https://doi.org/10.46861/bmp.33.242 PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Zhenruit ze štoly 5. květen ve Vrchoslavi v Krušných horách (Česká republika)

Zhenruite from the 5. květen adit at Vrchoslav in the Krušné hory Mts. (Czech Republic)

Jiří Sejkora[1)]*, Petr Pauliš[1,2)], Petr Fuchs[3)] a Ondřej Pour[4)]

[1)]*Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice;*
**e-mail: jiri.sejkora@nm.cz*
[2)]*Smíškova 564, 284 01 Kutná Hora*
[3)]*Bílinská 3, 415 01 Teplice*
[4)]*Česká geologická služba, Geologická 6, 152 00 Praha 5*

Sejkora J, Pauliš P, Fuchs P, Pour O (2025) Zhenruit ze štoly 5. květen ve Vrchoslavi v Krušných horách (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 33(2): 242-250. ISSN 2570-7337

Abstract

Very rare hydrated molybdenum oxide, mineral zhenruite, was found in samples from the quartz - aplite vein with molybdenite at the abandoned adit 5. květen, Vrchoslav near Krupka, Krušné hory Mountains, northern Bohemia, Czech Republic. Zhenruite forms crystalline coatings on an area of up to several cm^2 on quartz gangue with jordisite and molybdenite, which are composed of intergrown hemispherical aggregates up to 0.2 mm in size. These aggregates are composed of flattened needle-like crystals, radially or fan-shapedly arranged; the length of individual crystals ranges up to 0.1 mm and their cross-section is usually around 2 × 5 μm. Zhenruite crystals are translucent to transparent, colourless to very light bluish, with a vitreous lustre; the crystalline aggregates are then opaque, whitish, light or even pastel blue. Zhenruite is monoclinic, space group $P2_1/m$, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 9.8607(10), *b* 3.7051(5), *c* 7.1122(6) Å, β 102.425(10)° and *V* 249.12(5) $Å^3$. Results of semiquantitative chemical analysis (EDS) confirm the presence of Mo and O in the studied mineral. Raman spectroscopy documents the identity of studied mineral with zhenruite from type locality and presence of molecular water and Mo octahedra in the crystal structure of zhenruite. The origin of zhenruite in association with alunogen is interpreted as product of (sub) recent supergene alteration of jordisite and molybdenite in quartz gangue in environment of abandoned mine space.

Key words: *zhenruite, powder X-ray diffraction data, unit-cell parameters, chemical composition, Raman spectroscopy, Vrchoslav, Czech Republic*

Obdrženo 6. 10. 2025; přijato 5. 12. 2025

Úvod

V systému Mo-O-(H_2O) byl vedle dávno známého a nedostatečně definovaného rentgenamorfního ilsemannitu (Höfer 1871; Anthony et al. 1997) jako první jednoznačně popsán bezvodý molybdit MoO_3 (Čech, Povondra 1963) na základě dnes již nezvěstného vzorku z Krupky v Krušných horách (Pauliš et al. 2025). Později byly popsány jako nové minerální druhy sidwillit $MoO_3 \cdot 2H_2O$ z lokality Lake Como, Colorado, USA (Cesbron, Ginderow 1985) a oxid Mo^{4+} minerál tugarinovit, MoO_2, z Mo-U ložiska Lenskoye v Amurské oblasti v Rusku (Kruglova et al. 1980). Až v posledních letech byly schváleny jako nové minerály na základě vzorků z amerických lokalit další různě hydratované oxidy Mo - raydemarkit, virgilluethit, zhenruit a tianhuixinit (tab. 1). Zhenruit, monoklinický $MoO_3 \cdot 1/2H_2O$, byl popsán v materiálu z uranového dolu Freedom #2 ve střední částí Marysvale volcanic field, Piute County, Utah, USA (Gu et al. 2022, in prep). Z této lokality bylo popsáno dalších sedm nových fází, vesměs supergenních minerálů molybdenu - downsit, fanguangit, liangjunit, umohoit, vanpeltit, wangpuit a yunhaoit (Gu et al. in prep). Výskyt zhenruitu je uváděn i z nedaleké lokality Bullion Monarch Mine (Farmer John No. 3 Claim), ale bez jakýchkoliv analytických dat (www.mindat.org). Nález zhenruitu v materiálu ze štoly 5. květen ve Vrchoslavi, který je obsahem této práce, je tak třetím ve světovém měřítku.

Charakteristika lokality

Štola 5. květen ve Vrchoslavi sloužila jako hlavní překop pro průzkumné práce a otvírku vrchoslavského fluoritového ložiska. Její ústí (obr. 1) se nachází v nadmořské výšce 454 m na svahu kóty Preiselberg, cca 1.6 km ssz. od obce Vrchoslav (souřadnice: 50°41‘36.360“N, 13°50‘0.749“E). Vlastní fluoritové ložisko se nachází cca 3 km sz. od Krupky a je součástí rozsáhlého krupeckého rudného revíru. Na počátku padesátých let minulého století tu byl vybudován důl a zahájena první poválečná těžba fluoritu v Československu. Fluority v této oblasti objevil v roce 1949 F. Fiala z ÚÚG Praha, první fluoritové žíly vysledoval J. Chrt v létě 1950. V letech 1951 - 1953 tu proběhly první otvírkové práce (štoly č. 1, Jiří, František I a II a překop 5. květen). Výstavba těžebního zařízení byla zahájena v roce 1952 a ještě v témže roce byla zahájena těžba fluoritu. Ložisko bylo zpřístupněné cel-

Tabulka 1 *Přehled platných minerálních druhů v systému Mo-O-(H_2O)*

minerál	vzorec	lokalita	barva	symetrie	SG	
a [Å]	*b* [Å]	*c* [Å]	α [°]	β [°]	γ [°]	*V* [Å^3]
molybdit	MoO_3	Krupka	bezbarvý	ort.	*Pbnm*	[1]
3.9628(7)	13.855(3)	3.6964(6)				202.95
tianhuixinit	$MoO_3 \cdot 1/3H_2O$	Cookes Peak	tmavě modrozelený	hex.	$P6_3/m$	[2]
10.5845(3)		3.7285(1)				361.88(9)
zhenruit	$MoO_3 \cdot 1/2H_2O$	Freedom #2 mine	bezbarvý	monokl.	$P2_1/m$	[3]
9.6790(6)	3.7065(2)	7.1029(4)		102.391(5)		248.89(2)
virgilluethit	$MoO_3 \cdot H_2O$	Cookes Peak	žlutozelený	monokl.	$P2_1/c$	[4]
7.2834(3)	10.6949(6)	7.4861(3)		112.79(2)		583.03(5)
raydemarkit	$MoO_3 \cdot H_2O$	Cookes Peak	bezbarvý	trikl.	*P*-1	[5]
7.3750(2)	3.70920(10)	6.6833(2)	108.1080(10)	112.779(2)	91.7420(10)	157.828(8)
sidwillit	$MoO_3 \cdot 2H_2O$	Lake Como	žlutý, žutozelený	monokl.	$P2_1/n$	[6]
10.618(5)	13.825(7)	10.482(5)		91.64(4)		1538
ilsemannit	$Mo_3O_8 \cdot nH_2O$?	Bad Bleiberg	modrý, černý	amorfní		[7]
tugarinovit	MoO_2	Lenskoye	nafialověle hnědý	monokl.	$P2_1/c$	[8]
5.59(1)	4.82(1)	5.51(1)		119.53		129.2

