kdy vertikální rozsah přístupného suťového pole v dobývce může být cca 20 m. Na některých stěnách v dobývce, případně na úlom-

cích žiloviny a hornin v sutí jsou patrné modrozelené nebo růžové povlaky supergenní mineralizace vzniklé oxidací primárního Cu-Ni-Co-Zn zrudnění (zjištěny sfalerit, nikl-skutterudit, tennantit, galenit, pyrit, arzenopyrit a ojediněle impregnační proustitu). Dále byla popisovaná supergenní mineralizace nalezena jak v jižní (nejvyšší) části dobývky, tak v její severní části, která je přibližně na výškové úrovni starých prací, případně překopu JD.



Obr. 1 Historická dobývka na žíle Geschieber - sever (patro Daniel dolu Svornost) s výskytem asociace Cu arsenátů; foto M. Přibíl, 2010.



Obr. 2 Drobně krystalické zelené agregáty tangdanitu, Jáchymov; šířka záběru 10 mm, foto B. Bureš.

Metodika výzkumu

Povrchová morfologie vzorků byla sledována v dopadajícím světle pomocí optického mikroskopu Nikon SMZ 1000 (Národní muzeum Praha); tento mikroskop byl použit také pro separaci jednotlivých fází pro další výzkum. Nábrusy studovaných vzorků byly pro výzkum v odraženém světle a následně chemické analýzy připraveny standardním leštěním pomocí diamantové suspenze.

Rentgenová prášková difrakční data studovaných minerálů byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s po-

lovodičovým pozičně citlivým detektorem LynxEye za užití CuK α záření (40 kV, 40 mA). Práškové preparáty byly naneseny 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. Zjištěná rentgenová prášková data byla indexována na základě teoretického záznamu vypočteného programem Lazy Pulverix (Yvon et al. 1977) z publiko-

Tabulka 1 Rentgenová prášková data tangdanitu

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>
2	0	0	27.067	100.0	27.046	1	1	-2	3.802	1.6	3.815	20	0	2	2.3121	0.9	2.3123
4	0	0	13.534	58.6	13.523	10	0	2	3.590	0.8	3.586	16	0	-4	2.1633	0.3	2.1637
6	0	0	9.012	0.8	9.015	16	0	0	3.379	4.2	3.381	26	0	0	2.0790	2.3	2.0805
8	0	0	6.759	0.4	6.762	1	1	-3	2.953	7.2	2.955	16	0	4	1.9727	0.4	1.9743
1	1	0	5.546	1.8	5.549	2	2	0	2.774	0.5	2.775	28	0	0	1.9314	0.4	1.9319
10	0	0	5.412	1.0	5.409	20	0	0	2.704	3.2	2.705	4	0	-6	1.7424	1.4	1.7422
0	0	2	5.212	3.6	5.206	2	2	1	2.680	0.8	2.675	32	0	0	1.6904	0.4	1.6904
3	1	-1	4.799	3.0	4.799	6	2	0	2.664	6.5	2.665	2	2	5	1.6588	0.5	1.6578
6	0	-2	4.704	4.3	4.705	0	0	4	2.604	2.3	2.603	9	1	-6	1.6349	0.5	1.6357
12	0	0	4.504	1.0	4.508	6	2	1	2.564	1.1	2.564	36	0	0	1.5040	0.5	1.5026
6	0	2	4.340	4.8	4.334	4	0	4	2.514	2.8	2.512	4	2	-6	1.4769	0.9	1.4776
8	0	2	3.951	4.6	3.949	22	0	0	2.4575	4.9	2.4587	3	1	-7	1.4430	0.5	1.4432
14	0	0	3.860	1.1	3.864	12	0	-4	2.3563	2.7	2.3525						

Tabulka 2 Parametry základní cely tangdanitu (pro monoklinickou prostorovou grupu C2/c)

		<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	β [°]	<i>V</i> [Å ³]
Jáchymov	tato práce	54.335(12)	5.579(2)	10.459(2)	95.42(3)	3156(2)
Příbram	Škácha et al. (2019b)	54.3218(8)	5.5685*	10.469*	96.294*	3147.7*
Dongchuan ¹	Ma et al. (2014)	54.490(9)	5.5685(9)	10.469(2)	96.294(3)	3157.4(9)
Dongchuan ²	Ma et al. (2014)	54.443(8)	5.575(1)	10.475(2)	96.24(1)	3161(5)

* vzhledem k výrazné přednostní orientaci byl zpřesněn pouze parametr *a*; ¹ - monokrystalová data; ² - rentgenová prášková data

Tabulka 3 Chemické složení tangdanitu (hm. %)

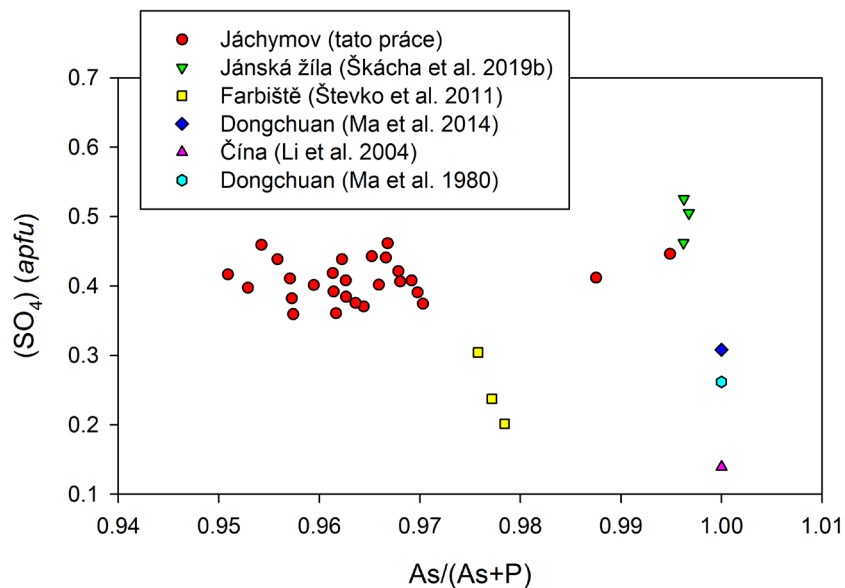
	Jáchymov (tato práce)		Škácha et al. (2019b)	Ma et al. (2014)	Li et al. (2004)	Ma et al. (1980)	Števkó et al. (2011) ¹
	mean	rozmezí					
CaO	7.50	7.16 - 8.23	7.06	7.29	7.13	7.24	7.01
CuO	46.67	44.89 - 48.83	46.04	45.71	44.58	46.04	44.91
ZnO	0.51	0.05 - 0.76	0.13				0.16
CoO	0.01	0.00 - 0.10					
NiO	0.20	0.00 - 0.37					
Al ₂ O ₃	0.13	0.00 - 0.60					
As ₂ O ₅	29.58	27.34 - 32.06	29.96	29.82	30.91	28.09	29.99
P ₂ O ₅	0.67	0.10 - 0.92	0.07				0.43
V ₂ O ₅	0.02	0.00 - 0.14					
SiO ₂	0.11	0.00 - 0.52					
SO ₃	2.20	1.92 - 2.48	2.61	1.60	0.75	1.28	1.32
H ₂ O*	16.33		15.48	15.58	16.63	17.63	17.98
total	103.93		101.34	100.00	100.00	100.28	102.27

Mean - průměr 27 bodových analýz; H₂O* obsah vypočtený na základě vyrovnání náboje a teoretického obsahu devíti molekul H₂O podle ideálního vzorce; ¹ - Števkó et al. (2011) uvádějí pro vzorek smaragdově zeleného „tyrolitu“ z Farbiště také PbO 0.07, F 0.12 a vypočtený obsah CO₂ 0.33 hm. %.

