

Ferrarisit z dolu Barbora v jáchymovském rudním revíru (Česká republika)

Ferrarisite from the Barbora mine in the Jáchymov ore district (Czech Republic)

BOHUSLAV BUREŠ

Plevenská 3111, 143 00 Praha 4; e-mail: bohoslav.bures@seznam.cz

BUREŠ B (2025) Ferrarisit z dolu Barbora v jáchymovském rudním revíru (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 33(1): 128-134. ISSN 2570-7337

Abstract

Very rare hydrated calcium arsenate, mineral ferrarisite, was found in the area of corridor 30-32 (vein No. 32, III. level of the shaft Barbora) of the Jáchymov ore district, Krušné hory Mountains, Czech Republic. Ferrarisite occurs as colourless to greyish white crystalline aggregates up to 5 mm in size or crystalline aggregates formed by parallel arranged acicular crystals up to 1 mm in length. Associated minerals are annabergite, picropharmacolite, pharmacolite, rauenthalite and guérinite. Ferrarisite is triclinic, space group *P*-1, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 8.3000(10), *b* 6.7309(8), *c* 11.2129(12) Å, α 106.198(8)°, β 92.857(10)°, γ 99.183(9)° and *V* 590.90(12) Å³. Chemical analyses of ferrarisite correspond to the empirical formula $\text{Ca}_{4.99}(\text{AsO}_4)_{1.93}(\text{PO}_4)_{0.06}(\text{AsO}_3\text{OH})_{2.01} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ on the basis of As+P = 4 *apfu*. The origin of ferrarisite is interpreted as product of (sub)recent supergene alteration of primary arsenides in calcite gangue in environment of abandoned mine corridors.

Key words: ferrarisite, arsenates, supergene mineralization, X-ray powder data, unit-cell parameters, chemical composition, Barbora mine, Jáchymov ore district, Czech Republic

Obdrženo 16. 4. 2025; přijato 19. 6. 2025

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 až epitermálních fluid variského stáří (Ondruš et al. 2003a,b,d).

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 Ondruš et al. 1997a,b, 2003c,d; Hloušek et al. 2014; Škácha et al. 2019). Extrémně pestré jsou zde zejména supergenní minerální asociace vázané na (sub)recentní zvětrávání v prostředí opuštěných důlních chodeb (Ondruš et al. 1997a,b; Škácha et al. 2019). Jednou z nejrozšířenějších skupin recentně vznikajících supergenních minerálů jsou arsenáty obsahující Ca a Mg, jejichž vznik je spojen se zvětráváním ryzího arsenu a arsenidů (niklskutterudit, safflorit, löllingit apod.) na žilách s podstatným podílem karbonátové výplně (Škácha et al. 2019; Majzlan et al. 2021). Mezi těmito arsenáty jsou nejhodnější farmakolit a pikrofarmakolit, lokálně pak i rösslerit postupně dehydratující na brassit (Škácha et al. 2019), ostatní druhy jsou pak nepoměrně vzácnější. Klasickou oblastí výskytu těchto arsenátů je zejména oblast dolu Svornost, jsou ale známy i z oblasti dolu Plavno apod. (Škácha et al. 2019).

V posledních letech byla zjištěna na úrovni 3. patra jámy Barbora v severozápadní části revíru dříve neznámá (sub) recentní arsenátová mineralizace s výskytem velmi vzácného ferrarisitu, jehož popis je námětem tohoto příspěvku.

Charakteristika výskytu

Důlní pole jámy Barbora leží v severozápadní části jáchymovského rudního pole, východně od důlního pole jámy Východní Abertamy, s nímž je propojeno několika báňskými díly. Na jihu sousedí s důlním polem jámy Eva a propojení je provedeno na III. patře po žíle č. 13, na IV. patře slednou chodbou 34-31 a na V. patře slednou chodbou 39-51. S důlním polem Eliáš je propojeno na východě překopem VJz-III na III. patře, dvěma komíny z Eliáše po žíle č. 32 na VI. patře a překopem V-VIII na VIII. patře. Převážná část důlního pole je otevřena jámou Barbora I. Pouze žíla č. 17 je otevřena mělkou jámou Barbora II do úrovně štolového patra. Štola po žíle Čertovka je propojena s hlavní jámou a vychází na povrch asi 150 m jiv. od jámy. Žilný uzel Barbora-Eva byl v rámci jáchymovských dolů druhým nejvýznamnějším v produkci uranu (Kolektiv 1962).

