

Paratacamit z jáchymovského rudního revíru (Česká republika) a jeho asociace

Paratacamite from the Jáchymov ore district (Czech Republic) and its association

KAREL BABKA

Jeseniova 1470/182, 130 00, Praha 3; e-mail: babka.karel@gmail.com

BABKA K (2024) Paratacamit z jáchymovského rudního revíru (Česká republika) a jeho asociace. Bull Mineral Petrolog 32(1): 124-130 ISSN 2570-7337

Abstract

An interesting mineral association of paratacamite, nantokite, cuprite and an unnamed NaCuCl-arsenate was found at sample from the Jáchymov ore district (probably 12th level of the Geschieber vein, Svornost mine), Krušné hory Mountains, Czech Republic. Paratacamite occurs as light greenish-blue to whitish green irregular aggregates up to 2 mm in size. It is trigonal, space group *R*-3, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 13.656(8), *c* 14.042(11) Å and *V* 2268(2) Å³; its chemical analyses correspond to the empirical formula Cu_{3.00}(Cu_{0.56}Ni_{0.38}Co_{0.03}Ca_{0.03}Σ_{1.00}Cl_{1.91}(OH)_{6.09}) on the basis of 4 cations *apfu*. Nantokite forms aggregates up to 200 μm in size replacing earlier native copper. It is cubic, space group *F*-43*m*, the unit-cell parameter refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 5.4164(12) Å and *V* 158.90(11) Å³; its chemical analyses correspond to the empirical formula Cu_{1.00}Cl_{1.00} on the basis of 2 *apfu*. Cuprite was identified only by X-ray powder diffraction data, it is cubic, space group *Pn*3*m* with unit-cell parameter *a* 4.2736(4) Å and *V* 78.08(2) Å³. An unnamed NaCuCl-arsenate occurs as lavender-like blue crusts with an area of up to 5 × 8 mm on altered rock or earlier paratacamite. The crusts are composed of hemispherical aggregates up to 0.2 mm in size with a very finely crystalline surface. Its X-ray powder diffraction pattern (*d*(Å)/*I*_{obs}: 12.808/100, 4.944/25, 3.114/16, 2.738/17, 2.516/20) does not correspond to any approved mineral species. The chemical composition of NaCuCl-arsenate is close to ideal formula NaCu₅(AsO₄)₂(AsO₃OH)₂Cl·3H₂O and its empirical formula based on As+P+Si+S = 4 *apfu* is Na_{1.07}Ca_{0.24}(Cu_{4.70}Ni_{0.27}Co_{0.02}Zn_{0.01}Mn_{0.01}Σ_{5.01}(AsO₄)_{4/2.00}[(AsO₃OH)_{1.73}(AsO₄)_{0.13}(SiO₄)_{0.08}(SO₄)_{0.04}(PO₄)_{0.02}Σ_{2.00}Cl_{1.26}·3H₂O. The origin of the described mineral association is connected with (sub)recent weathering of native copper in quartz veinlets in altered granite rocks.

Key words: paratacamite, nantokite, unnamed NaCu₅(AsO₄)₂(AsO₃OH)₂Cl·3H₂O, supergene mineralization, X-ray powder data, unit-cell parameters, chemical composition, Jáchymov ore district, Czech Republic

Obdrženo 5. 8. 2024; přijato 29. 11. 2024

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 kambriického až ordovického stáří v kontaktní aureole variských granitoidů. Většina primárních rudních minerálů vznikla z mezotermálních až epitermálních 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, Hloušek et al. 2014, Škácha et al. 2019). V poslední době byl výzkum soustředěn zejména na supergenní minerální fáze vznikající sub-recentně v podmínkách opuštěných důlních děl (např. Kampf et al. 2017, 2020; Plášil et al. 2015a-c, 2017a-c, 2020; Škácha et al. 2014; Olds et al. 2017, 2018; Sejkora et al. 2018, 2023; Sejkora, Čejka 2019; Sejkora, Bureš 2020; Steciuk et al. 2021, 2024; Sejkora, Plášil 2024), ale publikovány byly i práce zaměřené na minerály a asocia-

ce vznikající v supergenní zóně *in-situ* (Plášil et al. 2014, 2018; Sejkora et al. 2011, 2024; Roll et al. 2024). Tento příspěvek je zaměřen na z jáchymovského revíru dříve neznámou asociaci Cu halogenidů a arsenátů zjištěnou na vzorku pocházejícím pravděpodobně z okolí žíly Geschieber na 12. patře dolu Svornost v centrální části revíru.