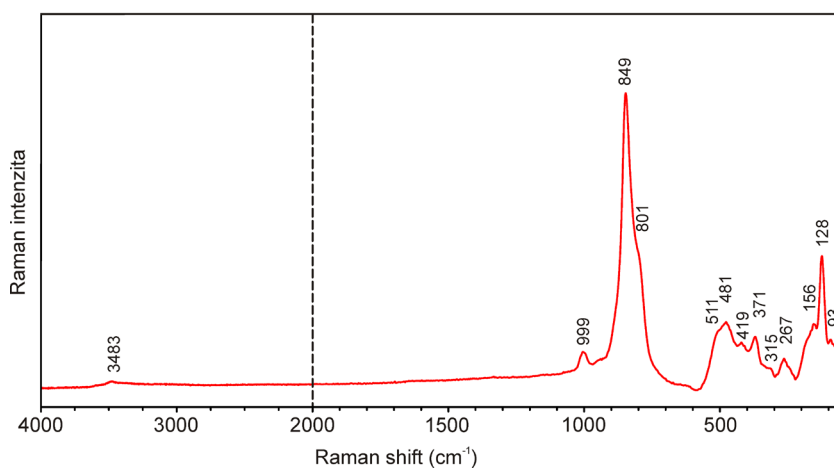
vaných krystalových strukturních dat, parametry základních cel pak byly následně zpřesněny pomocí programu Burnhama (1962).

Chemické složení supergenních fází bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha, ČR; analytik Z. Dolníček) za těchto podmínek: WD analýza, 15 kV, 5 nA, průměr svazku elektronů 5 μm , použité standardy: albit ($\text{NaK}\alpha$), baryt ($\text{BaL}\alpha$), celestin ($\text{SK}\alpha$, $\text{SrL}\beta$), Co ($\text{CoK}\alpha$), diopsid ($\text{MgK}\alpha$), fluorapatit ($\text{CaK}\alpha$, $\text{PK}\alpha$), halit ($\text{ClK}\alpha$), hematit ($\text{FeK}\alpha$), chalkopyrit ($\text{CuK}\alpha$), klinoklas ($\text{AsL}\alpha$), LiF ($\text{FK}\alpha$), Ni ($\text{NiK}\alpha$), rodonit ($\text{MnK}\alpha$), sanidín ($\text{AlK}\alpha$, $\text{SiK}\alpha$, $\text{KK}\alpha$), vanadinit ($\text{VK}\alpha$), wulfenit ($\text{PbM}\alpha$) a ZnO ($\text{ZnK}\alpha$). Obsahy výše uvedených 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 software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

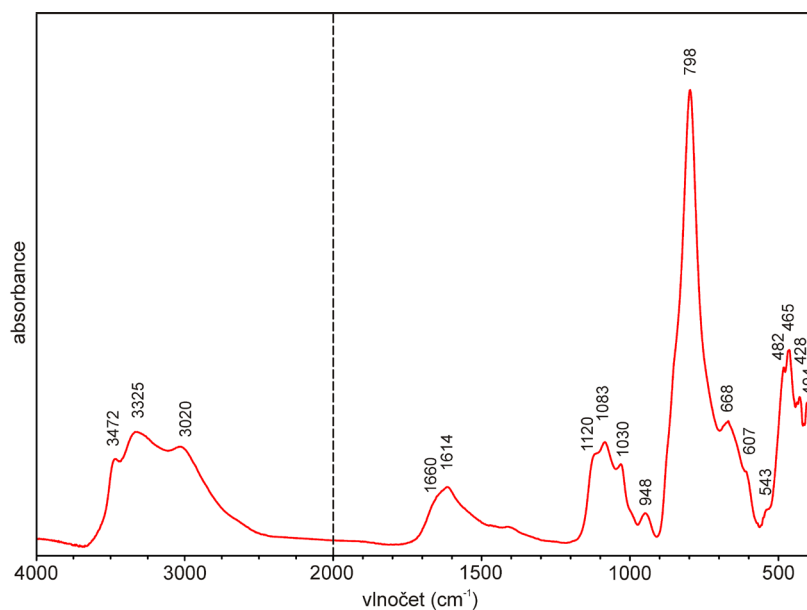
Ramanova spektra tangdanitu a lavendulanu byla pořízena za pomoci disperzního spektrometru DXR (Thermo Scientific) spojeného s konfokálním mikroskopem Olympus (Národní muzeum Praha). Podmínky měření: zvětšení objektivu 100 \times , použitý laser 633 nm, rozsah měření 50 - 4000 cm^{-1} , doba expozice pro tangdanit 10 s (pro lavendulan 30 s), celkový počet expozic 100, výkon laseru pro tangdanit 3 mW (pro lavendulan 2 mW), použitá apertura 50 μm pinhole, velikost měřené stopy 2 μm . Reprezentativní spektra byla vybrána ze setu spekter měřených na různých krystalech pro získání nejlepšího odstupu signálu od pozadí a minimálního rozsahu fluorescence. Možné termické poškození měřených bodů bylo sledováno pomocí vizuální kontroly povrchu vzorku po měření a případných změn spektra v průběhu měření. Spektrometr byl kalibrován pomocí softwarově řízené procedury s využitím emisních linií neonu (kalibrace vlnočtu), Ramanových pásů polystyrénu (kalibrace frekvence laseru) a standardizovaného zdroje bílého světla (kalibrace intenzity). Získaná spektra byla zpracována pomocí programu Omnic 9 (Thermo Scientific). Infračervené vibrační spektrum tangdanitu byla změřeno pomocí metody attenuated total reflection (ATR) na spektrometru Nicolet iS5 s diamantovou celou. Spektrum v rozmezí 4000 - 380 cm^{-1} bylo získáno pomocí 32 skenů s rozlišením 4 cm^{-1} a rychlostí zrcadla 0.4747 cm/s .



Obr. 3 Chemické složení tangdanitu z Jáchymova v porovnání s publikovanými daty.



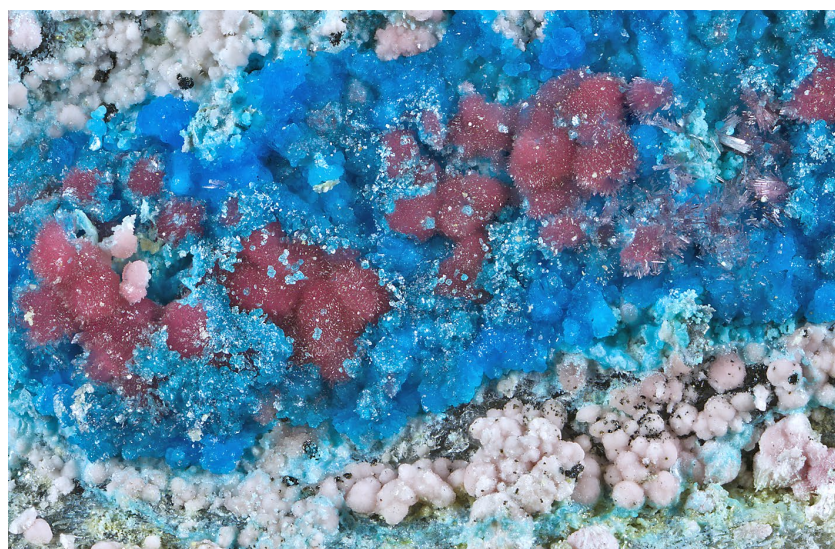
Obr. 4 Ramanovo spektrum tangdanitu z Jáchymova (split u 2000 cm^{-1}).



Obr. 5 Infračervené spektrum tangdanitu z Jáchymova (split u 2000 cm^{-1}).

