

Chalkonatronit, $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{CO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_3$, ze žíly sv. Ducha, Jáchymov (Česká republika)

Chalconatronite, $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{CO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_3$, from the „sv. Duch“ vein, Jáchymov (Czech Republic)

JAKUB PLÁŠIL^{1)*}, JAN HLOUŠEK²⁾ A RADEK ŠKODA³⁾

¹⁾ Fyzikální ústav AV ČR v.v.i., Na Slovance 2, 182 21 Praha 8, *e-mail: plasil@fzu.cz

²⁾ U Roháčových kasáren 24, 100 00 Praha 10

³⁾ Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno

PLÁŠIL J., HLOUŠEK J., ŠKODA R. (2013) Chalkonatronit, $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{CO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_3$, ze žíly sv. Ducha, Jáchymov (Česká republika). *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha) 21, 2, 228-233. ISSN 1211-0329.*

Abstract

An interesting association of rare carbonate minerals was found in the dump material at the Dušní (Gesiter) vein in Jáchymov, Czech Republic. The mineral assemblage is represented by chalconatronite and abundant čejkaite. Moreover, additional mineral phase was found to be growing inside chalconatronite aggregate. It goes most probably about Na-Ca carbonate, pirsonnite or gaylussite, however, the exact identification cannot be done. Chemical composition of the studied chalconatronite was determined base on electron microprobe data. The empirical formula can be expressed as $\text{Na}_{2.01}(\text{Cu}_{0.98}\text{Fe}_{0.01})_{\Sigma 0.99}[(\text{PO}_4)_{0.02}(\text{AsO}_4)_{0.01}(\text{SiO}_4)_{0.01}]_{\Sigma 0.04}(\text{CO}_3)_{1.95} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (mean of 4 spot analyzes; $\text{Na}+\text{Cu}+\text{Fe} = 3 \text{ apfu}$). The refined unit-cell parameters of chalconatronite from the powder X-ray diffraction data (for the monoclinic space group $P2_1/n$) are $a = 9.699(4)$, $b = 6.098(3)$, $c = 13.792(6)$ Å, $\beta = 91.88(4)^\circ$ and with $V = 815.3(4)$ Å³.

Key words: chalconatronite, oxide zone, copper minerals, electron microprobe data, powder diffraction, Jáchymov

Obdrženo: 21. 10. 2013; přijato: 19. 11. 2013

Úvod

Žíla sv. Ducha, německými předválečnými horníky zvaná *Geistergang* (Dušní žíla) nebo *Heilige Geist*, název zlidovější jako „Geistry“ či „Geistr“, je velmi významnou žilnou strukturou západní části jáchymovského revíru v prostoru šachty Rovnost I. (dříve Rudolf, či Werner). Co do významu těžby stříbrných rud, tak i komplexního zrudnění mědi, bismutu, niklu a kobaltu a také zrudnění uranového, je tato žíla některými autory (např. Hrabák 1902) hodnocena jako nejvýznamější v rámci západní části revíru. Co do významu pak předčí např. i mocnou žílu Schweitzer. Žíla sv. Ducha byla známa již starými horníky v 16. století, v období „stříbrné jáchymovské horečky“, a to pod jménem *Polus Articus* (Vogl 1856). Sledována je horníky pracemi od povrchu až po nehlubší obzory jámy Rovnost I. (12. patro ~680 m pod povrchem). Vzhledem k tomu, že byla Dušní žíla intenzivně dobývána v přípovrchových partiích, zachovala se do dnešních dnů na povrchu celá řada odvalů a pinek, souvisejících jak s rannou těžbou stříbrných a komplexních rud, tak s několika periodami těžby rud uranových. Haldy na Dušní žíle se staly v polovině 19. století objektem zájmu jako dobré zdroje uranových rud (Vogl 1856), využívaných v té době na přípravu uranových barev (Vysoky 1866). Později byla žíla předmětem revize (povrch a stará důlní díla) a těžby (Wernerova patra pod úrovní dědičné štoly Daniel) v rámci dobývání radioaktivních surovin Jáchymovskými doly po 2. světové válce (Pluskal 1998). Dušní žíla je jednou z geochemicky nejpestřejších a také mineralogicky nejzajímavějších žil jáchymovského ložiska. Minera-

logickým výzkumem vzorkového materiálu pocházejícím jak z hald, tak i z přístupných podzemních prostor Dušní žíly, byla určena celá řada velmi vzácných (Ondruš et al. 1997), či dokonce nových fází pro mineralogický systém (Vogl 1853; Sejkora et al. 2010; Plášil et al. 2012, 2013a).