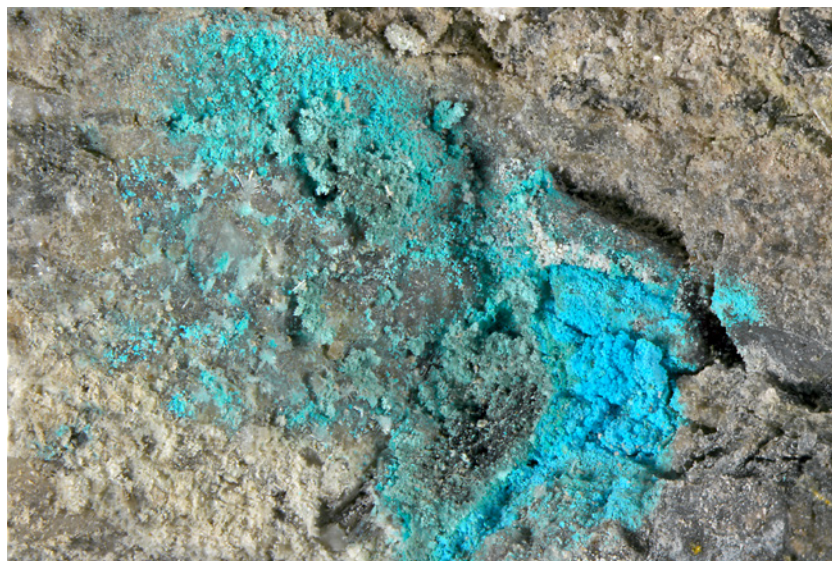
Charakteristika výskytu

Paratacamit v asociaci s dalšími minerály včetně ryzí Cu byl zjištěn na vzorku původně pocházejícím ze sběrů J. Hlouška, jako lokalizace vzorku byl uveden pouze Jáchymov bez dalších podrobností. Výskytu cementační Cu jsou v jáchymovském rudném revíru uváděny ze žíly Geister a ze žilného křemene žíly Geschieber (Ondruš et al. 1997). Vzhledem k tomu, že je horninová podložka představována silně hydrotermálně a následně supergenně alterovanou granitoidní horninou s lokální křemenou žilkou o mocnosti do 1 cm, je vysoce pravděpodobný jeho původ z okolí žíly Geschieber na 12. patře dolu Svornost v centrální části jáchymovského rudního revíru (P. Škácha, ústní sdělení).

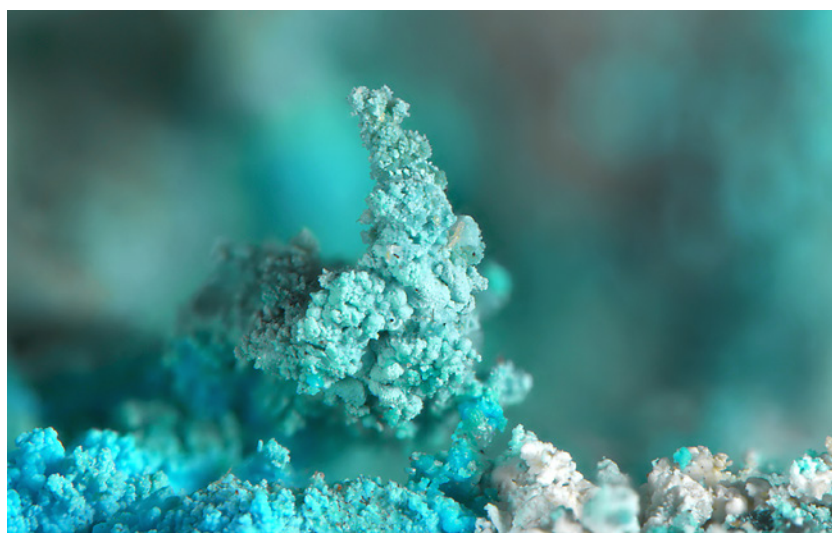
Geschieber je jednou z nejznámějších a v minulosti nejvíce dobývaných žil revíru. Má přibližně severo-jihní směr a patří tedy mezi tzv. půlnoční žíly, na které byla vázána většina polymetalického zrudnění. Historicky tedy byla od povrchu intenzivně dobývána a byla částečně vydobyta až po nehlubší, 12. patro. Uranové zrudnění bylo v případě žíly Geschieber takřka výlučně vázané na její odžilky. Po objevu vydatných radioaktivních pramenů v roce 1864, z nichž některé jsou vázány na poruchové pásmo žíly Geschieber, byl další postup pod 12. patro zastaven. Na tomto patře byl také poblíž Josefské šachty zjištěn kontakt s podložními granitoidy. U a Ni-Co zrudnění nicméně v různé intenzitě pokračuje i v granitoidech, což bylo ověřeno vrtem 100 m hlubokým pod úroveň 12. patra (Škácha et al. 2019). 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). Významné rudní sloupce se nejčastěji soustředily okolo křížení s žilami východo-západního směru, tzv. jitrními žilami. Vzorek pravděpodobně pochází z oblasti vrtu HG1, kde byla v prostředí granitoidů zjištěna bohatá asociace recentně vznikajících supergenních minerálů (Ondruš et al. 1997).