Tabulka 4 Interpretace Ramanova a infračerveného spektra tangdanitu

Raman		IR		
Jáchymov	Příbram ¹	Jáchymov	Příbram ¹	
3483	3486	3472	3475	
	3046	3325	3310	v OH (H ₂ O, OH)
	2907	3020	3015	
		1660	1662	
	1621	1614	1611	v ₂ (δ) H ₂ O
		1120	1120	
		1083	1083	
			1065	v ₃ (SO ₄) ²⁻
		1030	1027	
999	997		981	v ₁ (SO ₄) ²⁻
		948	946	δ M-OH
849	850			v ₁ (AsO ₄) ³⁻
801	801	798	791	v ₃ (AsO ₄) ³⁻
		668	668	
		607	610	v ₄ (δ) (SO ₄) ²⁻ a librační módy H ₂ O
511	509	543	543	v ₄ (δ) (SO ₄) ²⁻
481		482	481	
	467	465	465	
419	415	428	422	v ₂ (δ) (SO ₄) ²⁻ , v ₄ (δ) (AsO ₄) ³⁻
		404		
	382			
371	366			v ₂ (δ) (AsO ₄) ³⁻
315	314			
267	268			v (OH×××O)
	171			
156	154			
128	127			vibrace mřížky
93	92			
	55			

Příbram¹ - tangdanit z Jánské žíly v Příbrami (Škácha et al. 2019b)

Obr. 6 Drobně krystalické modré agregáty lavendulanu v asociaci s tmavě fialově červeným erytrínem a světle růžovým köttigitem, Jáchymov; šířka záběru 12 mm, foto B. Bureš.

Charakteristika zjištěných minerálních druhů

Tangdanit

Tangdanit byl zjištěn jen v jižní části dobývky, kde vzácně vytvářel v drobných dutinách tabulkovité až lupenité krystaly o velikosti do 3 mm; častější byly jeho povlaky a jemně krystalické agregáty (obr. 2) na ploše až několika cm² světle zelené, modrozelené až smaragdově zelené barvy s dokonalou štěpností a skelným, hedvábným až perleťovým leskem. Obvykle vystupuje v asociaci s lavendulanem, na vzorcích jsou ale prostorově odděleny a nedochází k jejich vzájemnému prorůstání.

Jeho rentgenová prášková data (tab. 1) odpovídají publikovanými údaji pro minerály řady tangdanit - tyrolit i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury tangdanitu (Ma et al. 2014). Zpřesněné parametry jeho základní cely jsou v tabulce 2 porovnány s publikovanými údaji pro tuto minerální fázi.

Chemické složení tangdanitu (tab. 3) dobře odpovídá ideální stechiometrii tohoto minerálního druhu (Ma et al. 2014). Zjištěné obsahy sulfátového iontu v mezivrstvi (0.36 - 0.46 *pfu*) se již blíží ideálnímu zastoupení 0.5 (SO₄) *pfu*; odpovídají složení tangdanitu z Jánské žíly v Příbrami (Škácha et al. 2019b) a jsou zřetelně vyšší než hodnoty uváděné pro tangdanit z čínských lokalit nebo výskyt Farbiště na Slovensku (obr. 3). V aniontu byly vedle dominantního As (obr. 3) zjištěny i minoritní obsahy P (do 0.20 *apfu*), Si (do 0.12 *apfu*) a V (do 0.02 *apfu*). V kationtové části vzorce je Cu v malém rozsahu substituována Zn (do 0.14 *apfu*), Al (do 0.18 *apfu*), Ni (do 0.08 *apfu*) a Co (do 0.02 *apfu*). Empirický vzorec tangdanitu z Jáchymova (průměr 27 bodových analýz) lze na bázi As+P+Si+V = 4 *apfu* vyjádřit jako Ca_{1,99}(Cu_{8,72}Zn_{0,09}Ni_{0,04}Al_{0,04})_{Σ8,89}[(AsO₄)_{3,83}(PO₄)_{0,14}(SiO₄)_{0,03}Σ4,00](SO₄)_{0,41}(OH)_{8,97}·9H₂O.

Infračervené (obr. 4) i Ramanovo (obr. 5) spektrum tangdanitu z Jáchymova velmi dobře odpovídají spektrům tangdanitu z Jánské žíly v Příbrami (tab. 4), který byl podrobně studován Škáchou et al. (2019b). Nevýrazný Ramanův pás u 3483 cm⁻¹ a intenzivní infračervené pásy u 3472, 3325 a 3020 cm⁻¹ jsou projevem vibrací v OH v molekulách vody a iontech (OH) vázanými různě silnými vodíkovými vazbami. Podle empirického vztahu publikovaného v práci Libowitzky (1999) se délky

vodíkových vazeb O-H×××O pohybují v rozmezí přibližně 2.88 - 2.64 Å. Infračervený pás s maximem u 1614 a raménkem 1660 cm^{-1} je možno přiřadit deformačním ν_2 (δ) vibracím v molekulách vody, vázaných ve struktuře vodíkovými vazbami o rozdílné vazebné délce (a tedy síle). Infračervené pásy u 1120, 1083 a 1030 cm^{-1} jsou projevem rozštěpené trojnásobně degenerované antisymetrické valenční vibrace ν_3 (SO_4)²⁻. Ramanův pás u 999 cm^{-1} je spojen se symetrickou valenční vibrací ν_1 (SO_4)²⁻ a infračervený pás u 948 cm^{-1} může být projevem deformační vibrace δ M-OH. Symetrické valenční vibraci ν_1 (AsO_4)³⁻ odpovídá nejintenzivnější Ramanův pás u 849 cm^{-1} , jeho raménko u 801 cm^{-1} a intenzivní infračervený pás u 798 cm^{-1} pak antisymetrické valenční vibraci ν_3 (AsO_4)³⁻. Infračervené pásy u 668 a 607 cm^{-1} mohou být přiřazeny deformační vibraci ν_4 (δ) (SO_4)²⁻ a libračním módům molekul vody. Ramanův pás u 511 cm^{-1} a infračervený pás u 543 cm^{-1} mohou být také spojeny s deformační vibrací ν_4 (δ) (SO_4)²⁻. Ramanovy a infračervené pásy v oblasti 500 - 400 cm^{-1} (tab. 4) odpovídají dvojnásobně degenerované deformační vibraci ν_2 (δ) (SO_4)²⁻ a trojnásobně degenerované deformační vibraci ν_4 (δ) (AsO_4)³⁻. Ramanovy pásy s 371 a 315 cm^{-1} lze přiřadit dvojnásobně degenerované deformační vibraci ν_2 (δ) (AsO_4)³⁻. Ramanův pás u 267 cm^{-1} může být spojen s valenčními vibracemi ν (O-H×××O). Ramanovy pásy u 156, 128 a 93 cm^{-1} lze přiřadit vibracím mřížky. Některé Ramanovy pásy v oblasti 500 - 200 cm^{-1} mohou být také spojeny s valenčními a deformačními vibracemi (Ca,Cu)(O,OH,H₂O) oktaedrů (Škácha et al. 2019b). V infračerveném ani Ramanově spektru studovaného tangdanitu nebyly pozorovány žádné pásy v oblasti 1450 - 1300 cm^{-1} , které by byly důkazem přítomnosti skupin (CO₃)²⁻ v tomto minerálu (Ma et al. 2014; Števkó et al. 2011) a jednoznačně ho tak odlišují od tyrolitu.

Lavendulan

Lavendulan byl v dobývce nalezen jak v její severní části, tak i v suťovém materiálu jižní části dobývky. Nejbohatší vzorky byly nalezeny na volně ležících úlomcích v sutí a na povalech, kde leží materiál z vyšších částí vydobyté žíly. V jižní, horní části dobývky, byl pak nalezen i na stěnách dobývky, společně s dalšími supergenními minerály. Lavendulan



Obr. 7 Modré polokulovité až kulovité agregáty lavendulanu s paprscitou vnitřní stavbou, Jáchymov; šířka záběru 8 mm, foto B. Bureš.