[1] Čech, Povondra (1963); Kihlborg (1963); [2] Gu et al. (2023; in prep); [3] Gu et al. (2022; in prep); [4] Yang et al. (2023b); [5] Yang et al. (2023a); [6] Cesbron, Ginderow (1985); [7] Anthony et al. (1997); [8] Kruglova et al. (1980).

kem osmi štolami, přičemž z hlavní štoly 5. květen byla vyražena slepá jáma. První část štoly 5. květen (P-III-1) byla vyražena v letech 1952 - 1953 a dosáhla délky 640 m. Výsledkem geologicko-průzkumných prací provedených do roku 1955 byl objev osmi hlavních žil. Rozfárání ložiska postupně pokračovalo až do úrovně -250 m pod povrchem. Poslední fluoritová ruda byla dotěžena nad patrem -150 m koncem roku 1968. V průběhu roku 1969 proběhla likvidace dolu (Reichmann 1975). V letech 1953 - 1969 bylo na ložisku vytěženo celkem 320 tisíc tun fluoritu, což reprezentovalo téměř 17 % z celkové těžby fluoritu v Československu po roce 1950 (Fengl 1995; Reichmann 1975).

Vrchoslavské fluoritové ložisko tvoří systém 11 strmých žil směru SZ - JV, které prostupují horninami teplického ryolitu (dříve označovaného jako křemenný porfyr) a preisselberským granitem. Zdrojem využitelných zásob fluoritu byla především Hlavní žíla přes 1 km dlouhá a průměrně 25 - 50 cm mocná. Byla tvořena křemenem a hrubozrnným zeleným, fialovým a modrým fluoritem, který vytvářel v dutinách až 15 cm velké krychlové krystaly. V menším množství byly na žílách přítomny růžový baryt a opál (Fengl 1995). Vzácně se na žílách vyskytovala sulfidická Cu-mineralizace, reprezentovaná chalkopyritem, bornitem, digenitem, chalkozínem (Trdlička, Kupka 1958; Štemprok, Vejnar 1959) a tetraedritem (Chrt 1961). Akcesoricky se vyskytovaly též pyrit, molybdenit a stanin. Ze supergenních minerálů byly na fluoritových žilách a v jejich okolí zjištěny plíšky cementační mědi (Chrt 1961), brochantit (Sejkora, Radoň 1997), měď s kupritem (Škovíra et al. 1999), malachit, torbernit (Fengl 1995) a Ba-bohatý kryptomelan (Pauliš et al. 2012).

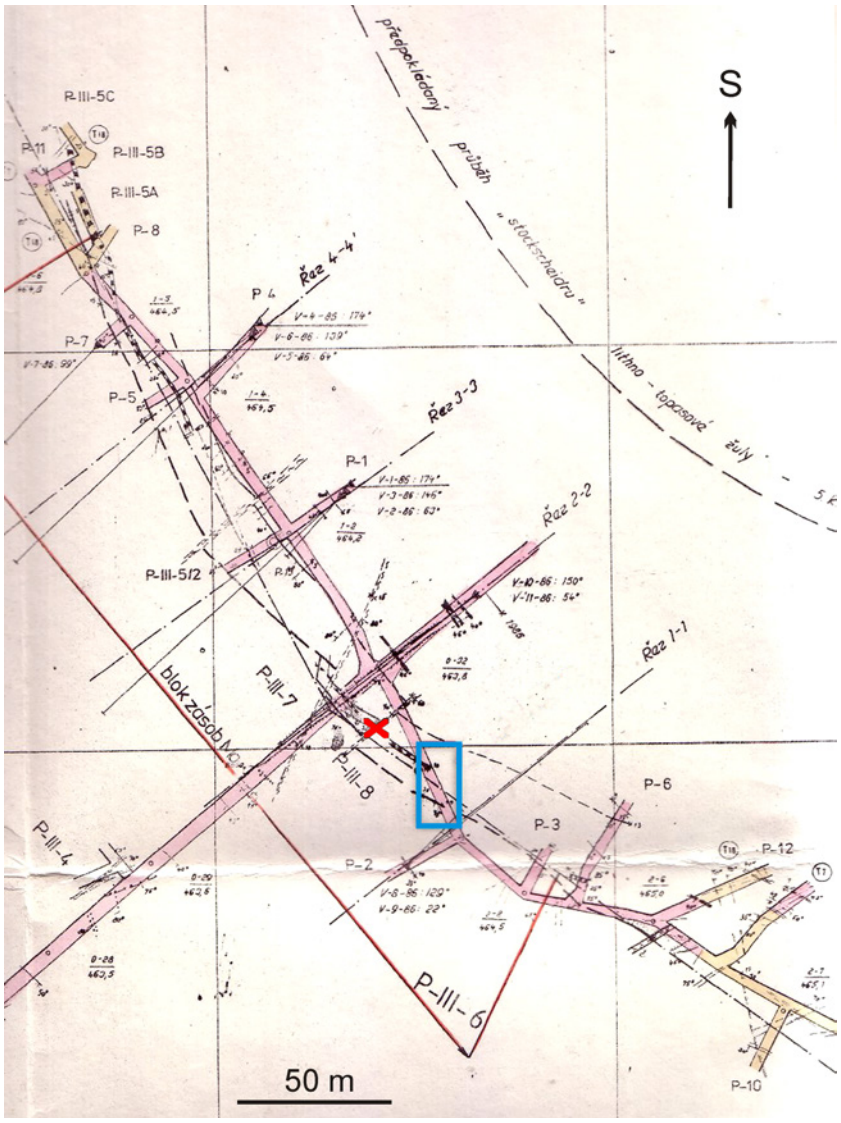
Po ukončení těžebních prací na fluoritových žilách měla štola 5. květen délku 650 m. V rámci poslední etapy ložiskového průzkumu byla tato štola v roce 1981 opět otevřena, vyzmáhána a postupně byla její délka prodloužena až na celkovou délku 2350 m pod Komáří hůrku. Překop měl ověřit zrudnění v hlubších částech preisselberské kupole mezi Preisselbergem a Komáří hůrkou. Překop štoly 5. květen (obr. 2) prochází do vzdálenosti 500 m horninami svrchně karbonského teplického ryolitového komplexu (tzv. teplický ryolit). Kontakt ryolitu a preisselberského granitu byl zastižen v metráži 500 m. Preisselberský granit zastižený štolou v úseku 500 - 1150 m je narůžovělá porfyrická hornina s četnými zrny až 1 cm velkými světle oranžového K-živce. Horninovým komplexem proniká několik žil fluoritu s okoložilným hematitizovaným křemenem do mocnosti 1 m, které byly předmětem těžby bývalého fluoritového ložiska Vrchoslav.