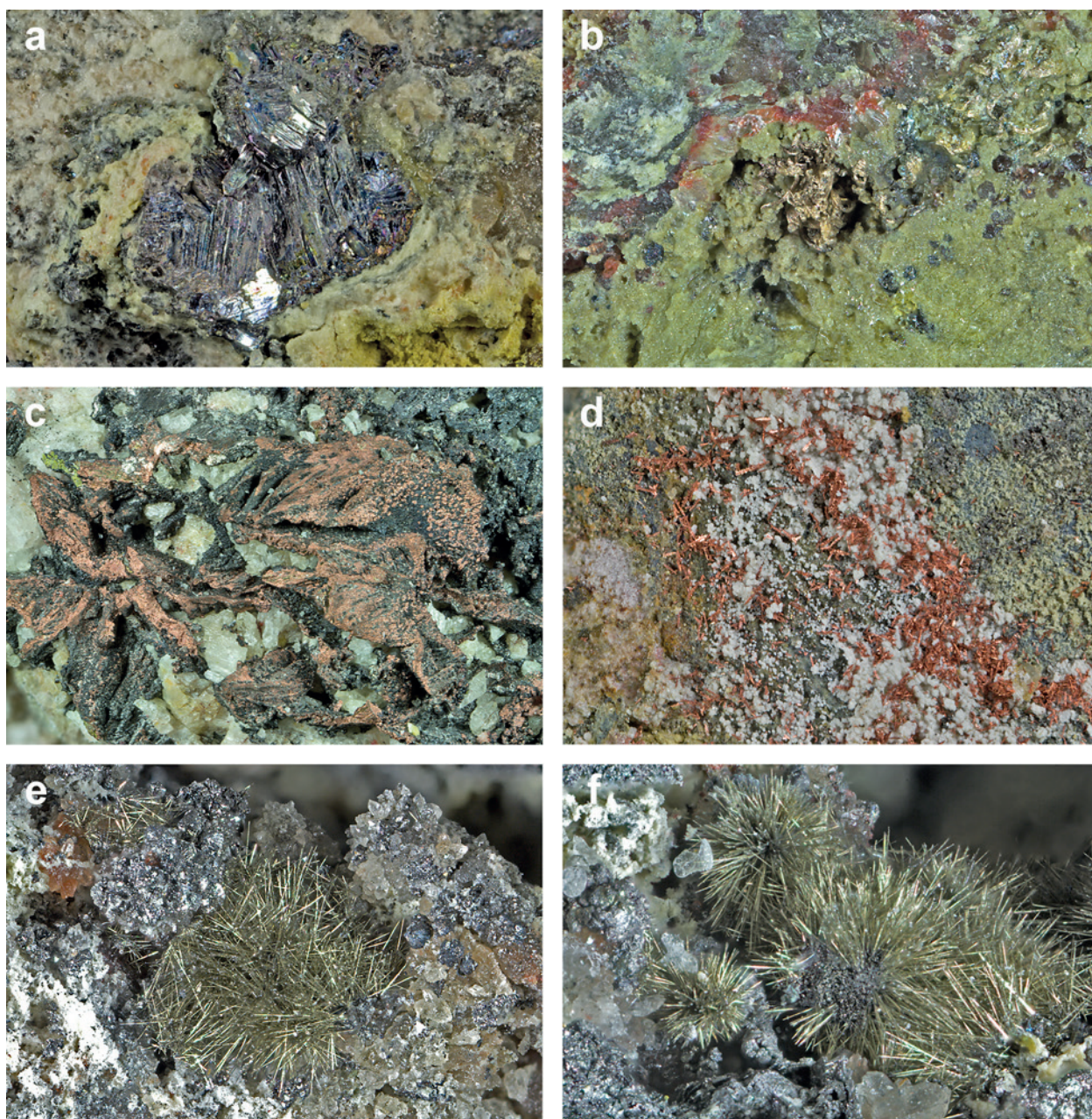
Při průzkumu III. patra jámy Barbora byla nalezena zajímavá mineralizace na chodbě 30-32 při křížení žíly Kůh s žílou č. 32. Žíla č. 32 probíhá ve východní části důlního pole velmi nestálým směrem od 350° do 35° s úklonem od 40° do 65° k Z. Průměrná mocnost žíly je cca 10 cm. Svým průběhem je tato žíla nejstálější ve středních částech, směrem k okrajům se třísť a postupně vyklíňuje. Její omezení tvoří na severu severozápadní struktura Arsamasov a na jihu velké porfyrové těleso na rozhraní

důlního pole Barbory a Evy, které tvoří přirozenou hranici mezi oběma doly. Ve výplni této žíly převládá mylonit s dislokačním jílem. Méně se vyskytuje dolomit a zcela nepatrně křemen. Rudní výplň vytváří uraninit, pouze místy uranová čern. Jak uvádějí starší zprávy, neaktivní polymetalické zrudnění zde ojediněle reprezentuje nikelin, bismut a galenit (Kolektiv 1962).