Obr. 8 Skupiny modrých, růžicovitě uspořádaných, tence tabulkovitých krystalů lavendulanu, Jáchymov; šířka záběru 2.7 mm, foto B. Bureš.

Tabulka 5 Rentgenová prášková data lavendulanu

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
0	2	0	9.790	100.0	9.734	2	2	-3	2.683	0.5	2.685
1	0	1	7.069	0.7	7.092	2	5	-2	2.636	0.6	2.630
0	4	0	4.868	6.2	4.867	4	1	0	2.500	0.5	2.499
0	1	2			4.858	0	7	2	2.4321	0.4	2.4324
2	2	0	4.489	0.3	4.476	1	7	-2	2.3609	0.3	2.3660
0	6	0	3.252	4.2	3.245	2	7	-1			2.3679
2	3	-2	3.127	0.2	3.125	1	7	2			2.3631
2	3	2	3.109	1.0	3.112	0	2	5	1.9657	0.3	1.9653
0	5	2	3.077	1.3	3.076	1	10	0	1.9155	0.5	1.9116
0	3	3	2.973	0.4	2.973	4	1	4	1.7661	0.4	1.7657
2	6	0	2.720	0.5	2.728	0	11	2	1.6693	0.4	1.6691

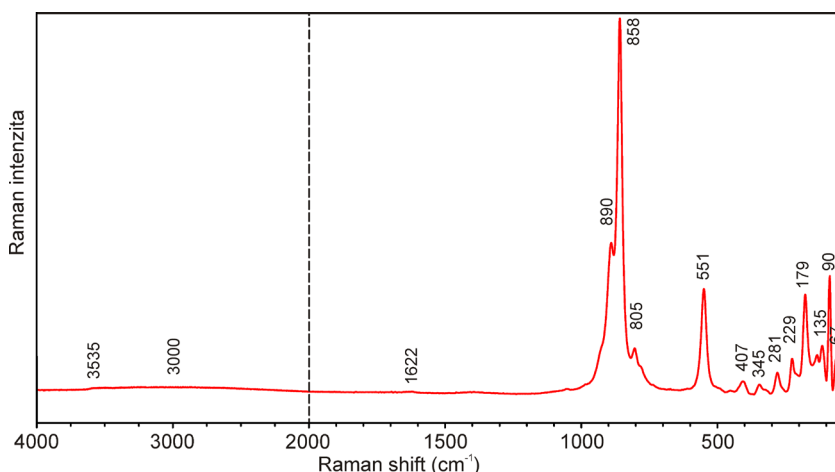
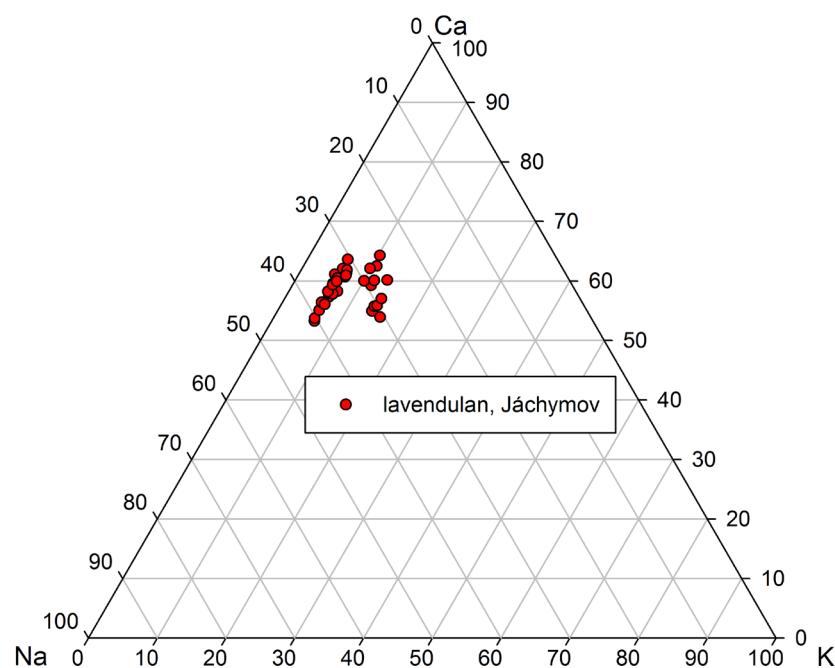
Tabulka 6 Parametry základní cely lavendulanu (pro monoklinickou prostorovou grupu P2₁/n)

	<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	β [°]	<i>V</i> [Å ³]
Jáchymov tato práce	10.081(12)	19.469(12)	10.033(9)	90.32(9)	1969(2)
Hilarion mine Giester et al. (2007)	10.011(1)	19.478(2)	10.056(1)	90.37(1)	1960.8(3)

Tabulka 7 Chemické složení lavendulanu (hm. %)

	mean	rozmezí		
Na ₂ O	1.92	1.44	-	2.60
K ₂ O	0.75	0.46	-	1.36
CaO	6.21	5.64	-	6.71
FeO	0.03	0.00	-	0.24
PbO	0.06	0.00	-	0.24
CuO	37.92	35.99	-	39.44
CoO	0.01	0.00	-	0.08
NiO	0.01	0.00	-	0.09
ZnO	0.02	0.00	-	0.14
Al ₂ O ₃	0.03	0.00	-	0.11
SiO ₂	0.08	0.00	-	0.39
As ₂ O ₅	43.91	39.42	-	47.64
P ₂ O ₅	0.47	0.34	-	0.62
V ₂ O ₅	0.01	0.00	-	0.08
SO ₃	0.43	0.08	-	0.78
Cl	3.36	3.14	-	3.55
H ₂ O*	8.91			
O=Cl	-0.76			
total	103.37			

Mean - průměr 33 bodových analýz; H₂O* obsah vypočtený na základě teoretického obsahu pěti molekul H₂O podle ideálního vzorce.



zde nejčastěji tvoří nebesky modré ledvinité kůry nebo povlaky skelného lesku (obr. 6), ale i matné agregáty, a to na plochách až několika cm². Některé povlaky jsou složeny z polokulovitých až kulovitých agregátů s radiálně paprskitou vnitřní stavbou (obr. 7) a vzácně byly pozorovány i skupiny růžicovitě uspořádaných, tence tabulkovitých krystalů o velikosti do 0.2 mm (obr. 8). Druhým typem výskytu lavendulanu jsou práškovité povlaky bleděmodré barvy, pokrývající plochy až 10 cm². Lavendulan se vyskytuje v asociaci s köttigitem, strašimířem, erytrínem a olivenitem.

Jeho rentgenová prášková data (tab. 5) se blíží publikovaným údajům pro lavendulan z Jáchymova (Ondruš et al. 1997); při porovnání se záznamem vypočteným z krystalových strukturních dat (Giester et al. 2007) je v experimentálním záznamu zřejmá zřetelná přednostní orientace typu (0k0) a nepříliš dokonalý krystalický stav minerálu vyvolávající výrazné rozšíření pozorovaných difrakčních maxim a jejich nízké absolutní intenzity. Tyto jevy se pak odrážejí i ve snížené přesnosti zjištěných parametrů jeho základní cely (tab. 6).