Obr. 1 *Ústí štoly 5. květen ve Vrchoslavi, foto F. Reichmann (1974).*



Obr. 2 *Záběr ze štoly 5. květen ve Vrchoslavi, foto P. Pauliš (červen 2018).*



Obr. 3 *Lokalizace výskytu zhenruitu ve štole 5. květen ve Vrchoslavi (vyznačeno červeným křížkem), jeho výskyt se nachází nedaleko supergenní uranové mineralizace s iriginitem (modrý obdélník). Výsek z důlní geologické mapy (Tichý et al. 1997).*

Ve vzdálenosti 1100 m od ústí byly zastiženy křemenné žíly s molybdenitem (Tichý et al. 1987). V úseku 1150 - 1400 m byla ověřena slepá elevace lithno-topazové žuly, intrudující do starší preisselberské žuly. Při styku obou žul jsou vyvinuty typické pegmatitové lemy. V úseku 1 400 - 2200 m jsou zastoupeny biotitické ortoruly s proniky teplického ryolitu (Chrt 1996).

Průzkumnými pracemi byla zhruba 1100 m od ústí překopu zjištěna dvě pásma s výraznou molybdenitovou mineralizací, která byla ověřována slednými chodbami a vrty. Tyto průzkumné práce probíhaly v roce 1987 po vyzmáhání stávajících 1114 m štoly. Celkové vypočtené zásoby Mo rudy o průměrném obsahu 0.48 % Mo činí 5.7 kt. Zásoby reprezentované zrudněním vázaným na málo mocné žíly s velmi kolísavou mineralizací jsou nebilanční (Tichý et al 1981, 1987, 1991). Všechny průzkumné aktivity zde byly ukončeny v roce 1992.

Metodika výzkumu

Povrchová morfologie vzorků byla sledována v dopadajícím světle pomocí optického mikroskopu Nikon SMZ 1500 (Národní muzeum, Praha); tento mikroskop byl použit také pro separaci jednotlivých fází pro další výzkum. Barevné mikrofotografie byly pořízeny pomocí mikroskopu Nikon SMZ 25 s digitální kamerou Nikon Digital Sight 10 za použití programu NIS Elements AR verze 4.20. Fotografie ve zpětně rozptýlených elektronech (BSE) byly pořízeny na scanovacím elektronovém mikroskopu Hitachi S3700-N (Národní muzeum).

Rentgenová prášková difrakční data byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance s polovodičovým pozičně citlivým detektorem LynxEye za užití Cu*K*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. Experimentální rentgenová prášková data byla indexována na základě teoretických záznamů vypočtených programem Lazy Pulverix (Yvon et al. 1977) z publikovaných

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

Chemické složení jednotlivých fází bylo semikvantitativně studováno pomocí energiově disperzního analyzátoru Bruker na elektronovém mikroanalyzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum Praha) při použití napětí 15 kV a proudu 10 nA.

Ramanova spektra byla pořízena za pomoci disperzního spektrometru DXR (Thermo Scientific) spojeného s konfokálním mikroskopem Olympus (Národní muzeum Praha). Podmínky měření: zvětšení objektivu 100×, použitý laser 532 nm (zhenruit) a 633 nm (alunogen), rozsah měření 50 - 4000 cm^{-1}, doba expozice 10 s, celkový počet expozic 100, výkon laseru 3 mW (zhenruit) a 8 mW (alunogen), apertura 25 μm pinhole. Reprezentativní spektrum bylo vybráno ze setu spekter měřených na různých krystalech/fragmentech pro získání nejlepšího odstupu signálu od pozadí a nejmenšího rozsahu fluorescence. Možné termické poškození měřených bodů sledované pomocí vizuální kontroly povrchu vzorku po měření a případných změn spektra v průběhu měření nebylo zjištěno. Spektrometr byl kalibrován pomocí softwarově řízené procedury s využitím emisních linií neonu (kalibrace vlnočtu), Ramanových pásů polystyrenu (kalibrace frekvence laseru) a standardizovaného zdroje bílého světla (kalibrace intenzity). Získaná spektra byla zpracována pomocí programu Omnic 9 (Thermo Scientific).

Charakteristika mineralizace

Zhenruit byl zjištěn v materiálu z křemen-aplitové žíly s molybdenitem, která byla ověřována směrnými překopy P-III-5 a 6 raženými ze štoly 5. května sz. a jv. směry v délce 300 m v rámci průzkumných prací na Mo-zrudnění (obr. 3). Její kovnatost, mocnost a úklon byly ověřovány pomocí příčných překůpků. Žíla má směr SZ - JV, úklon 45 - 80° k JZ, s tendencí mírného stáčení ve směru k severu, tj. v předpokládaném průběhu žulového pláště. Žíla má proměnlivou mocnost 10 - 55 cm (obr. 4). Křemen-aplitovou žílu tvoří od kontaktu mléčně bílý křemen, tmavý Li-biotit, střed vyplňuje jemnozrnný aplit, některé úseky žíly obsahují hrubozrnný ortoklas. Molybdenit v tenkých nerovných lupenech o velikosti do 8 cm zarůstá od kontaktů do křemene a aplitu. Za projevy greisenizace lze považovat výskyty lupínků Li-slídy v intergranulárách. Severozápadním směrem, v překopu P-III-5 A se žíla velmi ztenčuje, molybdenit se zcela vytrácí. Směrem na JV je žíla vysledovaná k čedičové žíle, dále již nebyla zjištěna (Tichý et al. 1987).

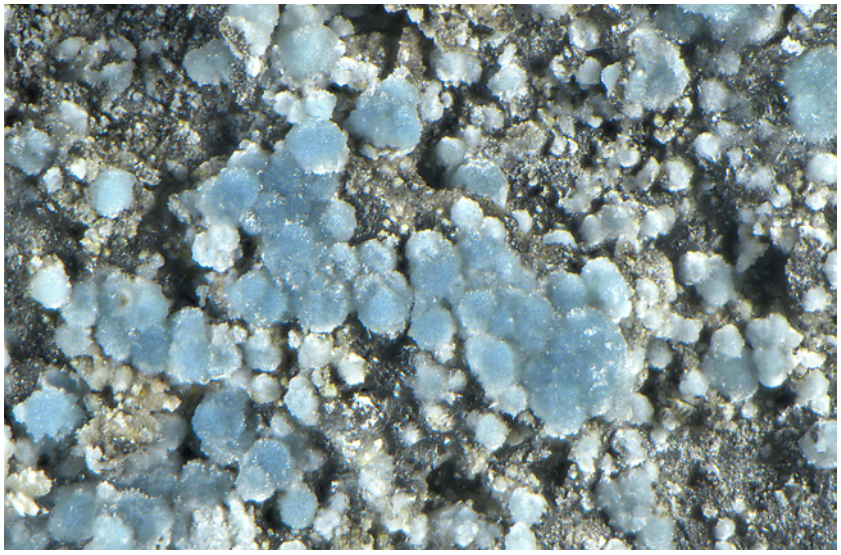
V některých partiích křemenné žiloviny se vytvořily v oxidačních podmínkách opuštěného důlního díla supergenní minerály Mo, které tvoří tenké nálety na křemeni či jsou vázány do intergranulár, konturující tak molybdenitové lupeny. K nejhojnějším patří recentně vzniklé jasně žluté povlaky ferrimolybditu tvořené jehličkovitými krystaly mikroskopických rozměrů (Sejkora et al. 1998). Dalším častým produktem supergenní přeměny molybdenitu jsou černé agregáty jordisitu, který vytváří směsi s kamiokitem v sericitizované hornině (Sejkora, Breiter 1999). Mikroskopickým studiem zdejšího kamiokitu se zabýval F. Veselovský, který identifikoval jeho mikroskopické krystaly o velikosti kolem 10 μm mezi lupeny molybdenitu (Pauliš et al. 2022). Spolu s těmito minerály se vyskytují sytě modré povlaky amorfního, ve vodě rozpustného ilsemannitu (Noha 1997). Na stěnách sledného překopu P-III-5 raženého po žíle sz. směrem byly zjištěny kulič-