V blízkosti křížení žíly č. 32 se žílou Kůh bylo v počvě chodby nalezeno hloubení sledující žílu 32 těsně pod úrovní chodby 30-32 v délce několika metrů. Žíla má v této části mocnost až 20 cm a obsahuje navzájem se prorůstající niklskutterudit, safflorit, rammelsbergit, chalkopyrit, galenit, arzen a ryzí bismut, který zde vytváří charakteristické pérovité agregáty a zrna mosazné barvy o velikosti až několika centimetrů (obr. 1a). V nevelkých (do 1 cm) dutinách alterované žiloviny byly velmi vzácně

nalezeny drobné drátkovité agregáty ryzího Ag (obr. 1b), agregáty ryzí Cu (obr. 1c,d), akantit a millerit, který zde vytváří charakteristické shluky mosazně zbarvených jehlicovitých krystalů o velikosti do 2 mm (obr. 1e,f).

Zvětrávacími procesy na některých trhlinách v blízkosti vlastní žíly vznikla pestrá paleta supergenních arzenátů nazelenalé, narůžovělé, bílé až krémové barvy, které se navzájem prorůstají. Nejčastější jsou jablečně zelené povlaky a polokulovité agregáty annabergitu (obr. 2a), někdy s drobně krystalickým povrchem (obr. 2b), se kterým se často vyskytují povlaky růžových zemitéch až drobně krystalických agregátů minerálů řady köttigit - annabergit - hörnesit (obr. 2c). Dalším hojným arsenátem je zde parasymphesit, vytvářející na trhlinách i souvislé povlaky složené z drobných jehlicovitých krystalů šedomodré barvy (obr. 2d).



Obr. 1 Rudní minerály zjištěné v asociaci s ferrarisitem: a) zrna ryzího bismutu v žilovině, FOV (šířka záběru) 8 mm; b) drátkovité agregáty ryzího stříbra v alterované žilovině, FOV 4 mm; c) agregáty ryzí mědi v žilovině, FOV 7 mm; d) drátkovité agregáty ryzí mědi na alterované žilovině, FOV 5.6 mm; e) agregáty jehlicovitých krystalů milleritu, FOV 6.2 mm; f) agregáty tvořené radiálně uspořádanými krystaly milleritu, FOV 5.4 mm.

Farmakolit tvoří na plochách alterované žiloviny hojné, typické, čiré, bezbarvé, zploštělé jehlicovité krystaly (obr. 3a) obvykle v asociaci s annabergitem a dalšími Ca a Ca-Mg arsenáty. Pikrofarmakolit tvoří obvykle krystalické agregáty složené z radiálně uspořádaných, hedvábně bílých jehlicovitých krystalů (obr. 3b), vzácněji i netypické nažloutlé celistvé polokulovité agregáty o velikosti do 5 mm (obr. 3c).