Při studiu chemického složení lavendulanu (tab. 7) bylo v pozici alkálií zjištěno vedle Na (0.48 - 0.82 *apfu*) i významnější zastoupení K (0.10 - 0.30 *apfu*); vždy ale Na > K (obr. 9) a současně celkové obsazení této pozice (0.67 - 0.95 *apfu*) vykazuje jistý deficit proti ideální hodnotě 1. Měď je v omezené míře (do 0.01 - 0.04 *apfu*) substituována Fe, Pb, Co, Ni, Zn a Al. V aniontové části vzorce bylo vedle dominantního As zjištěno i minoritní zastoupení S (do 0.10 *apfu*), P (do 0.09 *apfu*), Si (do 0.07 *apfu*) a V (do 0.01 *apfu*). Obsahy Cl, který je pro skupinu lavendulanu charakteristický, se pohybují v rozmezí 0.84 - 1.12 *apfu*. Empirický vzorec studovaného minerálu (průměr 33 bodových analýz) lze na bázi As+P+V+Si+S = 4 *apfu* vyjádřit jako $(\text{Na}_{0.63}\text{K}_{0.16})_{\Sigma 0.79}\text{Ca}_{1.12}(\text{Cu}_{4.82}\text{Al}_{0.01})_{\Sigma 4.83}[(\text{AsO})_{4/3.86}(\text{PO})_{4/0.07}(\text{SO})_{4/0.06}(\text{SiO})_{4/0.01}]_{\Sigma 4.00}\text{Cl}_{0.96}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Obr. 9 Chemické složení lavendulanu z Jáchymova.

Obr. 10 Ramanovo spektrum lavendulanu z Jáchymova (split u 2000 cm⁻¹).

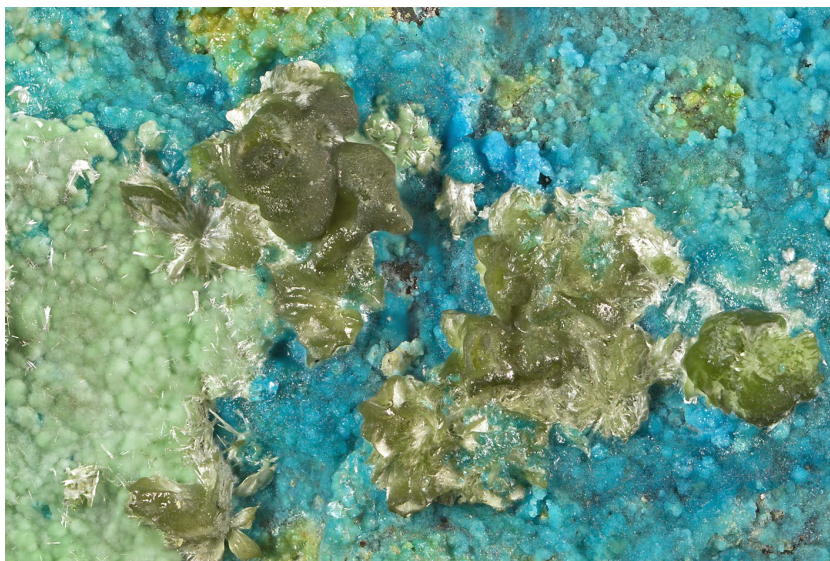
Ramanovo spektrum lavendulanu z Jáchymova (obr. 10) odpovídá v základních rysech spektrům publikovaným pro tento minerál z lokalit Dome Rock Copper mine v jižní a Alice Mary mine v západní Austrálii (Frost et al. 2007). Nevýrazné pásy s maximy u 3535 a kolem 3000 cm^{-1} jsou spojeny s valenčními vibracemi v OH v molekulách vody, vázaných různě silnými vodíkovými vazbami, obdobně nevýrazný pás u 1622 cm^{-1} pak s deformačními vibracemi ν_2 (δ) molekul vody. Dominantní pás u 858 cm^{-1} a pásy 890, 805 cm^{-1} je možné přiřadit valenčním vibracím arsenátové skupiny - symetrické ν_1 (AsO_4)³⁻ a antisymetrické ν_3 (AsO_4)³⁻. Pás s maximem u 551 cm^{-1} odpovídá nejspíše trojnásobně degenerované deformační vibraci ν_4 (δ) (AsO_4)³⁻ a méně intenzivní pásy u 407 a 345 cm^{-1} dvojnásobně degenerované deformační vibraci ν_2 (δ) (AsO_4)³⁻. Ramanův pás u 281 cm^{-1} může být spojen s valenčními vibracemi ν (O-H $\times\times$ O). Ramanovy pásy u 229, 179, 135, 116, 90 a 67 cm^{-1} lze přiřadit valenčním vibracím ν (Cu-Cl) a mřížkovým vibracím (Frost et al. 2007).

Olivenit

Olivenit tvoří tmavě olivové, kulovité agregáty radiálně paprscité stavby o velikosti do 8 mm (obr. 11) a vzácněji i jednotlivé jehlicovité krystaly olivově zelené barvy a skelného až hedvábného lesku. Olivenit vždy narůstá na lavendulan, obvykle v asociaci se světle zelenými ledvinitými povlaky strašimiritu a narůžovělými kulovitými agregáty köttigitu.

Rentgenová prášková data olivenitu (tab. 8) velmi dobře odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury (Burns, Hawthorne 1995) v postavení ortorombické cely. Olivenit má reálně zdvojitělou monoklinickou strukturu (prostorová grupa $P2_1/n$), ale pouze s velmi malou odchylkou od ortorombické symetrie - úhel $\beta = 90.088^\circ$ (tzv. dvojitění díky retikulární pseudomeroedrii; Petříček et al. 2016), která se v práškovém rentgenovém záznamu nemůže zřetelně projevit. Zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 9 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerální druh.

Chemické složení olivenitu dobře odpovídá ideální stechiometrii tohoto minerálu (tab. 10), v kationtu je Cu minoritně zastupováno Co, Ni, Zn a Al (do 0.01 - 0.02 *apfu*); v aniontové části vzorce pak byl ved-



Obr. 11 Olivově zelené krystalické agregáty olivenitu narůstající na modré kůry lavendulanu a světle zeleného strašimiritu, Jáchymov; šířka záběru 8 mm, foto B. Bureš.



Obr. 12 Světle zelené krystalické agregáty strašimiritu narůstající na modrý lavendulan, Jáchymov; šířka záběru 6.8 mm, foto B. Bureš.



Obr. 13 Světle zelené agregáty strašimiritu s paprscitou strukturou v asociaci s modrým lavendulanem, Jáchymov; šířka záběru 6 mm, foto B. Bureš.

Tabulka 8 Rentgenová prášková data olivenitu

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>l_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>l_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>l_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>
1	1	0	5.946	41.7	5.954	1	3	0	2.614	14.0	2.615	1	4	1	1.8968	1.7	1.8970
1	0	1	4.884	7.1	4.888	3	0	1	2.586	2.5	2.586	3	3	1	1.8823	3.4	1.8822
0	1	1	4.810	6.8	4.814	0	3	1	2.4899	5.1	2.4909	5	1	0	1.6878	2.4	1.6875
1	1	1	4.202	11.7	4.203	3	1	1	2.4670	18.0	2.4673	3	3	2	1.6497	1.7	1.6496
0	2	0	4.117	3.1	4.117	2	0	2	2.4439	4.5	2.4439	5	1	1	1.6236	3.2	1.6231
2	1	0	3.816	17.2	3.819	0	2	2	2.4067	6.5	2.4069	4	2	2	1.6060	3.3	1.6056
1	2	0	3.713	7.8	3.715	1	3	1	2.3931	11.6	2.3930	3	1	3	1.5984	1.7	1.5983
2	2	0	2.976	100.0	2.977	2	1	2	2.3417	2.8	2.3428	2	4	2	1.5747	6.7	1.5743
3	1	0	2.712	16.0	2.713	2	3	0	2.3153	3.9	2.3150	1	5	1	1.5607	4.9	1.5605
1	1	2	2.656	6.7	2.655	4	0	0	2.1538	1.0	2.1551	4	4	0	1.4887	11.2	1.4885