Metodika výzkumu

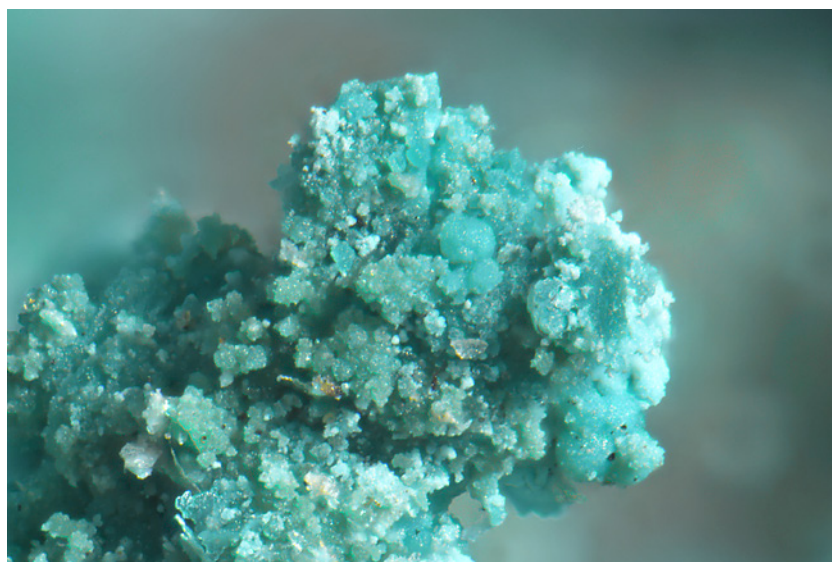
Rentgenová prášková difrakční data studovaných minerálů byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance s polovodičovým pozičně citlivým detektorem LynxEye za užití CuK α záření (40 kV, 40 mA). Práškové preparáty byly naneseny v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku 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 vyhodno-



Obr. 1 Celkový pohled na minerály studované asociace vystupující na povrchu a v trhlinách silně alterované granitoidní horniny, zelenomodré agregáty paratacamitu zatlačující starší nantokit a ryzí Cu a mladší jasně modré agregáty nepojmenovaného NaCuCl-arsenátu. Šířka záběru 22.4 mm.



Obr. 2 Nepravidelné až kostrovité, světle modrozelené agregáty paratacamitu narůstající na alterovanou horninu v asociaci s modrým nepojmenovaným NaCuCl-arsenátem. Šířka záběru 3.5 mm.

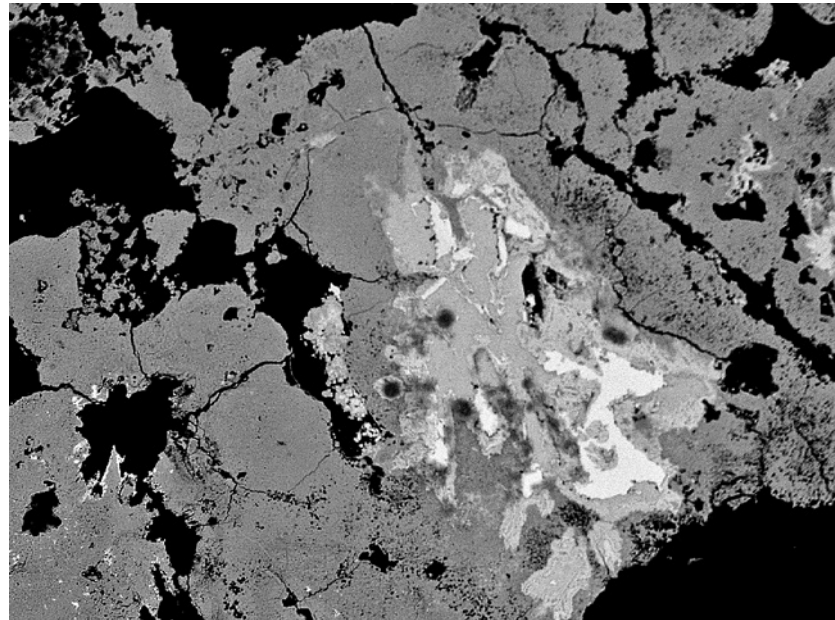


Obr. 3 Nepravidelné, světle modrozelené agregáty paratacamitu s drobně polokulovitým povrchem. Šířka záběru 1 mm.

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

Chemické složení bylo kvantitativně studováno po-

mocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 za těchto podmínek: WD analýza, 15 kV, 5 nA, průměr svazku elektronů 5 μm , použité standardy: albit (NaK α), Bi (BiM α), baryt (BaL α), celestin (SK α , SrL β), Co (CoK α), diopsid (MgK α), fluorapatit (CaK α , PK α), halit (ClK α), hematit (FeK α), chalkopyrit (CuK α), klinoklas (AsL α), LiF (FK α), Ni (NiK α), rodonit (MnK α), sanidín (AlK α , SiK α , KK α), Sb₂S₃ (SbL α), vanadinit (VK α), wulfenit (PbM α ,



MoL α), YVO₄ (YL α) a ZnO (ZnK α)
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 algoritmu PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Obr. 4 Relikty ryzí Cu (bílá) zatlačované nantokitem (světle šedý) a obrůstané paratacamitem (tmavě šedý). BSE foto, šířka záběru 800 μm .