Během mineralogického výzkumu vzorků nalezených v haldovém materiálu na výchozových partiích Dušní žíly v prostoru tzv. Bohaté nálezné jámy Hoffmannova léna, byla zjištěna přítomnost chalkonatronitu, vzácného hydratovaného karbonátu mědi a sodíku, nového minerálu pro jáchymovský revír. Podrobný mineralogický popis tohoto minerálu a doprovodné asociace je náplní této práce.

Popis lokality, ložiskově-geologická situace

Lokalita, ze které pochází studovaný vzorkový materiál, se nachází přímo na struktuře Dušní žíly, zhruba 470 m na JJV od jámy Rovnost I a zhruba 190 m na J od staré nálezné jámy Geister. Jedná se o komplex hald (obr. 1) tzv. bohaté nálezné jámy Hoffmannova léna (Hoffmann lenschacht). Tato jáma, zaražená roku 1524 na křížení Dušní žíly a Hoffmannovy (nebo-li Geyerské = Geyer) žíly, je zachycena na výseku z mapy nejvyššího královského horního hejtmana Kryštofa Gendorfa z roku 1589 uložené v Archivu dvorské komory ve Vídni (Hoffkammerarchiv). Tento komplex hald náležející jámě Hoffmannova léna bývá někdy zaměňován s odvalem jámy Geister, která se však nalézá severněji směrně po žíle, a jejíž halda je situována v prostoru dnešního hotelu Berghof. Studovaná lokalita je tvořena soustavou několika hald, částečně rozkopaných již v 19. století, v souvislosti s potřebou U-rudy na výrobu



Obr. 1 Odvalové pásmo na žíle Geister v prostoru tzv. Nálezne šachtice bohatého Hoffmanova léna. Foto J. Plášil, říjen 2013.

uranových barev, zejména však rozvážených v průběhu 50. let 20. století v souvislosti s těžbou Jáchymovských dolů (JD). Součástí komplexu by měl být i dovrchní komín JD, nalézající se v blízkosti povrchu (neporážený na den). V souvislosti s ním byl v prostoru ochranného pásma komína v 50. letech 20. století navršen haldový materiál a prostor jako takový vyznačen ocelovými lany a cedulemi. Je však nutné podotknout, že informace týkající se studované lokality jsou značně kusé a často se i rozcházejí (viz Trvala 1962). Směrem na JJV od největší haldy se nachází ústí zavaleného šurfu situovaného na odžilku žíly Geister (Pittauerová, Goliáš 2002).

Geologie jáchymovského rudního revíru byla přehledně zpracována v článkách Ondruše et al. (1997, 2003), proto zde nebude opětovně popisována. Žíla sv. Ducha je velmi významnou s.-j. (půlnocní) žílou, která se odpojuje od Meridionálního zlomu (zpeřená struktura k Centrálnímu zlomu) v místě, kde zlom přetíná osu Centrální antiklinály, a prochází důlním polem ve směru 350 - 10°. Severně od jámy Rovnost I žíla na styku s tělesem tufů (zvanými „Putzenwäcke“) mění směr na 10 - 20°, ztrácí na mocnosti a mizí. Jejím pravděpodobným pokračováním je žíla Severní Jeroným („Hieronymus“). Na svrchních patrech je úklon žíly směrem k západu ležatější (kolem 50°), na spodních patrech strmější (70 - 80°). Mocnost žíly kolísá mezi 5 - 1 m, mocnost mineralizovaných úseků se pohybuje kolem 10 cm. Žíla má řadu celou řadu odžilků (Mrňa 1960; Macourek, Čumrda 1963). Vogl (1856) uvádí, že odžilky bývaly často bohatší žíly samotné, označuje

je za tzv. Adelspunkty (místa nabohacení). Z těchto míst pochází většina slavných nálomů stříbrných rud na Dušní žíle z poloviny 19. století na patře Barbora (Vogl 1854). Studovaný komplex hald se nalézá na křížení Dušní žíly s v.-z. (jitřní) žílou Geyer. V místech studované lokality žíla probíhá zónou albitizovaných svorů, jež jsou proráženy tělesem žulových porfyrů.