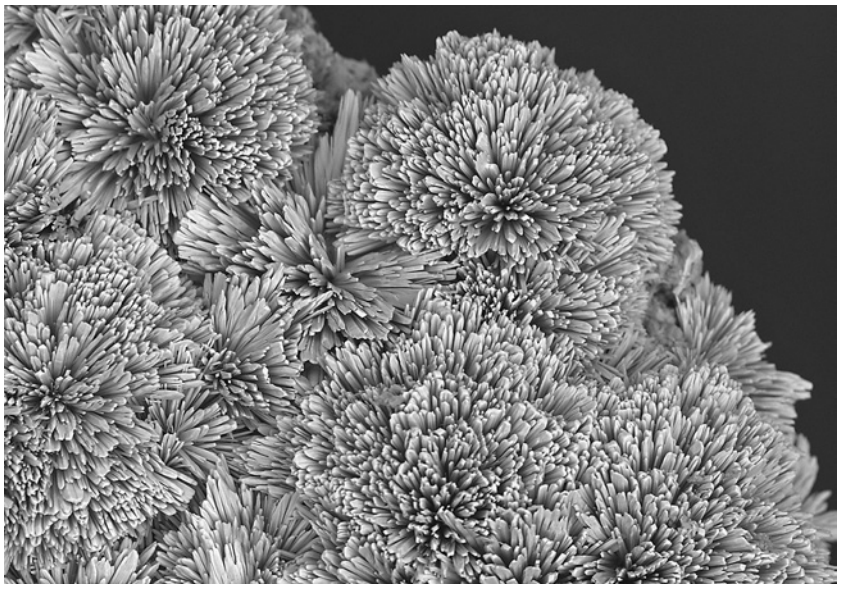
Obr. 4 *Charakteristický vzhled křemenné žíly s molybdenitem ve štole 5. květen ve Vrchoslavi, mocnost 50 cm, překop P-III-6, 2022, foto P. Pauliš (červen 2018).*



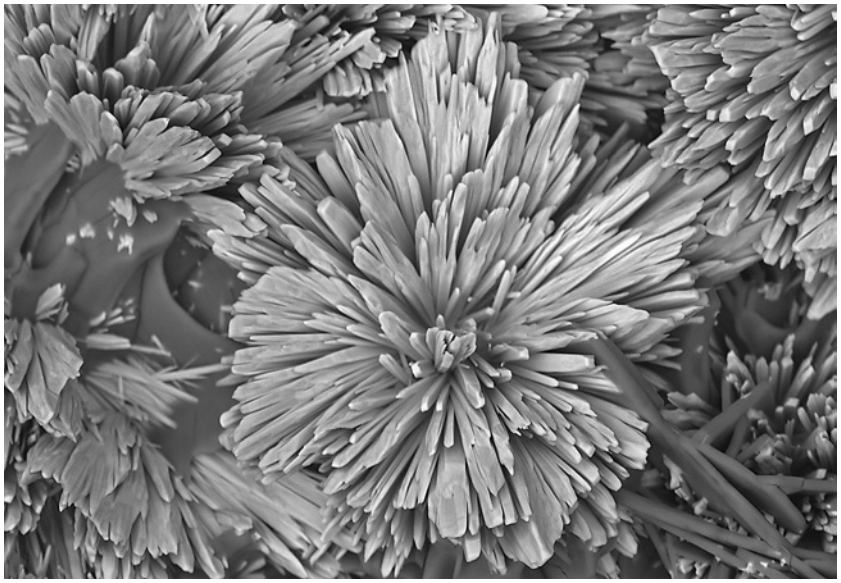
Obr. 5 *Nesouvislé bělavé až namodralé krystalické povlaky zhenruitu na křemenné žilovině ze štoly 5. květen ve Vrchoslavi. Foto J. Sejkora, šířka záběru 12 mm.*



Obr. 6 *Namodralé polokulovité krystalické agregáty zhenruitu ze štoly 5. květen ve Vrchoslavi. Foto J. Sejkora, šířka záběru 1.8 mm.*



Obr. 7 *Polokulovité agregáty zhenruitu tvořené radiálně uspořádanými prizmatickými krystaly, štola 5. květen ve Vrchoslavi. BSE foto J. Sejkora a L. Váchová, šířka záběru 320 μm.*



Obr. 8 *Krystalické agregáty zhenruitu tvořené vějířovitě až radiálně uspořádanými prizmatickými krystaly, štola 5. květen ve Vrchoslavi. BSE foto J. Sejkora a L. Váchová, šířka záběru 160 μm.*

kovité agregáty schröckingeritu (Števko et al. 2010). Na sledném překopu P-III-6, raženém jv. směrem po žíle o mocnosti 35 - 45 cm s hojnými až 10 cm velkými lupeny molybdenitu, cca 40 m od hlavního překopu - štoly 5. květen, byla zjištěna zajímavá mineralizace se supergenními minerály uranu iriginitem, chistyakovaitem a metazeuneritem doprovázené anglesitem a annabergitem (Pauliš et al. 2019). V oblasti této žíly byly zjištěny i supergenní baryt, devillin, erytrin, halotrichit, jarosit, sádrovec a serpierit (Pauliš et al. 2022).

Materiál se **zhenruitem** byl zjištěn v krátké odbočce u P-III-8, ražené směrně po žíle v délce několika metrů sv. směrem z překopu P-III-7, kde ve stropě vykliňuje křemenná žíla s molybdenitem. Molybdenit, který je v těchto místech částečně vtroušen i do okoložilné horniny, bývá přeměněn na černé práškovité agregáty jordisitu. Tento výskyt je lokalizován jen několik metrů od zjištěného výskytu supergenních minerálů uranu s iriginitem (Pauliš et al. 2019) (obr. 3). **Zhenruit** zde vytváří nesouvislé krystalické povlaky na ploše až několika cm^2 (obr. 5) na křemenné žilovině s jordisitem a molybdenitem, které jsou složeny ze srůstajících polokulovitých agregátů o velikosti do 0.2 mm (obr. 6). Tyto agregáty jsou složeny ze zploštělých jehlicovitých krystalů (obr. 7), radiálně nebo vějířovitě uspořádaných (obr. 8); délka jednotlivých krystalů se pohybuje do 0.1 mm a jejich průřez je obvykle kolem 2 × 5 μm. Krystaly zhenruitu jsou průsvitné až průhledné, bezbarvé až velmi světle namodralé, se skelným leskem; krystalické agregáty jsou pak neprůhledné, bělavé, světle nebo až pastelově modré; jejich modré zbarvení může být vyvoláno přítomností ilsemannitu.