Tabulka 1 Chemické složení paratacamitu z Jáchymova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7
CaO	0.44	0.67	0.24	0.34	0.53	0.16	0.47	0.64
CuO	67.16	65.55	69.68	67.11	65.91	69.62	64.80	67.44
CoO	0.46	0.60	0.31	0.42	0.61	0.31	0.47	0.49
NiO	6.72	8.40	4.47	6.49	8.15	4.58	7.98	6.99
MnO	0.10	0.14	0.09	0.15	0.08	0.14	0.00	0.09
Cl	16.11	15.62	15.51	15.56	15.99	15.94	16.57	17.59
H ₂ O*	13.01	13.30	13.09	13.06	13.16	12.99	12.66	12.84
O=Cl	-3.63	-3.52	-3.50	-3.51	-3.61	-3.60	-3.74	-3.97
total	100.36	100.75	99.90	99.61	100.82	100.14	99.21	102.11
Ca	0.033	0.050	0.018	0.025	0.039	0.012	0.036	0.048
Cu	3.556	3.439	3.706	3.574	3.466	3.702	3.481	3.530
Co	0.026	0.034	0.017	0.024	0.034	0.017	0.027	0.027
Ni	0.379	0.469	0.253	0.368	0.456	0.259	0.456	0.389
Mn	0.006	0.008	0.006	0.009	0.005	0.009	0.000	0.005
Cl	1.914	1.838	1.850	1.859	1.886	1.902	1.997	2.065
OH	6.086	6.162	6.150	6.141	6.114	6.098	6.003	5.935

Mean - průměr sedmi bodových analýz, koeficienty empirického vzorce počítány na bázi sumy kationtů = 4 *apfu*; H₂O* - dopočítaný obsah na základě vyrovnání náboje.

Tabulka 2 Rentgenová prášková data paratacamitu z Jáchymova

<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.}	<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>
5.4670	55	5.4498	0	2	1	2.3420	4	2.3404	0	0	6	1.5110	22	1.5094	0	4	8
4.6829	2	4.6808	0	0	3	2.2662	86	2.2615	4	0	4	1.4902	4	1.4929	2	4	7
3.0242	12	3.0187	0	2	4	2.0382	6	2.0363	0	4	5	1.4902	3	1.4929	-2	6	7
2.8940	7	2.8932	4	0	1	1.9010	2	1.8997	0	2	7	1.3782	8	1.3791	8	-4	6
2.7627	100	2.7583	4	-2	3	1.8136	33	1.8166	6	0	3	1.3782	8	1.3791	4	4	6
2.7257	4	2.7249	0	4	2	1.7103	18	1.7070	4	4	0	1.3626	3	1.3624	0	8	4

Výsledky

Studovaná minerální asociace vytváří nápadně zbarvené, nesoudržné agregáty na povrchu a v trhlinách silně alterované granitoidní horniny a vystupuje na ploše cca 2 × 2 cm (obr. 1), v menší míře pak byla pozorována i na dalších místech vzorku.

Paratacamit vytváří světle zelenomodré až bělavě zelené rozpadavé, nepravidelné až kostrovitě vyvinuté agregáty o velikosti do 2 mm (obr. 2) narůstající na alterovanou horninu. Část agregátů je zřetelně složena z polokulovitých útvarů o velikosti do 0.1 - 0.2 mm (obr. 3). Paratacamit zřetelně obrůstá starší nantokit, který zatlačuje reliktů ryzí Cu (obr. 4).

Při studiu chemického složení paratacamitu byly zjištěny vedle Cu a Cl i minoritní obsahy Ni v rozmezí 0.25 - 0.47 *apfu* (tab. 1). Zastoupení prvků jako je Zn, Ni nebo Mg je nezbytné pro stabilizaci krystalové struktury paratacamitu (Braithwaite et al.

2004); v případě že obsahy Ni nebo Mg převýší hranici 0.5 *apfu*, tak složení již odpovídá minerálům paratacamitu-(Ni) $\text{Cu}_3(\text{Ni,Cu})\text{Cl}_2(\text{OH})_6$ (Sciberras et al. 2013) nebo paratacamitu-(Mg) $\text{Cu}_3(\text{Mg,Cu})\text{Cl}_2(\text{OH})_6$ (Kampf et al. 2013). Empirický vzorec studovaného paratacamitu (průměr 7 bodových analýz) lze na bázi sumy 4 kationtů *apfu* vyjádřit jako $\text{Cu}_{3.00}(\text{Cu}_{0.56}\text{Ni}_{0.38}\text{Co}_{0.03}\text{Ca}_{0.03})_{\Sigma 1.00}\text{Cl}_{1.91}(\text{OH})_{6.09}$. Rentgenová prášková data paratacamitu (tab. 2) dobře odpovídají publikovaným údajům (Braithwaite et al. 2004) i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struk-



Obr. 5 Nápadně modré krusty nepojmenovaného NaCuCl -arsenátu narůstající na alterovanou horninu. Šířka záběru 4.2 mm.