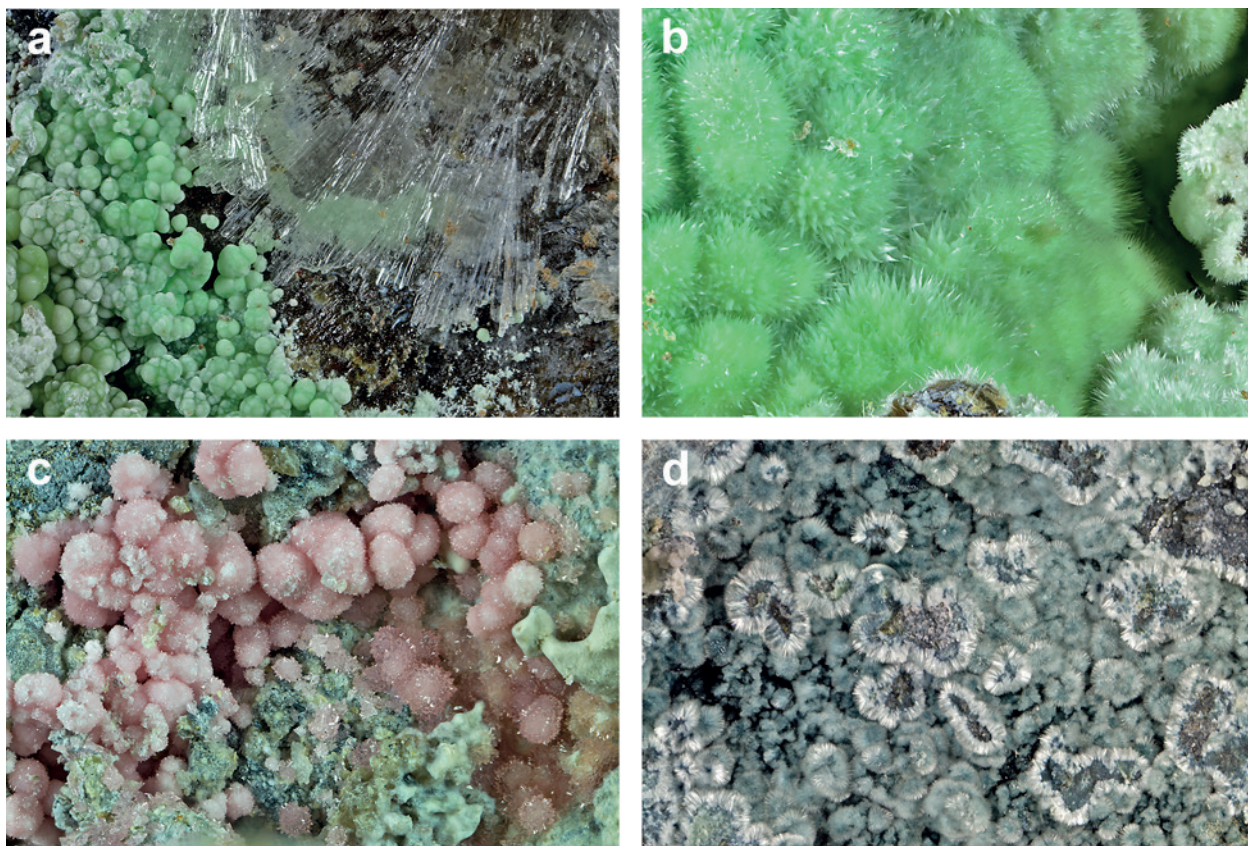
Dalším zde nalezeným arsenátem je guérinit, který vytváří charakteristické bezbarvé až velmi světle nažloutlé tabulkovité krystaly o velikosti do 3 mm, často s perleťovým leskem (obr. 3d), které se seskupují do typických růžicovitých agregátů na ploše až několika cm² (obr. 3e). Zdejší vzorky s guérinitem jsou kvalitativně srovnatelné se vzorky nalezenými v minulosti na lokalitě Zálesí v Rychlebských horách (Novák et al. 2004). Společně s guérinitem byl na několika vzorcích zjištěn výskyt bohatých krystalických agregátů vzácného rauenthalitu (obr. 3f), složených z radiálně uspořádaných, bezbarvých až bílých, charakteristicky zploštělých jehlicovitých krystalů (obr. 3g,h).

Ferrarisit byl ve studované asociaci zjištěn jen vzácně jako našedlé průsvitné krystalické agregáty o velikosti do 5 mm (obr. 4) se skelným až masným leskem, narůstající na alterovanou žilovinu v asociaci s guérinitem a zelenavým annabergitem. Ojediněle byl zjištěn i jako čiré až mírně našedlé krystalické agregáty tvořené paralelně srůstajícími jehlicovitými krystaly s hrotitým zakončením o délce do 1 mm (obr. 5). Agregáty a krystaly ferrarisitu jsou velmi křehké a dokonale štěpné podle {001}. V UV-záření nevykazuje fluorescenci.