Pozice difrakčních maxim v rentgenových práškových datech zhenruitu z Vrchoslavi (tab. 2) velmi dobře odpovídají údajům pro tento minerál z typové lokality (Gu et al. in prep) i teoretickému záznamu vypočtenému ze strukturních dat (Bénard et al. 1984); zřetelné rozdíly mezi pozo-

Tabulka 2 *Rentgenová prášková data zhenruitu z Vrchoslavi*

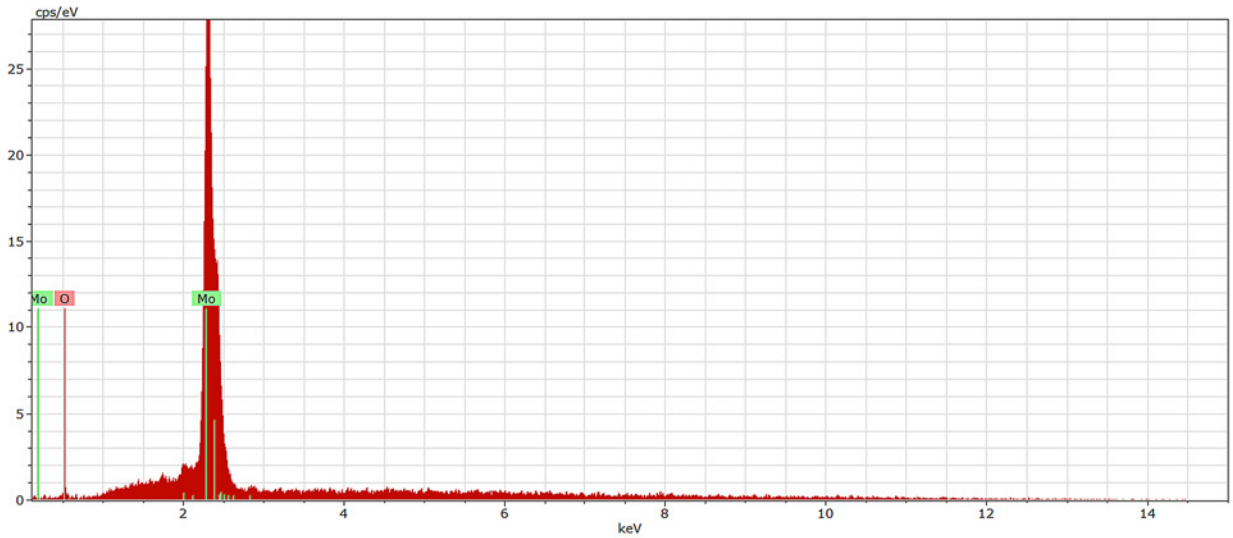
d_{obs}	I_{obs}	d_{calc}	h	k	l	d_{obs}	I_{obs}	d_{calc}	h	k	l	d_{obs}	I_{obs}	d_{calc}	h	k	l
9.469	1.4	9.454	1	0	0	2.3626	0.5	2.3635	4	0	0	1.7364	0.8	1.7364	0	0	4
6.954	100.0	6.946	0	0	1	2.3154	5.8	2.3152	0	0	3	1.7061	0.4	1.7063	2	1	3
5.103	6.6	5.098	1	0	1	2.2823	6.6	2.2822	-2	0	3	1.6989	0.8	1.6995	3	0	3
4.731	63.8	4.727	2	0	0	2.1843	1.1	2.1848	-4	0	2	1.6465	1.1	1.6461	1	0	4
3.568	30.1	3.567	2	0	1	2.1182	3.6	2.1180	3	0	2	1.6438	0.5	1.6440	2	2	1
3.474	22.3	3.473	0	0	2	2.1036	8.4	2.1037	4	0	1	1.6131	0.4	1.6133	-6	0	1
3.191	4.2	3.191	-1	1	1	1.9960	0.4	1.9963	-1	1	3	1.6022	0.6	1.6024	-1	1	4
3.151	7.3	3.151	3	0	0	1.9627	0.2	1.9634	0	1	3	1.5682	0.5	1.5674	-6	0	2
3.139	13.6	3.140	-2	0	2	1.9328	0.4	1.9329	-5	0	1	1.5272	1.8	1.5271	2	0	4
3.055	8.1	3.054	1	0	2	1.9221	1.6	1.9223	2	0	3	1.5045	0.4	1.5043	1	1	4
2.999	1.7	2.997	1	1	1	1.8906	3.3	1.8908	5	0	0	1.4788	0.6	1.4792	-6	1	1
2.913	0.2	2.916	2	1	0	1.8524	0.2	1.8525	0	2	0	1.4173	0.6	1.4179	-2	0	5
2.571	0.7	2.570	2	1	1	1.8302	0.5	1.8294	4	1	1	1.3904	0.2	1.3903	4	2	1
2.551	0.4	2.550	-1	1	2	1.8231	0.1	1.8223	-3	1	3						
2.400	1.7	2.400	3	1	0	1.7833	1.1	1.7836	4	0	2						

Tabulka 3 *Parametry základní cely zhenruitu (pro monoklinickou prostorovou grupu $P2_1/m$)*

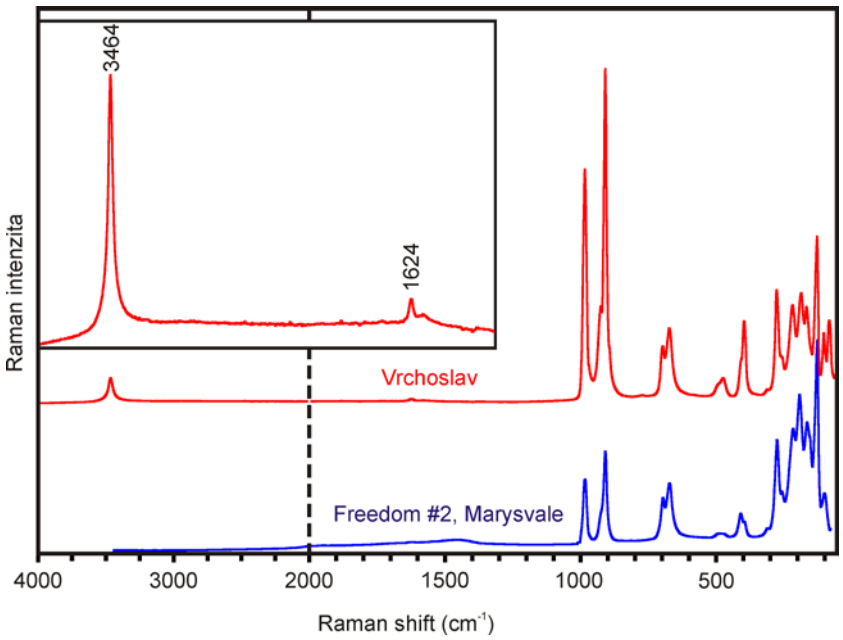
		a [Å]	b [Å]	c [Å]	β [°]	V [Å^3]
Vrchoslav	tato práce	9.6807(10)	3.7051(5)	7.1122(6)	102.425(10)	249.12(5)
Freedom #2 mine	Gu et al. (in prep)	9.6790(6)	3.70653(19)	7.1029(4)	102.391(5)	248.89(2)
synth.	Bénard et al. (1994)	9.6715(2)	3.70518(7)	7.0975(1)	102.403(1)	248.40(1)
synth.	Fellows et al. (1983)	9.658(4)	3.710(2)	7.087(3)	102.43(2)	248.0