Tabulka 3 Parametry základní cely paratacamitu z Jáchymova (pro trigonální prostorovou grupu R-3)

	Jáchymov tato práce	Generosa mine Fleet (1975)	synt. Braithwaite et al. (2004)
<i>a</i> [Å]	13.656(8)	13.654(5)	13.659(8)
<i>c</i> [Å]	14.042(11)	14.041(6)	14.048(7)
<i>V</i> [Å ³]	2268(2)	2267	2272

Tabulka 4 Chemické složení nantokitu z Jáchymova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8
Cu	65.13	65.09	66.15	65.47	65.04	65.35	64.83	64.13	65.01
Ni	0.08	0.09	0.00	0.08	0.00	0.10	0.11	0.06	0.18
Cl	36.07	36.47	34.77	36.12	36.34	36.50	35.68	36.11	36.57
total	101.28	101.65	100.92	101.67	101.38	101.95	100.62	100.31	101.76
Cu	1.003	0.997	1.030	1.005	0.999	0.999	1.006	0.995	0.994
Ni	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.002	0.001	0.003
Cl	0.996	1.001	0.970	0.994	1.001	1.000	0.992	1.004	1.003

Mean - průměr osmi bodových analýz, koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 2 *apfu*.

Tabulka 5 Parametry základní cely nantokitu a kupritu

	kubický <i>F-43m</i>	<i>a</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
nantokit			
Jáchymov	tato práce	5.4164(12)	158.90(11)
synt.	Hull, Keen (1994)	5.4202(2)	159.236(3)
synt.	Wyckoff (1963)	5.4057	157.96
synt.	Wyckoff, Posnjak (1922)	5.501	166.5
kuprit	kubický <i>Pn3m</i>		
Jáchymov	tato práce	4.2736(4)	78.05(2)
synt.	Kirfel, Eichhorn (1990)	4.2685(5)	77.773
synt.	Hafner, Nagel (1983)	4.2696	77.83

tury (Fleet 1975). Zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 3 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerální druh.

Agregáty paratacamitu obrůstají reliktů ryzí Cu intenzivně zatlačované **nantokitem** (obr. 4), který vytváří agregáty o velikosti do 200 μm . Chemické složení nantokitu (tab. 4) je velmi jednoduché, vedle Cu a Cl bylo zjištěno jen stopové zastoupení Ni nepřevyšující 0.003 *apfu*. Empirický vzorec nantokitu (průměr osmi bodových analýz) vypočtený na bázi 2 *apfu* je $\text{Cu}_{1.00}\text{Cl}_{1.00}$. Nantokit byl ověřen i pomocí rentgenových práškových dat, hlavní zjiště-

ná maxima dobře odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi a záznamu vypočtenému z krystalové struktury (Hull, Keen 1994), zpřesněné parametry jeho základní cely jsou v tabulce 5 porovnány s publikovanými údaji. Jako příměs ve studovaném materiálu byl pomocí rentgenových práškových dat zjištěn i **kuprit**, jehož přítomnost v asociaci není překvapivá. Zjištěná difrakční maxima odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury (Kirfel, Eichhorn 1990), zpřesněné parametry jeho základní cely jsou v tabulce 5 porovnány s publikovanými údaji.