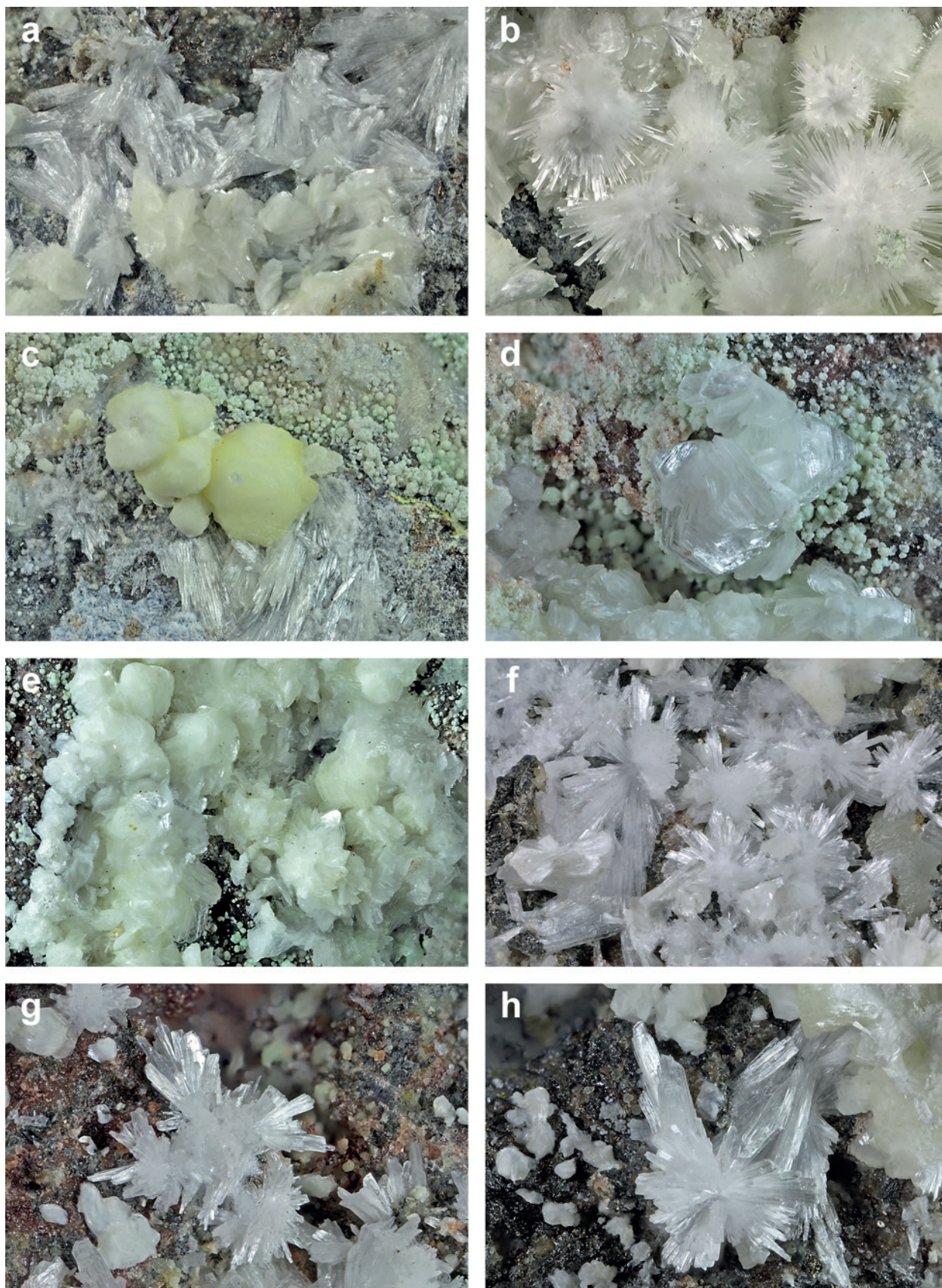
Rentgenové difrakční studium

Rentgenová prášková difrakční data byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance s polovodičovým pozičně citlivým detektorem LynxEye za užití CuK α záření (40 kV, 40 mA). Práškový preparát byl nanesen 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 publikované krystalové struktury ferrarisitu (Catti et al. 1980), parametry základní cely byly následně zpřesněny pomocí programu Burnham (1962).

Rentgenová prášková data ferrarisitu (tab. 1) dobře odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury publikované v práci Catti et al. (1980); pozorované intenzity difrakčních maxim jsou zřetelně ovlivněny přednostní orientací preparátu a dalšími texturními efekty. Zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 2 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerální druh. Známky postupné dehydratace nastávající při dlouhodobém uložení ferrarisitu v suchém prostředí při pokojové teplotě (Bari et al. 1980; Catti, Ivaldi 1981; Bureš 2024) nebyly ve studovaném materiálu zjištěny.