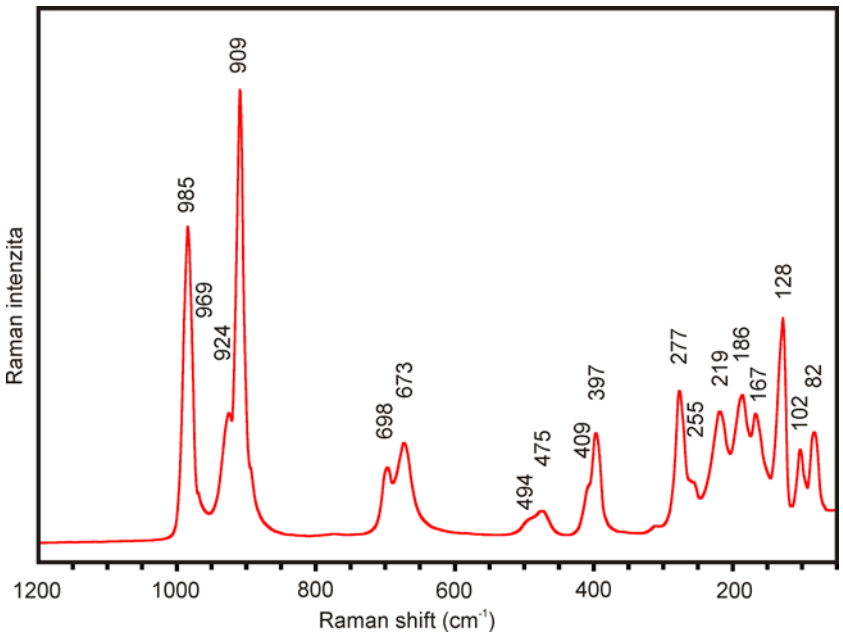
rovanými a teoretickými hodnotami intenzit jednotlivých difrakcí jsou pravděpodobně vyvolány minimálním množstvím materiálu pro experiment, přednostní orientací vyvolanou dokonalou štěpností a dalšími texturními efekty. Zpřesněné parametry základní cely zhenruitu z Vrchoslavi jsou v tabulce 3 porovnány s publikovanými údaji pro tuto minerální fázi. Chemické složení studovaného zhenruitu bylo semikvantitativně ověřeno pomocí energiově disperzní analýzy (obr. 9), zjištěny byly pouze obsahy Mo a O.

Experimentální Ramanovo spektrum zhenruitu z Vrchoslavi (obr. 10) velmi dobře odpovídá spektrům tohoto minerálu z typové lokality Freedom #2, Marysvale z databáze RRUFF (ID R220010, Lafuente et al. 2015) i publikace Gu et al. (in prep). Ramanovo spektrum zhenruitu se výrazně liší od spekter dalších minerálů známých v systému Mo-O-(H_2O) (Gu et al. in prep); od relativně nejvíce podobného spektra tianhuixinitu (hexagonální $MoO_3 \cdot 1/3H_2O$, Lunk et al. 2010; Moura et al. 2018; Gu et. in prep.) se odlišuje zejména přítomností dvou pásů v oblasti 700 - 670 cm^{-1} a komplexním charakterem spektra v oblasti pod 300 cm^{-1}. Ramanův pás s maximem u 3464 cm^{-1} (obr. 10) souvisí s valenčními vibracemi ν-OH v molekulách vody vázaných vodíkovými vazbami, délka vazby O-H···O 2.85 Å vypočtená podle experimentálního vztahu (Libowitzki 1999) je srovnatelná s hodnotami odvozenými ze studie krystalové struktury 2.71 - 3.04 Å (Bénard et al. 1994) a 2.92 - 3.16 Å (Gu et al. in prep).

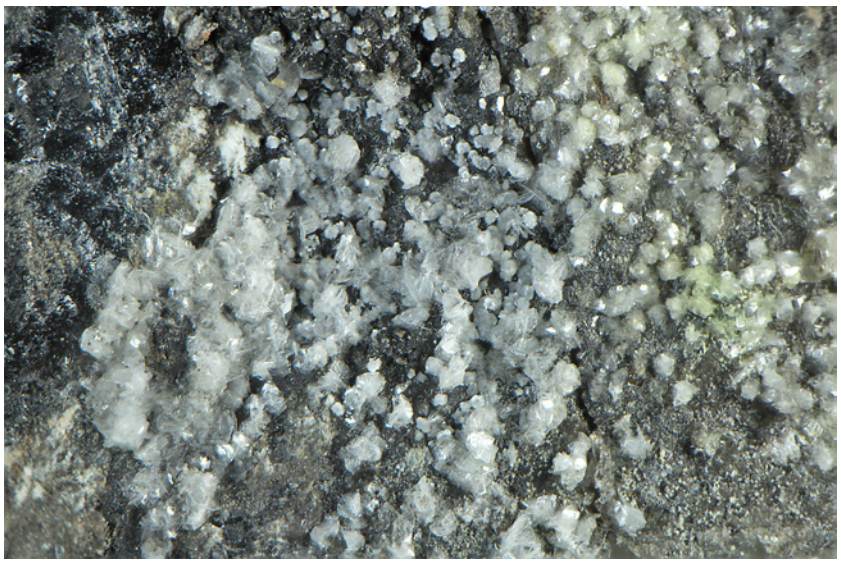


Obr. 9 *Energiově disperzní spektrum zhenruitu ze štoly 5. květen ve Vrchoslavi.*





Velmi slabý pás při 1624 cm^{-1} je projevem deformačních vibrací ν_2 molekul vody. V další oblasti Ramanova spektra (obr. 11) jsou dominantní zejména vibrace vazeb v Mo-oktaedrech; v krystalové struktuře zhenruitu (Bénard et al. 1997; Gu et al. in prep) byly zjištěny dvojité řetězce složené z výrazně deformovaných oktaedrů $Mo1O_6$ a $Mo_2O_5(H_2O)$, které střídavě spojeny sdílenými rohy tvoří vrstvy rovnoběžné s (001), které jsou pak propojeny vodíkovými vazbami podél [001]. Intenzívní pásy s maximy u 985 a 909 cm^{-1} a raménky u 969 a 924 cm^{-1} jsou spojeny se symetrickými a antisymetrickými valenčními vibracemi Mo-O vazeb. Přiřazení dvojice pásů u 698 a 673 cm^{-1} je otázkou, někteří autoři (Nazri, Julien 1992; Seguin et al. 1995) je spojují ještě s antisymetrickými valenčními vibracemi Mo-O vazeb, jiní (Lunk et al. 2010; Moura et al. 2018) spíše s deformačními vibracemi Mo-O vazeb a nelze ani vyloučit, že se může jednat o projev libračních módů vody, které se obvykle vyskytují v této oblasti (Čejka 1999). Méně intenzivní pásy u 475 a 397 cm^{-1} s raménky 494 a 409 cm^{-1} je možno přiřadit deformačním vibracím Mo-O vazeb v Mo-oktaedrech. Řadu pásů pod 300 cm^{-1} (277, 255, 219, 186, 167, 128, 102, 82 cm^{-1}) lze přiřadit rotačním a translačním módům Mo-oktaedrů a molekul vody, stejně jako vibračním módům krystalové mřížky.