Tabulka 6 Chemické složení nepojmenovaného NaCuCl-arsenátu z Jáchymova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Na ₂ O	3.30	2.26	3.36	2.67	3.03	3.33	2.76	2.93	4.05	3.87	4.16	3.84
CaO	1.35	1.21	1.10	2.15	1.82	1.20	2.20	0.81	1.65	1.25	0.73	0.76
CuO	37.10	38.26	37.84	36.90	37.51	36.76	36.34	37.40	37.14	35.42	37.34	37.23
CoO	0.16	0.15	0.13	0.04	0.13	0.20	0.13	0.13	0.17	0.27	0.19	0.20
NiO	2.02	2.03	2.05	1.81	1.83	2.06	1.84	2.13	1.95	2.49	1.83	2.15
MnO	0.04	0.07	0.09	0.08	0.00	0.07	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
ZnO	0.06	0.05	0.00	0.09	0.16	0.00	0.07	0.00	0.14	0.08	0.00	0.04
SiO ₂	0.51	0.11	0.91	0.45	0.75	0.52	0.44	0.00	0.93	0.67	0.45	0.38
As ₂ O ₅	43.99	44.99	45.12	44.51	44.47	44.45	43.24	43.65	44.30	42.64	43.38	43.18
P ₂ O ₅	0.12	0.28	0.18	0.05	0.16	0.16	0.12	0.05	0.09	0.02	0.13	0.08
SO ₃	0.31	0.83	0.22	0.19	0.24	0.15	0.29	0.43	0.17	0.30	0.39	0.24
Cl	4.44	4.78	4.42	4.38	4.42	4.33	4.37	4.59	4.61	4.25	4.46	4.27
H ₂ O*	6.92	7.40	7.53	6.98	7.14	7.12	6.66	6.63	7.02	6.57	6.65	6.39
O=Cl	-1.00	-1.08	-1.00	-0.99	-1.00	-0.98	-0.99	-1.04	-1.04	-0.96	-1.01	-0.96
total	99.32	101.34	101.95	99.31	100.67	99.37	97.55	97.72	101.18	96.87	98.70	97.85
Na	1.072	0.716	1.050	0.866	0.966	1.076	0.916	0.980	1.293	1.293	1.371	1.283
Ca	0.243	0.212	0.190	0.385	0.321	0.214	0.404	0.150	0.291	0.231	0.133	0.140
Cu	4.701	4.720	4.607	4.664	4.661	4.626	4.699	4.873	4.619	4.612	4.794	4.848
Co	0.021	0.020	0.017	0.005	0.017	0.027	0.018	0.018	0.022	0.037	0.026	0.028
Ni	0.272	0.267	0.266	0.244	0.242	0.276	0.253	0.296	0.258	0.345	0.250	0.298
Mn	0.006	0.010	0.012	0.011	0.000	0.010	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
Zn	0.007	0.006	0.000	0.011	0.019	0.000	0.009	0.000	0.017	0.010	0.000	0.005
Σ	5.007	5.022	4.902	4.935	4.939	4.939	4.990	5.187	4.916	5.004	5.070	5.186
SiO ₄	0.086	0.018	0.147	0.075	0.123	0.087	0.075	0.000	0.153	0.115	0.076	0.066
AsO ₄	2.120	1.785	1.708	2.107	1.986	1.963	2.268	2.304	2.103	2.288	2.320	2.546
AsO ₃ OH	1.738	2.057	2.094	1.786	1.839	1.909	1.602	1.633	1.711	1.554	1.535	1.346
P ₂ O ₅	0.017	0.039	0.025	0.007	0.022	0.023	0.017	0.007	0.013	0.003	0.019	0.012
SO ₃	0.039	0.102	0.027	0.024	0.030	0.019	0.037	0.056	0.021	0.039	0.050	0.031
Σ	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Cl	1.263	1.323	1.207	1.242	1.232	1.223	1.268	1.342	1.286	1.242	1.285	1.247
H ₂ O	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Mean - průměr 11 bodových analýz, koeficienty empirického vzorce počítány na bázi As+Si+P+S = 4 *apfu*; H₂O* - do počítaný obsah na základě vyrovnání náboje a možného zastoupení 3 molekul H₂O.

Tabulka 7 Rentgenová prášková data NaCuCl-arsenátu z Jáchymova

Jáchymov		Grube Clara*		Jáchymov		Grube Clara*		Jáchymov		Grube Clara*	
<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}
12.808	100	13.150	100	2.979	9	3.020	5	1.7782	11		
7.101	13	7.050	5	2.819	4	2.840	20	1.7632	4	1.769	20
		6.190	10	2.769	8			1.6740	4	1.675	5
5.024	5			2.738	17	2.720	30	1.6289	3	1.649	5
4.944	25	4.940	50	2.516	20	2.580	5	1.5770	1		
4.345	7	4.370	30	2.4835	2	2.480	10	1.5441	3		
3.557	3					2.120	10	1.4213	3		
3.114	16	3.130	50	1.9717	5						

* nepojmenový minerál (Walenta 2000)

Druhou velmi hojnou fází na studovaném vzorku jsou jasně modré (barva připomínající lavendulan) krusty nepojmenovaného **NaCuCl-arsenátu** o ploše až 5 × 8 mm narůstající na alterovanou horninu (obr. 5) nebo starší paratacamit. Povrch krust je místy tvořen srůstajícími polokulovitými agregáty o velikosti do 0.2 mm s velmi jemně krystalickým povrchem.