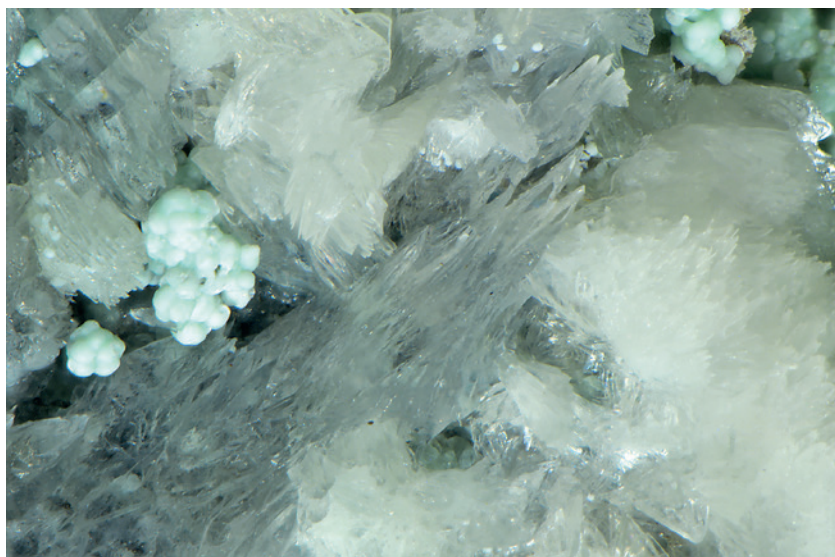
Obr. 2 Supergenní minerály zjištěné v asociaci s ferrarisitem: a) polokulovité agregáty světle zeleného annabergitu s čirými krystaly farmakolitu, FOV 7.5 mm; b) agregáty annabergitu s krystalickým povrchem, FOV 4.8 mm; c) narůžovělé krystalické agregáty minerálu řady köttigit - annabergit - hörnesit, FOV 6.5 mm; d) šedomodré drobné jehličkovité povlaky parasymphesitu, FOV 4.2 mm.



Obr. 3 Supergenní Ca a Ca-Mg arsenáty zjištěné v asociaci s ferrarisitem: a) jehlicovité bílé krystaly farmakolitu v asociaci se světle nažloutlým guérinitem, FOV 7.2 mm; b) radiálně uspořádané jehlicovité krystaly pikrofarmakolitu, FOV 7 mm; c) netypické nažloutlé polokulovité agregáty pikrofarmakolitu v asociaci s čirými krystaly rauenthalitu, FOV 7.5 mm; d) srostlice bílých tabulkovitých krystalů guérinitu, FOV 5.8 mm; e) nažloutlé růžicovité agregáty guérinitu, FOV 6.8 mm; f) bílé krystalické agregáty rauenthalitu, FOV 6.5 mm; g) radiálně uspořádané zploštělé jehlicovité krystaly rauenthalitu, FOV 5.8 mm; h) radiálně uspořádané zploštělé jehlicovité krystaly rauenthalitu v asociaci s nažloutlým guérinitem, FOV 5.8 mm.



Obr. 4 Našedlé průsvitné krystalické agregáty ferrarisitu s mladšími tabulkovitými krystaly guérinitu, FOV 5 mm.



Obr. 5 Bezbarvé až čiré krystalické agregáty ferrarisitu tvořené paralelně srůstajícími jehlicovitými krystaly v asociaci s tabulkovitým guérinitem a polokulovitými světle zelenými agregáty annabergitu, FOV 2 mm.