Metodika výzkumu

Povrchová morfologie vzorků byla sledována v dopadajícím světle pomocí optického mikroskopu Zeiss Stemi2000.

Rentgenová prášková difrakční data studovaných fází byla získána pomocí práškového difraktometru PANalytical Empyrean s polovodičovým pozičně citlivým detektorem PIXcel^{3D} za užití CuK $\alpha_{1,2}$ záření (45 kV, 40 mA) a křiveného Göbelova zrcadla poskytujícího fokusovaný rentgenový svazek. Rozdrcené krystalky chalkonatronitu byly nasypány do skleněné kapiláry o průměru 0.3 mm a následně byl pořízen difrakční záznam v rozmezí 3 - 51° 2 θ , s krokem 0.02° a načítacím čas 1 s/krok s opakováním 40krát. Získaná data byla vyhodnocena pomocí softwaru High-Score Plus (PANalytical) s databází ICDD PDF-4 2013. Pozice jednotlivých difrakčních maxim byly zpřesněny pomocí software FullProf (profilová funkce Pseudo-Voigt; Roisnel, Rodriguez-Caravajal 2000). Prášková data byla indexována na základě teoretického záznamu vypočteného programem PowderCell (Kraus, Nolze 2003) z krystalových strukturálních dat (Mukhopady-



Obr. 2 Tabulkovitý krystal chalkonatronitu s drobnými prizmatickými (jehlicovitými) krystaly čejkaitu. Velikost delší hrany snímku 2.2 mm. Foto P. Škácha.

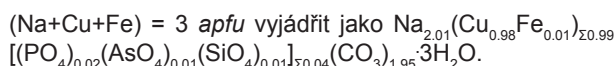
hay, Bernal 2004) a parametry mřížkové parametry byly následně zpřesněny pomocí programu UnitCell (Holland, Redfern 1997). Mřížkové parametry čejkaitu byly zpřesněny LeBailovou metodou (za užití strukturního modelu) pomocí programu Jana2006 (Petříček et al. 2006). Pro korekci chyb a korelací bylo užito Bérarovy korekce (Bérar, Lelland 1991).

Chemické složení studovaných minerálů bylo studováno kvantitativně elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta, MU Brno) za podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 4 nA, průměr svazku 20 μm , standardy: albit (Na), lammerit (As, Cu), sanidin (Si, K), almandin (Fe), fluorapatit (P). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985). Nižší sumy chemických analýz jsou vyvolány mikroporózním charakterem analyzovaných agregátů, ne zcela dokonalým povrchem leštěného nábrusu a zejména přítomností lehce volatilizovatelných elementů (Na, CO_3^{2-} , H_2O).

Charakteristika chalkonatronitu a jeho chemické složení

Chalkonatronit tvoří na puklinách svorů izolované agregáty srůstajících prizmatických až tabulkovitých krystalů dosahujících velikosti okolo 1 mm (obr. 2). Krystaly mají blankytně modrou až modrozelenou barvu, často jsou na povrchu matné, nelesklé. V jádrech agregátů jsou (na štěpných úlocích) azurově modré s vysokým skelným leskem. Často tvoří srůsty s čejkaitem (obr. 3).