Při studiu chemického složení této fáze (tab. 6) byly zjištěny obsahy Na kolem 1 *apfu* (0.72 - 1.37 *apfu*) doprovázené jen minoritním zastoupením Ca (průměr 0.24, rozmezí 0.13 - 0.40 *apfu*); Cu s obsahy kolem 4.70 *apfu* (4.61 - 4.87 *apfu*) je doprovázena minoritním Ni (průměr 0.27, rozmezí 0.24 - 0.35 *apfu*) a stopami Co, Zn a Mg (kolem 0.01 - 0.02 *apfu*). V aniontové části vzorce je převládající As (3.80 - 3.94 *apfu*) doprovázen Si (do 0.15 *apfu*), S (do 0.10 *apfu*) a P (do 0.04 *apfu*). Vyrovnání náboje vyžaduje protonování dvou arsenátových skupin; množství molekul vody dopočtené do 100 hm. % na základě průměrné analýzy vychází na cca 3 H₂O, ale tento údaj je samozřejmě silně spekulativní, protože bezvodá suma analýzy hydratovaných minerálů na EPMA je mnohdy více funkcí použitého proudu a průměru elektronového svazku než faktického obsahu vody v minerálu. Výše uvedená interpretace chemických analýz vede k ideálnímu vzorci NaCu₅(AsO₄)₂(AsO₃OH)₂Cl·3H₂O a empirickému vzorci Na_{1.07}Ca_{0.24}(Cu_{4.70}Ni_{0.27}Co_{0.02}Zn_{0.01}Mn_{0.01})_{5.01}(AsO₄)_{2.00}[(AsO₃OH)_{1.73}(AsO₄)_{0.13}(SiO₄)_{0.08}(SO₄)_{0.04}(PO₄)_{0.02}]_{5.2.00}Cl_{1.26}·3H₂O (průměr 11 analýz, báze přepočtu As+P+Si+S = 4 *apfu*). Zjištěné chemické složení se od minerálů skupiny lavendulanu odlišuje deficitem Ca, stechiometrie mahnertitu je zřetelně odlišná a proti minerálům blízkým richelsdorfitu nebyly zjištěny ani stopové obsahy Sb. Rentgenová prášková data této fáze nevykazují shodu s žádným platným minerálním druhem, charakter záznamu se částečně blíží richelsdorfitu (Süsse, Tillmann 1987; Walenta, Dunn 1988), který ale na rozdíl od studovaného minerálu vykazuje podstatné obsahy antimonu. Naměřená data se nejvíce blíží (tab. 7) neindexovanému záznamu publikovanému Walentou (2000) pro nepojmenovaný minerál z lokality Grube Clara, Schwarzwald (SRN), pro jehož chemické složení je uváděn obsah Ca, Cu, As, Cl a minoritní zastoupení Si, K a S.

Závěr

V materiálu z jáchymovského rudního revíru (pravděpodobně oblast žíly Geschieber na 12. patře dolu Svornost) byla zjištěna neobvyklá asociace, kde je ryzí Cu (pravděpodobně cementačního původu) intenzivně (sub)recentně supergenně alterována za vzniku nantokitu, kupritu, paratacamitu a nepojmenovaného nového NaCuCl-arsenátu s ideálním vzorcem NaCu₅(AsO₄)₂(AsO₃OH)₂Cl·3H₂O. Výskyty paratacamitu, nantokitu a nepojmenovaného NaCuCl-arsenátu jsou prvními potvrzenými nálezy těchto minerálních fází nejen v jáchymovském rudním revíru, ale i celé České republice. Chlor nezbytný pro vznik studované asociace pravděpodobně pochází z granitoidních hornin intenzivně alterovaných termálními prameny, které také vykazují minoritní obsahy Cl.

Poděkování

Milou povinností autora je poděkovat kolegům z Hornického muzea Příbram, Vysoké školy chemicko-technologické (Praha) a Národního muzea (Praha) za informace a pomoc při laboratorním zpracování studovaného materiálu.

Literatura

- BRAITHWAITE RSW, MEREITER K, PAAR WH, CLARK AM (2004) Herbertsmithite, Cu₃Zn(OH)₆Cl₂, a new species, and the definition of paratacamite. *Mineral Mag* 68(3): 527-539
- BURNHAM CHW (1962) Lattice constant refinement. *Carnegie Inst Washington Year Book* 61: 132-135
- FLEET ME (1975) The crystal structure of paratacamite, Cu₂(OH)₃Cl. *Acta Cryst B* 31(1): 183-187
- HAFNER SS, NAGEL S (1983) The electric field gradient at the position of copper in Cu₂O and electronic charge density analysis by means of K-factors. *Phys Chem Mineral* 9(1): 19-22
- 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
- HULL S, KEEN DA (1994) High-pressure polymorphism of the copper(I) halides: A neutron-diffraction study to ~ 10 GPa. *Phys Rev B* 50(9): 5868
- KAMPF AR, SCIBERRAS MJ, LEVERETT P, WILLIAMS PA, MALCHEREK T, SCHLÜTER J, WELCH MD, DINI M, MOLINA DONOSO AA (2013) Paratacamite-(Mg), Cu₃(Mg,-Cu)Cl₂(OH)₆; a new substituted basic copper chloride mineral from Camerones, Chile. *Mineral Mag* 77(8): 3113-3124
- KAMPF AR, SEJKORA J, WITZKE T, PLÁŠIL J, ČEJKA J, NASH BP, MARTY J (2017) Rietveldite, Fe(UO₂)₂(SO₄)₂(H₂O)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
- KAMPF AR, COOPER MA, NASH BP, MARTY J, ADAMS PM, PLÁŠIL J, SEJKORA J (2020) Fulbrightite, the arsenate analog of sincosite. *Can Mineral* 58(5): 663-671
- KIRFEL A, EICHORN K (1990) Accurate structure analysis with synchrotron radiation. The electron density in Al₂O₃ and Cu₂O. *Acta Cryst A* 46(4): 271-284
- OLDS TA, PLÁŠIL J, KAMPF AR, SIMONETTI A, SADERGASKI LR, CHEN YS, BURNS PC (2017) Ewingite: Earth's most complex mineral. *Geology* 45(11): 1007-1010
- OLDS TA, PLÁŠIL J, KAMPF AR, DAL BO F, BURNS PC (2018) Paddlewheelite, a new uranyl carbonate from the Jáchymov district, Bohemia, Czech Republic. *Minerals* 8(11): 511
- 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, 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