Tabulka 9 Parametry základní cely olivenitu (pro ortorombickou prostorovou grupu Pnmn)

		<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
Jáchymov	tato práce	8.6204(10)	8.2332(9)	5.9337(11)	421.13(7)
Krupka, ČR	Sejkora et al. (2015)	8.6300(8)	8.2405(8)	5.8384(7)	422.31(5)
Gelnica, SR	Sejkora et al. (2001)	8.633(2)	8.245(2)	5.940(1)	422.8(1)
Farbiště, SR	Števko et al. (2011)	8.6080(7)	8.2151(1)	5.9193(5)	418.59(6)
Farbiště, SR	Števko et al. (2011)	8.611(7)	8.2189(7)	5.9209(5)	419.05(3)
Cornwall, VB	Burns, Hawthorne (1995)	8.5894(2)	8.2076(2)	5.9286(1)	417.96

Tabulka 10 Chemické složení olivenitu (hm. %)

	mean	rozmezí	
CuO	54.35	53.84 - 54.86	
CoO	0.05	0.00 - 0.13	
NiO	0.14	0.07 - 0.20	
ZnO	0.11	0.00 - 0.20	
Al ₂ O ₃	0.13	0.00 - 0.18	
As ₂ O ₅	39.33	39.05 - 39.70	
P ₂ O ₅	0.30	0.18 - 0.38	
V ₂ O ₅	0.51	0.37 - 0.59	
H ₂ O*	2.94		
total	97.84		

Mean - průměr devíti bodových analýz; H₂O* obsah vypočtený na základě vyrovnání náboje.

Tabulka 11 Rentgenová prášková data strašimiritu

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>l_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>
0	1	0	18.453	100.0	18.466
1	0	0	9.457	20.3	9.490
0	2	0	9.246	45.6	9.233
0	0	1	8.910	26.8	8.928
2	0	0	4.742	12.9	4.745
2	1	0	4.600	2.0	4.596
2	4	0	3.309	35.2	3.309
2	4	-1	3.185	12.7	3.186
3	1	0	3.120	25.8	3.118
0	2	3	2.830	54.2	2.833
1	6	1	2.752	7.1	2.753
0	3	3	2.684	6.8	2.679
0	7	0	2.638	12.7	2.638
1	7	0	2.545	5.6	2.542

le dominantního As zjištěn i P a V (do 0.02 *apfu*). Jeho empirický vzorec (průměr devíti bodových analýz) lze na bázi As+V+P = 1 *apfu* vyjádřit jako (Cu_{1.94}Ni_{0.01}Al_{0.01})_{Σ1.96} [(AsO₄)_{0.97}(VO₄)_{0.02}(PO₄)_{0.01}]_{Σ1.00}(OH)_{0.93}.

Strašimirit

Strašimirit vytváří ledvinité povlaky a drobné kulovité agregáty světle zelené barvy na plochách až několika cm², které narůstají na lavendulan (obr. 12). Jeho kulovité agregáty mají na lomu zřetelnou paprscitou stavbu a hedvábný lesk (obr. 13). Vystupuje v asociaci s olivenitem a lavendulanem.

Rentgenová prášková data strašimiritu (tab. 11) odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi. Zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 12 porovnány s publikovanými hodnotami; zjištěné rozdíly můžou být vedle kolísání chemického složení vyvolány i nejednoznačnou indexací experimentálních dat této obecně nepřilíživě difraktující minerální fáze, jejíž krystalová struktura dosud nebyla publikována.

V kationtové části vzorce studovaného strašimiritu (tab. 13) se vedle Cu uplatňuje i Ca (do 0.11 *apfu*), Ni (do 0.24 *apfu*) a v menší míře i Co, Al a Zn (do 0.02 - 0.07 *apfu*). V aniontu je pak dominantní As částečně substituován S (do 0.12 *apfu*), P (do do 0.10 *apfu*) a V, Si (do 0.04 *apfu*). Empirický vzorec (průměr devíti bodových analýz) lze na bázi As+P+Si+V+S = 4 *apfu* vyjádřit následovně (Cu_{0.73}Ni_{0.18}Ca_{0.09}Zn_{0.06}Co_{0.02}Al_{0.02})_{Σ8.20} [(AsO₄)_{3.81}(PO₄)_{0.07}(SO₄)_{0.07}(VO₄)_{0.03}(SiO₄)_{0.02}]_{Σ4.00}(OH)_{4.45}·5H₂O.

Chalkofylit

Chalkofylit byl nalezen velmi vzácně pouze na několika vzorcích v jižní části dobovy. Vytváří zde charakteristické, tenké tabulkovité, průsvitné šestiboké krystaly o velikosti do 0.5 mm (obr. 14) a lupenité agregáty smaragdově zelené barvy s perleťovým leskem a dokonalou

Tabulka 12 Parametry základní cely strašimiritu (pro monoklinickou prostorovou grupu P2)

		a [Å]	b [Å]	c [Å]	β [°]	V [Å ³]
Jáchymov	tato práce	9.991(9)	18.466(9)	8.986(8)	96.5(2)	1574(3)
Krupka, ČR	Sejkora et al. (2015)	9.569(6)	18.59(1)	9.032(6)	97.21(6)	1594(1)
Zálesí, ČR	Frost et al. (2009)	9.56(1)	18.38(3)	9.10(1)	97.26(9)	1587(4)
Jáchymov, ČR	Ondruš et al. (1997)	9.71(3)	18.93(7)	8.91(8)	97.1(1)	1625.2
Ľubietová, SR	Frost et al. (2009)	9.524(3)	18.536(6)	9.058(4)	96.96(4)	1587.1(4)
Farbišče, SR	Števko et al. (2011)	9.70(2)	18.77(2)	8.99(2)	96.9(1)	1625(3)
Zapachitsa, Bulharsko	Minčeva-Stefanova (1968)	9.70	18.90	9.127	97.12	1661
Rędziny, Polsko	Gołębiowska (1999)	9.719(2)	18.806(5)	8.937(3)	97.31(3)	1620.1

štěpností. Na vzorcích s chalkofylitem byly pozorovány rovněž devillín a brochantit.

Vzhledem k minimálnímu množství materiálu dostupného pro analýzu byl chalkofylit ověřen jen na základě chemické analýzy; zjištěné složení (tab. 14) odpovídá stechiometrii této minerální fáze, v aniontu se vedle podstatného obsahu As a S uplatňují i minoritní obsahy Si (do 0.21 *apfu*) a P (do 0.13 *apfu*). Jeho empirický vzorec (průměr 11 bodových analýz) je možno na bázi $As+S+P+Si = 7$ *apfu* vyjádřit následovně: $Cu_{17.83}Al_{1.97}[(AsO_4)_{4.00}(PO_4)_{0.09}]_{\Sigma 4.09}[(SO_4)_{2.80}(SiO_4)_{0.11}]_{\Sigma 2.91}(OH)_{23.27} \cdot 36H_2O$.

Další minerály zjištěné v asociaci

Brochantit se v asociaci vyskytuje poměrně hojně, nalezen byl jak v suťovém materiálu, tak i přímo na stěnách dobývky. Vytváří zelené až smaragdově zelené kúry a velmi drobné krystaly se silným skelným leskem. Nachází se spolu se sádrovcem a devillínem, často v těsné blízkosti primárních minerálů chalkopyritu nebo tennantitu. Ověřen byl pomocí rentgenových práškových dat a semikvantitativní chemické analýzy, kde vedle převládajících Cu a S byly zjištěny jen minoritní obsahy (pod cca 0.5 hm. %) Pb, Al a Si.