Tabulka 1 Rentgenová prášková data ferrarisitu z Jáchymova

$d_{\text{obs.}}$	$I_{\text{obs.}}$	$d_{\text{calc.}}$	h	k	l	$d_{\text{obs.}}$	$I_{\text{obs.}}$	$d_{\text{calc.}}$	h	k	l	$d_{\text{obs.}}$	$I_{\text{obs.}}$	$d_{\text{calc.}}$	h	k	l
10.734	100.0	10.714	0	0	1	3.082	4.5	3.082	1	-2	2	2.1184	0.9	2.1181	-1	2	3
6.363	4.1	6.357	0	1	0	2.878	4.4	2.878	2	1	1	2.0088	0.5	2.0087	-3	2	2
5.318	2.5	5.326	1	-1	1	2.844	2.7	2.845	-1	2	1	1.9760	0.6	1.9758	2	-3	3
4.880	6.0	4.879	0	1	1	2.838	2.7	2.839	-1	-2	2	1.9508	1.0	1.9508	1	-3	4
4.736	3.4	4.732	-1	-1	1	2.830	5.7	2.830	-2	0	3	1.9183	1.1	1.9183	3	-1	4
4.694	1.3	4.697	-1	0	2	2.697	1.9	2.698	2	-1	3	1.8841	0.7	1.8834	-1	1	5
4.080	3.5	4.076	2	0	0	2.623	1.4	2.623	-1	0	4	1.8740	1.3	1.8751	-4	-1	1
3.691	1.4	3.690	2	0	1	2.616	1.7	2.615	3	-1	1	1.8665	1.5	1.8664	0	-1	6
3.639	1.5	3.635	2	-1	1	2.607	2.5	2.607	1	-1	4	1.8485	0.9	1.8489	3	-3	2
3.571	21.3	3.571	0	0	3	2.597	2.4	2.597	-1	-2	3	1.8401	1.9	1.8402	1	3	1
3.413	2.2	3.412	-2	0	2	2.531	0.7	2.531	1	2	1	1.8294	5.2	1.8298	-1	2	4
3.322	3.6	3.322	0	-2	1	2.518	0.5	2.519	1	1	3	1.7739	1.4	1.7739	1	-3	5
3.289	3.1	3.290	1	-1	3	2.501	2.7	2.501	2	1	2	1.6989	2.0	1.6989	4	0	3
3.199	1.2	3.197	2	-1	2	2.3970	2.0	2.3963	-2	-2	1	1.6919	3.6	1.6919	1	3	2
3.162	6.1	3.161	-1	2	0	2.2451	0.9	2.2456	0	1	4	1.5997	1.1	1.5996	-3	-3	2
3.112	2.5	3.112	1	1	2	2.1986	0.4	2.1988	3	-2	2						

Tabulka 2 Parametry základní cely ferrarisitu (pro triklinickou prostorovou grupu P-1)

	Jáchymov	Zálesí	St. Marie-aux-Mines
	tato práce	Bureš (2024)	Catti et al. (1980)
<i>a</i> [Å]	8.3000(10)	8.2918(16)	8.294(4)
<i>b</i> [Å]	6.7309(8)	6.7217(13)	6.722(3)
<i>c</i> [Å]	11.2129(12)	11.190(2)	11.198(4)
α [°]	106.198(8)	106.206(14)	106.16(4)
β [°]	92.857(10)	92.923(16)	92.94(4)
γ [°]	99.183(9)	99.166(15)	99.20(4)
<i>V</i> [Å ³]	590.90(12)	588.2(2)	588.9

Tabulka 3 Chemické složení ferrarisitu z Jáchymova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8
CaO	31.82	32.01	30.84	31.83	31.77	32.06	31.62	31.97	32.44
As ₂ O ₅	51.46	52.60	49.77	51.21	51.47	52.12	51.36	51.03	52.08
P ₂ O ₅	0.48	0.13	0.32	0.32	0.41	0.56	0.58	0.67	0.82
H ₂ O*	20.48	20.76	19.66	20.18	20.44	20.87	20.59	20.37	20.98
total	104.23	105.50	100.59	103.54	104.09	105.61	104.15	104.04	106.32
Ca	4.994	4.968	5.027	5.044	4.995	4.956	4.956	5.028	4.979
AsO ₃ OH	2.012	2.063	1.946	1.912	2.010	2.088	2.088	1.943	2.042
AsO ₄	1.929	1.921	2.013	2.048	1.939	1.843	1.840	1.974	1.858
PO ₄	0.059	0.016	0.041	0.040	0.051	0.068	0.072	0.083	0.099
H ₂ O	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Mean - průměr osmi bodových analýz, koeficienty empirického vzorce počítány na bázi As+P = 4 *apfu*; H₂O* - dopočítaný obsah na základě vyrovnání náboje a teoretického obsahu 9 H₂O ve ferrarisitu.

Studium chemického složení

Chemické složení ferrarisitu bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 za podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 8 nA, průměr svazku 5 µm, standardy a použité vlnové délky: fluorapatit (CaK α , PK α), a klinoklas (AsL α). Obsahy ostatních kvantitativně měřených prvků (Al, Ba, Cl, Co, Cr, Cu, F, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, S, Sb, Si, Sr, Ti, V, W, Zn) byly pod mezí detekce přístroje (cca 0.03 - 0.05 hm. %). Získaná data byla korigována za použití algoritmu PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Chemické složení studované fáze je jednoduché a velmi dobře odpovídá stechiometrii ideálního vzorce, vedle Ca a As byly zjištěny jen minoritní obsahy P v aniontu do 0.10 *apfu*. Vyšší sumy chemických analýz po doplnění teoretického obsahu H₂O (100.59 - 106.32 hm.%) naznačují částečnou dehydrataci vzorku ve vakuu komory elektronového mikroanalýzátoru, podobný jev byl zjištěn i v případě výskytu tohoto minerálu na ložisku Zálesí (Bureš 2024). Empirický vzorec ferrarisitu z Jáchymova (průměr 8 bodových analýz) lze na bázi As+P = 4 *apfu* vyjádřit jako Ca_{4.99}(AsO₄)_{1.93}(PO₄)_{0.06}(AsO₃OH)_{2.01}·9H₂O.