- PLÁŠIL J, HLOUŠEK J, KASATKIN AV (2014) Pozoruhodný výskyt metaťujamunitu 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, CÍSAŘOVÁ I, NĚMEC I, EDEROVÁ J (2017a) Línkite, $\text{K}_2\text{Ca}_3[(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, 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, PAVLÍČEK 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
- PLÁŠIL J, KAMPF AR, OLDS TA, SEJKORA J, ŠKODA R, BURNS PC, ČEJKA J (2020) The new K, Pb-bearing uranyl-oxide mineral kroupaite: Crystal-chemical implications for the structures of uranyl-oxide hydroxy-hydrates. Am Mineral 105(4): 561-568
- POUCHOU JL, PICHOR F (1985) "PAP" ($\varphi\varphi Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: Microbeam Analysis (ARMSTRONG JT, ed.). San Francisco Press, San Francisco: 104-106
- ROLL M, GOLIÁŠ V, ZACHARIÁŠ J, PLÁŠIL J, FALTEISEK L (2024) Newly described uranium mineralization with ruthefordine from former arsenic mine Giftkies, Jáchymov ore district, Czech Republic. J Geosci 69(2): 77-86
- SCIBERRAS MJ, LEVERETT P, WILLIAMS PA, HIBBS DE, DOWNES PJ, WELCH MD, KAMPF AR (2013) Paratacamite-(Ni), $\text{Cu}_3(\text{Ni,Cu})\text{Cl}_2(\text{OH})_6$, a new mineral from the Carr Boyd Rocks mine, Western Australia. Austral J Mineral: 39-44
- 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
- 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, PLÁŠIL J (2024) Chenowethite, rare Mg-uranyl-sulphate, from the Jáchymov ore district, Krušné hory Mountains (Czech Republic) - description and Raman spectroscopy. Bull Mineral Petrolog 32(1): 37-44
- SEJKORA J, PLÁŠIL J, CÍSAŘOVÁ 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, PLÁŠIL J, KAMPF AR (2018) Honzaite, $(\text{Ni,Co})_2(\text{AsO}_3\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_5$, a new Ni-dominant analogue of burgessite, from Jáchymov, Czech Republic. Eur J Mineral 30(5): 989-997
- SEJKORA J, DOLNÍČEK Z, PLÁŠIL J (2023) Ammoniozippeite from the Jáchymov ore district, Krušné hory Mountains (Czech Republic) - description and Raman spectroscopy. Bull Mineral Petrolog 31(1): 1-9
- SEJKORA J, ŠKÁCHA P, PLÁŠIL J (2024) Minerály skupiny neustádtelitu z Jáchymova v Krušných horách (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 32(1): 54-60
- STECIUK G, SEJKORA J, ČEJKA J, PLÁŠIL J, HLOUŠEK J (2021) Krupičkaite, $\text{Cu}_6[\text{AsO}_3(\text{OH})]_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, a new copper arsenate mineral from Jáchymov (Czech Republic). J Geosci 66(1): 37-50
- STECIUK G, MAJZLAN J, ROHLÍČEK J, ŠKODA R, SEJKORA J, PLÁŠIL J (2024) Znucalite, the only known zinc uranyl carbonate: Its crystal structure and environmental implications. Am Mineral 109(5): 949-959
- SÜSSE P, TILLMANN B (1987) The crystal structure of the new mineral richelsdorffite, $\text{Ca}_2\text{Cu}_5\text{Sb}(\text{Cl}/(\text{OH})_6/(\text{AsO}_4)_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Zeit Krist 179(1-4): 323-334
- ŠKÁCHA P, PLÁŠIL J, SEJKORA J, ČEJKA J, ŠKODA R, MEISSER N (2014) Ojedinelý výskyt bayleyitu, $\text{Mg}_2[(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3] \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, z Jáchymova. Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 22(2): 240-247
- ŠKÁCHA P, PLÁŠIL J, HORÁK V (2019) Jáchymov - mineralogická perla Krušnohoří. 1-688, Academia, Praha
- 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
- WALENTA K (2000) Richelsdorffitähnliche Mineralien aus dem Schwarzwald. Erzgräber 14: 1-9
- WALENTA K, DUNN PJ (1988) Ein richelsdorffitähnliches Mineral von der Grube Clara. Erzgräber 2(2): 97-103.
- WYCKOFF RWG (1963) Crystal Structures 1, Second edition. Interscience Publishers, New York
- WYCKOFF R, POSNJAK E (1922) The crystal structures of the cuprous halides. J Amer Chem Soc 44: 30-36
- 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