Devillín se v dobývce vyskytuje poměrně často, a to většinou na trhlínách stěn, kde tvoří povlaky o velikosti až několik cm² v blízkosti primárního tennantitu. Byl nalezen rovněž ve formě agregátů, složených z neuspořádaných plochých jehlicovitých krystalů světle modré barvy s charakteristickým hedvábným leskem na štěpných plochách. Vyskytuje se v asociaci se sádrovcem a brochantitem. Ověřen byl pomocí rentgenových práškových dat a kvantitativní chemické analýzy, která vede k empirickému vzorci (průměr pěti analýz) $Ca_{1.03}(Cu_{3.97}Zn_{0.07}Ni_{0.07}Co_{0.04})_{\Sigma 4.15}[(SO_4)_{1.99}(SiO_4)_{0.01}]_{\Sigma 2.00}(OH)_{6.37} \cdot 3H_2O$.

Z minerálů skupiny vivianitu je ve studované asociaci hojnější **köttigit** zjištěný nejméně ve třech morfologických a genetických typech. Nejstarší typ köttigitu tvoří kulovité agregáty nebo krystalické kúry na plochách několika cm², které jsou složené ze silně skelně lesklých průsvitných krystalů tmavě vínově červené barvy. Mladším typem jsou pak jemné jehlicovité, radiálně paprscité nebo trsovitě seskupené krystaly, nejčastěji světle růžové barvy. Nejmladší, (sub)recentní typ vytváří práškovité, bělavé, růžové až malinově červené (podle obsahu Co) kúry nebo povlaky na žilovině. **Erytrín** byl naopak nalezen vzácněji v asociaci s lavendulanem; vytváří kulovité útvary složené z jednotlivých, drobných protažených tabulkovitých krystalů o délce do 2 mm nebo paprscité agregáty o velikosti

Tabulka 13 Chemické složení strašimiritu (hm. %)

	mean	rozmezí	
CaO	0.40	0.29	- 0.53
CuO	51.99	50.80	- 52.91
CoO	0.11	0.07	- 0.15
NiO	1.11	0.87	- 1.49
ZnO	0.38	0.29	- 0.49
Al ₂ O ₃	0.11	0.06	- 0.17
SiO ₂	0.08	0.00	- 0.22
As ₂ O ₅	36.57	34.52	- 38.07
P ₂ O ₅	0.44	0.32	- 0.57
V ₂ O ₅	0.22	0.14	- 0.32
SO ₃	0.46	0.32	- 0.79
H ₂ O*	10.87		
total	102.74		

Mean - průměr devíti bodových analýz; H₂O* obsah vypočtený na základě vyrovnání náboje a teoretického obsahu pěti molekul H₂O podle ideálního vzorce.

Tabulka 14 Chemické složení chalkofylitu (hm. %)

	mean	rozmezí	
CuO	53.43	51.47	- 55.45
Al ₂ O ₃	3.79	2.98	- 4.42
SiO ₂	0.25	0.08	- 0.41
As ₂ O ₅	17.33	14.49	- 20.13
P ₂ O ₅	0.25	0.19	- 0.37
SO ₃	8.43	6.99	- 9.18
H ₂ O*	32.32		
total	115.79		

Mean - průměr 11 bodových analýz; H₂O* obsah vypočtený na základě vyrovnání náboje a teoretického obsahu 36 molekul H₂O podle ideálního vzorce.

do 3 mm. Barva ověřeného erytrínu je vždy tmavě fialově červená. Minerály skupiny vivianitu byly určeny na základě rentgenových práškových dat a semikvantitativní chemické analýzy.

Dále se v dobývce velmi často vyskytuje **sádrovec**, který kromě krystalických agregátů na stěnách vytváří i drobné sloupcovité až tabulkovité krystaly o délce do 10 mm v dutinách žiloviny. Ověřen byl pomocí rentgenových práškových dat.



Obr. 14 Skupiny zelených, tenče tabulkovitých krystalů chalkofyllitu, Jáchymov; šířka záběru 7 mm, foto B. Bureš.

Závěr

Minerální asociace zjištěná na popisovaném výskytu je subrecentním produktem zvětrávání v prostředí relativně suchého opuštěného důlního díla. Zjištěné zastoupení minerálních druhů, a absence „kyselých“ arsenátů (se skupinou AsO_3OH) Cu nebo Ca-Mg (jinde v revíru běžný farmakolit a pikrofarmakolit; viz např. Majzlan et al. 2021) ve studované asociaci, indikují její vznik jen z mírně kyselých až neutrálních supergenních roztoků. Vzhledem k relativně suchému prostředí dobývky lze předpokládat krystalizaci novotvořených minerálních fází jen z velmi malého množství pravděpodobně značně koncentrovaných supergenních roztoků. Prakticky nulová mobilita supergenních fluid a minerální složení primární mineralizace (zejména tennantit, niklskuterrudit, sfalerit) se odráží v minoritním zastoupení Co, Ni a Zn v tangdanitu, lavendulanu, olivenitu a strashimiritu.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat Zdeňku Dolníčkovi z Národního muzea (Praha) za spolupráci při laboratorním výzkumu a Martinu Příbilovi (Praha) za poskytnutí terénní fotodokumentace. Předložená práce vznikla za finanční podpory Grantové agentury ČR v rámci projektu 17-09161S.

Literatura

- BURNHAM CHW (1962) Lattice constant refinement. Carnegie Inst Washington Year Book 61: 132-135
- BURNS PC, HAWTHORNE FC (1995) Rietveld refinement of the crystal structure of olivenite: a twinned monoclinic structure. *Can Mineral* 33: 885-888
- FROST RL, WEIER ML, WILLIAMS PA, LEVERETT P, KLOPROGGE JT (2007) Raman spectroscopy of the sampleite group of minerals. *J Raman Spectrosc* 38(5): 574-583
- FROST RL, SEJKORA J, ČEJKA J, KEEFFE EC (2009) Vibrational spectroscopic study of the arsenate mineral strashimirite $\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_4(\text{OH})_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – relationship to other basic copper arsenates. *Vibrat Spectrosc* 50: 289-297
- GIESTER G, KOLITSCH U, LEVERETT P, TURNER P, WILLIAMS PA (2007) The crystal structures of lavendulan, sampleite, and a new polymorph of sampleite. *Eur J Miner* 19(1): 75-93
- GOŁĘBIEWSKA B (1999) Strashimirite and cornwallite (copper arsenates) from Rędziny (Lower Silesia, Poland). *Mineral Polon* 30: 3-11
- HLOUŠEK J, PLÁŠIL J, SEJKORA J, ŠKÁCHA P (2014) Novinky a nové minerály z Jáchymova (2003 - 2014). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 22(2): 155-181
- KAMPF AR, SEJKORA J, WITZKE T, PLÁŠIL J, ČEJKA J, NASH BP, MARTY J (2017) Rietveldite, $\text{Fe}(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_5$, a new uranyl sulfate mineral from Giveaway-Simplot mine (Utah, USA), Willi Agatz mine (Saxony, Germany) and Jáchymov (Czech Republic). *J Geosci* 62(2): 107-120
- LI YI, LAI LAIREN, ZHOU WEINING, QIN CHAOKE (2004) Mineralogical characteristics and geological significance of tyrolite. *Acta Miner Sinica* 24: 378-380
- LIBOWITZKY E (1999) Correlation of O-H stretching frequencies and O-H...O hydrogen bond lengths in minerals. *Monat Chem* 130: 1047-1059
- MA ZHESHENG, QIAN RONGYAO, PENG ZHIZHONG (1980) Clinotyrolite: a new mineral of hydrous copper arsenate discovered in Dongchuan, Yunnan. *Acta Geol Sinica* 54: 134-143
- MA ZHESHENG, LI GUOWU, CHUKANOV NV, POIRIER G, SHI NECHENG (2014) Tangdanite, a new mineral species from the Yunnan Province, China and the discreditation of “clinotyrolite”. *Mineral Mag* 78(3): 559-569
- MAJZLAN J, PLÁŠIL J, DACHS E, BENISEK A, MANGOLD S, ŠKODA R, ABROSIMOVA N (2021) Prediction and observation of formation of Ca–Mg arsenates in acidic and alkaline fluids: Thermodynamic properties and mineral assemblages at Jáchymov, Czech Republic and Rotgülden, Austria. *Chem Geol* 559: 119922 doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119922
- MINČEVA-ŠTEFANOVA J (1968) Strashimirite - new hydrated copper arsenate. *Zap Vses Mineral Obšč* 97: 470-477
- ONDRUŠ P (1993) ZDS - A computer program for analysis of X-ray powder diffraction patterns. *Materials Science Forum*, 133-136, 297-300, EPDIC-2. Enchede
- ONDRUŠ P, VESELOVSKÝ F, HLOUŠEK J, SKÁLA R, VAVŘÍN I, FRÝDA J, ČEJKA J, GABAŠOVÁ A (1997) Secondary minerals of the Jáchymov (Joachimsthal) ore district. *J Czech Geol Soc* 42(4): 3-76