Závěr

V materiálu z III. patra jámy Barbora v severozápadní části jáchymovského rudního revíru byl v asociaci s annbergitem, pikrofarmakolitem, farmakolitem a guérinitem jednoznačně určen velmi vzácný Ca arsenát - ferrarisit. Jeho výskyt je po Zálesí v Rychlebských horách (Bureš 2024) druhým potvrzeným nálezem v České republice. Vznik asociace arsenátů s ferrarisitem je vázán na (sub) recentní zvětrávání arsenidů vtroušených v karbonátové žilovině v podmínkách opuštěných důlních chodeb.

Poděkování

Milou povinností autora je poděkovat kolegům z České geologické služby, Fyzikálního ústavu AVČR, Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity a Národního muzea za pomoc při laboratorním zpracování studovaného materiálu.

Literatura

- BARI H, PERMINGEAT F, PIERROT R, VALENTA K (1980) La ferrarisite Ca₅H₂(AsO₄)₄·9 H₂O, une nouvelle espèce minérale dimorphe de la guérinite. Bull Minéral 103(5): 533-540
- BUREŠ B (2024) Ferrarisit z uranového ložiska Zálesí u Javorníka v Rychlebských horách (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 32(1): 19-22
- BURNHAM CHW (1962) Lattice constant refinement. Carnegie Inst Washington Year Book 61: 132-135
- CATTI M, IVALDI G (1981) Mechanism of the reaction Ca₅H₂(AsO₄)₄·9H₂O (ferrarisite) → Ca₅H₂(AsO₄)₄·5H₂O (dimorph of vladimirite), and structure of the latter phase. Zeit Kristall 157(1-2): 119-130
- CATTI M, CHIARI G, FERRARIS G (1980) The structure of ferrarisite, Ca₅(HAsO₄)₂(AsO₄)₂·9H₂O, disorder, hydrogen bonding and polymorphism with guérinite. Bull Minéral 103(5): 541-546
- 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: 155-181
- KOLEKTIV (1962) Závěrečná zpráva šachty Barbora, surovina: barevné kovy. MS, Geologický průzkum, n.p. Praha, úsek Jáchymov, P14470, str. 5-21

- 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
- NOVÁK F, PAULIŠ P, HYKŠ J, BUREŠ B, ADAM M (2004) Guerinít a farmakolít z uranového ložiska Zálesí u Javorníka ve Slezsku. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 12: 140-142
- 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
- ONDRUŠ P, VESELOVSKÝ F, HLOUŠEK J, SKÁLA R, FRÝDA J, ČEJKA J, GABAŠOVÁ A (1997a) Secondary minerals of the Jáchymov (Joachimsthal) ore district. *J Czech Geol Soc* 42: 3-76
- ONDRUŠ P, VESELOVSKÝ F, SKÁLA R, CÍSAŘOVÁ I, HLOUŠEK J, FRÝDA J, VAVŘÍN I, ČEJKA J, GABAŠOVÁ A (1997b) New naturally occurring phases of secondary origin from Jáchymov (Joachimsthal). *J Czech Geol Soc* 42: 77-107
- ONDRUŠ P, VESELOVSKÝ F, GABAŠOVÁ A, DRÁBEK M, DOBEŠ P, MALÝ K, HLOUŠEK J, SEJKORA J (2003a) Ore-forming processes and mineral parageneses of the Jáchymov ore district. *J Czech Geol Soc* 48: 157-192
- ONDRUŠ P, VESELOVSKÝ F, GABAŠOVÁ A, HLOUŠEK J, ŠREIN V (2003b) 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 (2003c) 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 (2003d) Primary minerals of the Jáchymov ore district. *J Czech Geol Soc* 48: 19-147
- POUCHOU JL, PICHOT F (1985) "PAP" (φρZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (ARMSTRONG JT, ed.). San Francisco Press, San Francisco: 104-106
- ŠKÁCHA P, PLÁŠIL J, HORÁK V (2019) Jáchymov: mineralogická perla Krušnohoří. Academia, Praha 682 s.
- 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