Obr. 10 *Ramanovo spektrum zhenruitu z Vrchoslavi v rozsahu 50 - 4000 cm^{-1} v porovnání se spektrem zhenruitu z lokality Freedom #2, Marysvale z databáze RRUFF (ID R220010, Lafuente et al. 2015); ve vloženém detailu je zvýšena intenzita pásů v oblasti vibrací H_2O.*

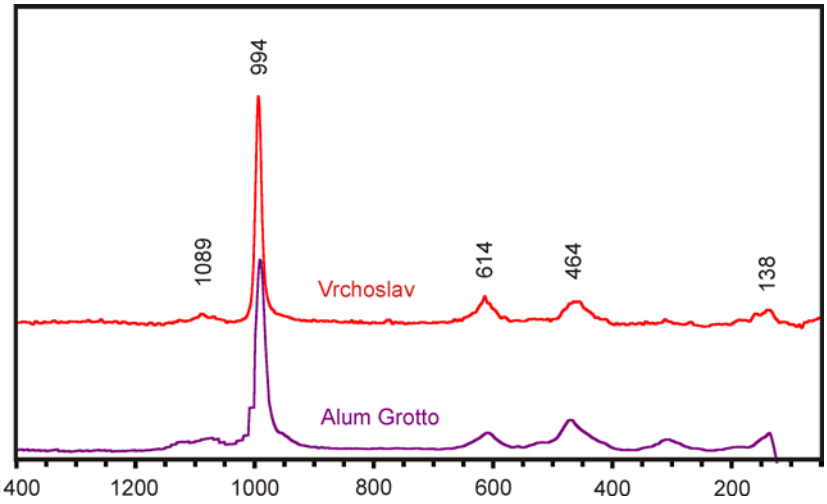
Obr. 11 *Ramanovo spektrum zhenruitu z Vrchoslavi v rozsahu 50 - 1200 cm^{-1}.*

Obr. 12 *Srostlice bílých krystalů alunogenu narůstajících na alterovanou žilovinu, štola 5. květen ve Vrchoslavi. Foto J. Sejkora, šířka záběru 7 mm.*

V blízké asociaci se zhenruitem byly zjištěny bílé krystalické agregáty **alunogenu** (obr. 12) o velikosti do 1 mm, složené z náhodně srůstajících tence tabulkovitých krystalů (obr. 13). Jednotlivé velmi křehké krystaly o velikosti do 200 μm a síle pouze 3 - 5 μm jsou průsvitné až průhledné a vykazují velmi intenzívní skelný lesk. Potvrzen byl na základě rentgenových práškových dat, které vykazují velmi dobrou shodu s publikovanými údaji i teoretickým záznamem vypočteným z krystalové struktury (Fang, Robinson 1976), zpřesněné parametry jeho základní cely, *a* 7.433(6), *b* 26.97(2), *c* 6.050(5) Å, α 89.93°, β 97.37(8)°, γ 91.59(6)° a *V* 1202(1.8) Å^3 odpovídají publikovaným hodnotám (Menchetti, Sabelli 1974; Fang, Robinson 1976). Jeho chemické složení bylo semikvantitativně ověřeno pomocí energiově disperzní analýzy, zjištěny byly podstatné obsahy Al, S a O a jen stopy Fe. Ramanovo spektrum alunogenu z Vrchoslavi odpovídá spektru tohoto minerálu z lokality Alum Grotto, Vulcano, Itálie (obr. 14) z databáze RRFUFF (ID R070601, Lafuente et al. 2015). Vzhledem k nižší kvalitě spektra (nízké absolutní Raman intenzity) nebyly pozorovány žádné pásy v oblasti 4000 - 1400 cm^{-1} a v oblasti nižších vlnočtů se projevují pouze pásy spojené s vibracemi vazeb v $(SO_4)^{2-}$ skupinách - antisymetrické ν_3 a symetrické ν_1 valenční vibrace u 1089 a 994 cm^{-1} a deformační ν_4 a ν_2 vibrace u 614 a 464 cm^{-1} (Nakamoto 2009; Čejka et al. 2011).



Obr. 13 *Srostlice bílých tence tabulkovitých krystalů alunogenu narůstajících na alterovanou žilovinu, štola 5. květen ve Vrchoslavi. Foto J. Sejkora, šířka záběru 1.6 mm.*



Obr. 14 *Ramanovo spektrum alunogenu z Vrchoslavi v rozsahu 50 - 1400 cm^{-1} v porovnání se spektrem alunogenu z lokality Alum Grotto, Vulcano, Itálie z databáze RRUFF (ID R070601, Lafuente et al. 2015).*

Závěr

V materiálu z křemen-aplitové žíly s molybdenitem odkrytém v překopu v opuštěné štole 5. květen ve Vrchoslavi byl v asociaci s alunogenem jednoznačně určen velmi vzácný hydratovaný Mo oxid - zhenruit. Tento výskyt je prvním potvrzeným nálezem tohoto teprve nedávno schváleného minerálu v České republice a třetím ve světovém měřítku. Vznik zhenruitu je vázán na (sub)recentní supergenní alteraci molybdenitu a zejména jordisitu v křemenné žilovině v podmínkách prostředí opuštěných důlních chodeb.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat dr. Xiangping Gu z Jiangxi Institute of Applied Science and Technology v Nanchangu (Čína) za poskytnutí rukopisu připravovaného popisu zhenruitu z typové lokality a ing. L. Váchové (Národní muzeum, Praha) za spolupráci při laboratorním výzkumu. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2024-2028/1.II.b, 00023272).

Literatura

Anthony JW, Bideaux RA, Bladh KW, Nichols MC (1997) Handbook of Mineralogy Vol. 3 - Halides, Hydroxides, Oxides. Mineral Data Publishing, Tucson, Arizona. p.1-682

Bénard P, Seguin L, Louer D, Figlarz M (1994) Structure of $MoO_3 \cdot 1/2H_2O$ by conventional X-ray powder diffraction. J Solid State Chem 108(1): 170-176

Burnham ChW (1962) Lattice constant refinement. Carnegie Inst Washington Year Book 61: 132-135

Čech F, Povondra P (1963) Přírodní výskyt kysličníku molybdenového, MoO_3, v Krupce (molybdit, nový minerál). Acta Univ Carol, Geol 1: 1-14.