- ONDRUŠ P, VESELOVSKÝ F, GABAŠOVÁ A, HLOUŠEK J, ŠREIN V (2003a) Geology and hydrothermal vein system of the Jáchymov (Joachimsthal) ore district. *J Czech Geol Soc* 48: 3-18
- ONDRUŠ P, VESELOVSKÝ F, GABAŠOVÁ A, HLOUŠEK J, ŠREIN V (2003b) Supplement to secondary and rock-forming minerals of the Jáchymov ore district. *J Czech Geol Soc* 48: 149-155
- ONDRUŠ P, VESELOVSKÝ F, GABAŠOVÁ A, HLOUŠEK J, ŠREIN V, VAVŘÍN I, SKÁLA R, SEJKORA J, DRÁBEK M (2003c) Primary minerals of the Jáchymov ore district. *J Czech Geol Soc* 48: 19-147
- PETŘÍČEK V, DUŠEK M, PLÁŠIL J (2016) Crystallographic computing system Jana2006: solution and refinement of twinned structures. *Z Kristallogr* 231: 583-599
- PLÁŠIL J (2020) Krystalová struktura phurcalitu, $\text{Ca}_2[(\text{UO}_2)_3\text{O}_2(\text{PO}_4)_2] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, z Jáchymova. *Bull Mineral Petrolog* 28(2): 276-280
- PLÁŠIL J, HLOUŠEK J, KASATKIN AV (2014) Pozoruhodný výskyt metařujamunitu a minerálů mixitové skupiny na Dušní žíle (Geister), Jáchymov (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 22(2) 215-220
- PLÁŠIL J, HLOUŠEK J, KASATKIN AV, BELAKOVSKIY DI, ČEJKA J, CHERNYSHOV D (2015a) Ježekite, $\text{Na}_8[(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3](\text{SO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, a new uranyl mineral from Jáchymov, Czech Republic. *J Geosci* 60(4): 259-267
- PLÁŠIL J, HLOUŠEK J, KASATKIN AV, NOVÁK M, ČEJKA J, LAPČÁK L (2015b) Svornostite, $\text{K}_2\text{Mg}[(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)_2] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, a new uranyl sulfate mineral from Jáchymov, Czech Republic. *J Geosci* 60(2): 113-121
- PLÁŠIL J, HLOUŠEK J, KASATKIN AV, ŠKODA R, NOVÁK M, ČEJKA J (2015c) Geschieberite, $\text{K}_2(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_2$, a new uranyl sulfate mineral from Jáchymov. *Mineral Mag* 79(1): 205-216
- PLÁŠIL J, ČEJKA J, SEJKORA J, HLOUŠEK J, ŠKODA R, NOVÁK M, DUŠEK M, CISAŘOVÁ I, NĚMEC I, EDEROVÁ J (2017a) Línekite, $\text{K}_2\text{Ca}_3[(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, a new uranyl carbonate mineral from Jáchymov, Czech Republic. *J Geosci* 62(3): 201-213
- PLÁŠIL J, ŠKÁCHA P, SEJKORA J, KAMPF AR, ŠKODA R, ČEJKA J, HLOUŠEK J, KASATKIN AV, PAVLIČEK R, BABKA K (2017b) Plavnoite, a new K–Mn member of the zippeite group from Jáchymov, Czech Republic. *Eur J Mineral* 29(1), 117-128
- PLÁŠIL J, ŠKÁCHA P, SEJKORA J, ŠKODA R, NOVÁK M, VESELOVSKÝ F, HLOUŠEK J (2017c) Babánekite, $\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, from Jáchymov, Czech Republic - a new member of the vivianite group. *J Geosci* 62(4): 261-270
- PLÁŠIL J, KAMPF AR, SEJKORA J, ČEJKA J, ŠKODA R, TVRDÝ J (2018) Horákite, a new hydrated bismuth uranyl-arsenate-phosphate mineral from Jáchymov (Czech Republic) with a unique uranyl-anion topology. *J Geosci* 63(3): 265-276
- POUCHOU JL, PICOIR F (1985) "PAP" ($\phi\rho Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (J. T. Armstrong, ed.). San Francisco Press, San Francisco, 104-106
- SEJKORA J, ČEJKA J (2019) New data on uranyl sulphate mineral shumwayite from Jáchymov - a Raman spectroscopy study. *Bull Mineral Petrolog* 27(2): 411-418
- SEJKORA J, ĎUŽA R, NOVOTNÁ M (2001) Minerály oxidační zóny žíly Krížová, Gelnica, Slovenské Rudohorie. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 9: 121-139
- SEJKORA J, PLÁŠIL J, CISAŘOVÁ I, ŠKODA R, HLOUŠEK J, VESELOVSKÝ F, JEBAVÁ I (2011) Interesting supergene Pb-rich mineral association from the Rovnost mining field, Jáchymov (St. Joachimsthal), Czech Republic. *J Geosci* 56: 257-271
- SEJKORA J, ŠKÁCHA P, DVOŘÁK Z, MUZIKANT P (2015) Slavkovit z Preisselbergu, rudní revír Krupka (Česká republika) a jeho minerální asociace. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 23(1), 1-18
- SEJKORA J, PLÁŠIL J, KAMPF AR (2018) Honzaitite, $(\text{Ni}, \text{Co})_2(\text{AsO}_3\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_5$, a new Ni-dominant analogue of burgessite, from Jáchymov, Czech Republic. *Eur J Mineral* 30(5): 989-997
- ŠKÁCHA P, PLÁŠIL J, HORÁK V (2019a) Jáchymov - mineralogická perla Krušnohoří. 1-688, Academia, Praha
- ŠKÁCHA P, SEJKORA J, ČEJKA J (2019b) Molecular structure of tangdanite from the Jánská vein, Příbram (Czech Republic) - a vibrational spectroscopy study. *Bull Mineral Petrolog* 27(1): 205-211
- ŠTEVKO M, SEJKORA J, BAČÍK P (2011) Mineralogy and origin of supergene mineralization at the Farbiště ore occurrence near Poniky, central Slovakia. *J Geosci* 56: 273-298
- VELEBIL D, SEJKORA J (2018) Bismutem bohaté tennantity z Jáchymova (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 26(2): 213-222
- VESELÝ T (1982) Lokalizace zrudnění na žilách v důlním poli jámy Svornost a Josef ložiska Jáchymov. MS, Závěrečná zpráva ÚUG Praha, duben 1982, 11-13
- YVON K, JEITSCHKO W, PARTHÉ E (1977) Lazy Pulverix, a computer program for calculation X-ray and neutron diffraction powder patterns. *J Appl Cryst* 10: 73-74