Čejka J (1999) Infrared spectroscopy and thermal analysis of the uranyl minerals. Rev Mineral 38: 521-622

Čejka J, Sejkora J, Plášil J, Bahfenne S, Palmer SJ, Frost RL (2011) A vibrational spectroscopic study of hydrated Fe^{3+} hydroxyl-sulfates; polymorphic minerals butlerite and parabutlerite. Spectrochim Acta Part A: Mol Biomol Spectrosc 79(5): 1356-1363

Cesbron F, Ginderow D (1985) La sidwillite, $MoO_3 \cdot 2H_2O$; une nouvelle espèce minérale de Lake Como, Colorado, USA. Bull Minéral 108(6): 813-823

Fang JH, Robinson PD (1976) Alunogen, $Al_2(H_2O)_{12}(SO_4)_3 \cdot 5H_2O$; its atomic arrangement and water content. Am Mineral 61(3-4): 311-317

Fengl M (1995) Minerály těžených fluoritových ložisek v Čechách. Národní muzeum, 1-46. Praha

Fellows RL, Lloyd MH, Knight JF, Yakel HL (1983) X-ray diffraction and thermal analysis of molybdenum (VI) oxide hemihydrate: Monoclinic $MoO_3 \cdot 1/2H_2O$. Inorg Chem 22(17): 2468-2470

Gu X, Yang H, Scott MM (2022) Zhenruite, IMA 2022-050. CNMNC Newsletter 69; Mineral Mag 86, https://doi.org/10.1180/mgm.2022.115

Gu X, Gibbs R, Yang H (2023) Tianhuixinite, IMA 2022-081. CNMNC Newsletter 70, Mineral Mag 87, https://doi.org/10.1180/mgm.2022.135

Gu X, Yang H, Gibbs RB (in prep) Zhenruite, $(MoO_3)_2 \cdot H_2O$, and tianhuixinite, $(MoO_3)_3 \cdot H_2O$, two new minerals in the MoO_3 - $MoO_3 \cdot 2H_2O$ system. In preparation

Höfer H (1871) Ilsemannit, ein natürliches Molybdänsalz. Neu Jb Mineral, Geol, Palaont 1871: 566-570

Chrt J (1961) Fluorit-barytová ložiska v severních Čechách. Geol Průzk 3(6): 166-170

Chrt J (1996) Výskyty molybdenových rud v Krušných horách. Uhlí-rudy-geol průzk 12: 394-398

Kihlborg L (1963) Least squares refinement of the crystal structure of molybdenum trioxide. Arkiv Kemi 21: 357-364

Kruglova VG, Poteryaikina AA, Sidorenko GA, Dubakina LS, Ryabeva EG (1980) Tugarinovite, (MoO_2), a new hypogene molybdenum mineral. Zap Vseross Mineral Obsh 109: 465-468

Lafuente B, Downs RT, Yang H, Stone N (2015) The power of databases: the RRUFF project. In: Armbruster T, Danisi RM, eds, Highlights in Mineralogical Crystallography, Berlin, Germany, W. De Gruyter: 1-30

Libowitzky E (1999) Correlation of O-H stretching frequencies and O-H···O hydrogen bond lengths in minerals. Monat Chem 130: 1047-1059

Lunk HJ, Hartl H, Hartl MA, Fait MJ, Shenderovich IG, Feist M, Frisk TA, Daemen LL, Mauder D, Eckelt R, Gurinov AA (2010) "Hexagonal molybdenum trioxide" - known for 100 years and still a fount of new discoveries. Inorg Chem 49: 9400-9408

Menchetti S, Sabelli C (1974) Alunogen: Its structure and twinning. Tschermaks Mineral Petrogr Mitt 21(3): 164-178

Moura JVB, Silveira JV, da Silva Filho JG, Souza Filho AG, Luz-Lima C, Freire PTC (2018). Temperature-induced phase transition in h-MoO_3: Stability loss mechanism uncovered by Raman spectroscopy and DFT calculations. Vibrat Spectrosc 98: 98-104

Nakamoto K (2009) Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds Part A: Theory and applications in inorganic chemistry. John Wiley and Sons Inc. Hoboken, New Jersey

Nazri GA, Julien C (1992) Far-infrared and Raman studies of orthorhombic MoO_3 single crystal. Solid State Ionics 53: 376-382

Noha J (1997) Krupka. MS Ústí nad Labem.

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, Kopista J, Jebavá I (2012) Bariem bohatý kryptomelan z Vrchoslavi u Teplic. Minerál 20(3): 206-208

Pauliš P, Vrtiška L, Fuchs P, Adamovič J, Čejka J, Pour O, Dolníček Z, Malíková R (2019) Iriginit, chistyakovait a metazeunerit ze štoly 5. květen ve Vrchoslavi v Krušných horách (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 27(1): 136-147

Pauliš P, Dvořák Z, Babka K, Fuchs P (2022) Nerostné bohatství Krupky, Cínovce a Moldavy. Kuttna, Kutná Hora

Pauliš P, Sejkora J, Babka K, Škácha P (2025) Nejzajímavější mineralogická naleziště České republiky. Lokality typových minerálů. 1-549. Kuttna Kutná Hora

Reichmann F (1975) Fluoritové ložisko Vrchoslav okr. Teplice. Zprávy a Stud obl vlastivěd muzea Teplice 11: 1-16

Seguin L, Figlarz M, Cavagnat R, Lassègues JC (1995) Infrared and Raman spectra of MoO_3 molybdenum trioxides and $MoO_3 \cdot xH_2O$ molybdenum trioxide hydrates. Spectrochim Acta Part A: Mol Biomol Spectrosc 51(8): 1323-1344

Sejkora J, Breiter K (1999) Historický rudní revír Krupka, Krušné hory. Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 7: 29-45

Sejkora J, Radoň M (1997) Brochantit z fluoritového ložiska Vrchoslav (Krušné hory). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 4-5: 190-192

Sejkora J, Kotrlý M, Novotná M, Skála R (1998) Ferrimolybdit z opuštěné štoly 5. květen u Vrchoslavi, Krušné hory. Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 6: 225- 228

Škovíra J, Sejkora J, Kotrlý M (1999) Výskyt ryzí mědi a kupritu ve Vrchoslavi u Teplic. Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 7: 241

Štemprok M, Vejnar Z (1959) Zpráva o výzkumu fluorito-barytových ložisek v Krušných horách. Zpr o geol Výzk r 1957: 242-243

Ševko M, Bačík P, Ozdín D, Zeman M, Jonáš J (2010) Výskyt schröckingeritu na fluoritovém ložisku Vrchoslav v Krušných horách (Česká republika). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 18(2): 99-105

Tichý K a kolektiv (1981) Krupka IV. Surovina Sn-W. MS Geofond Praha

Tichý K a kolektiv (1987) Zpráva úkolu Krupka-Vrchoslav. Surovina molybden. MS Geofond Praha

Tichý K a kolektiv (1991) Závěrečná zpráva za štolu 5. květen. MS Geofond Praha

Trdlička Z, Kupka F (1958) Výskyt Cu-minerálů na lokalitě Vrchoslav u Krupky. Čas Mineral Geol 3:116-120

Yang H. Gu X, Sousa FX, Gibbs RB, McGlasson JA, Downs RT (2023a) Raydemarkite, the natural analogue of synthetic α-$MoO_3 \cdot H_2O$, from Cookes Peak, Luna County, New Mexico, USA. Can J Mineral Petrolog 61(1): 203-213

Yang H, Gu X, Gibbs RB, Downs RT (2023b) Virgilluethite: A new mineral and the natural analogue of synthetic β-$MoO_3 \cdot H_2O$, from Cookes Peak, Luna County, New Mexico, USA. Can J Mineral Petrolog 61(6): 1151-1162

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

www.mindat.org, přístup 18. září 2025 na adrese https://www.mindat.org/min-470404.html#autoanchor17