Při studiu chemického složení chalkonatronitu z Jáchymova (tab. 1) byly zjištěny v minoritním zastoupení i další anionty, kromě předpokládaného dominantního CO_3 (nelze přímo na vlnově-disperzním analyzátoru stanovit kvantitativně díky specifické přípravě vzorků pro analýzu), a to zejména fosfor (0.01 - 0.02 PO_4^{3-} apfu). V kationtové, oktaedricky koordinované pozici, se uplatňuje nevýrazná substituce $\text{Fe}^{2+}\text{Cu}_{-1}$. Empirický vzorec chalkonatronitu z Jáchymova (průměr 4 bodových analýz) lze na bázi



Rentgenový difrakční výzkum chalkonatronitu

Experimentální rentgenový práškový záznam chalkonatronitu z Jáchymova (tab. 2) odpovídá teoretickému difrakčnímu záznamu napočtenému z publikovaných strukturních dat. Nicméně výrazné rozdíly byly zjištěny mezi pozorovanými intenzitami difrakčních maxim a teoretickými intenzitami. Tento fakt je způsoben výbornou štěpností krystalů chalkonatronitu, projevující se přednostní orientací krystalitů v práškovém preparátu, a to i přes zvolenou transmisní geometrii (Debye-Scherrer), které by měla tyto jevy minimalizovat. Zpřesněné mřížkové parametry chalkonatronitu z Jáchymova jsou ve srovnání (tab. 3) s publikovanými hodnotami mřížkových parametrů pro tento minerální druh.

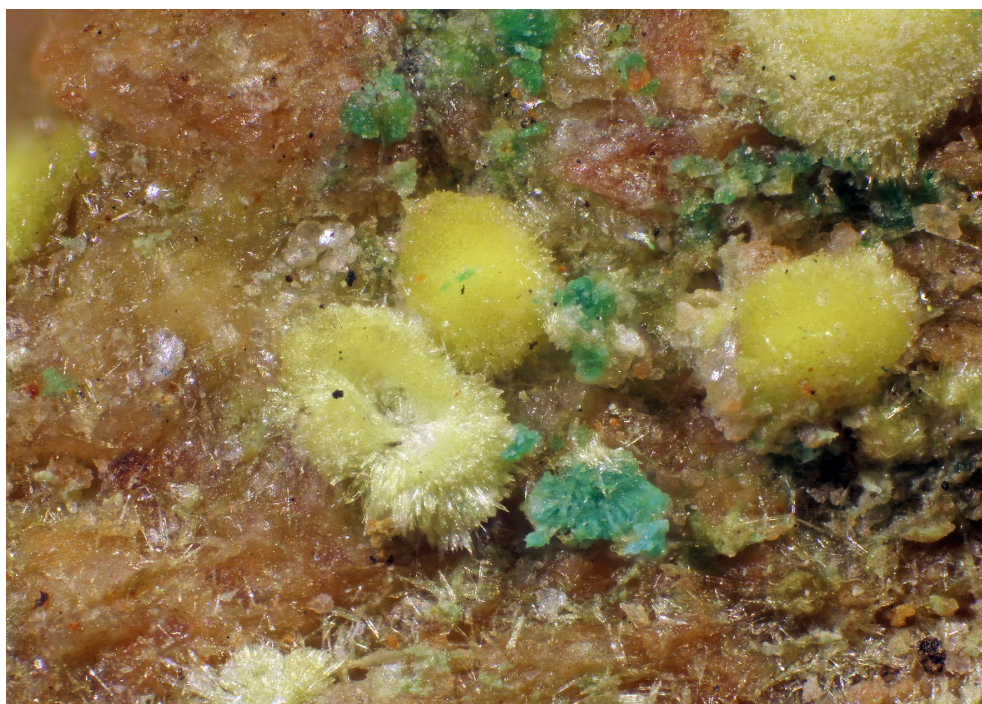
Další zjištěné minerální fáze

Čejkait

Čejkait tvoří ve studované asociaci polokulovitě izolované krystalické agregáty o velikosti do 1 mm (obr. 3), které pokrývají prakticky celou plochu puklin. Agregáty mají světle žlutou barvu a jsou tvořeny tenkými jehlicovitými krystaly.

Čejkait byl identifikován na základě práškových rentgenových difrakčních dat, odpovídajících datům Plášila et al. (2013b) a potvrzen kvalitativně elektronovým mikroanalýzátorem. ED spektrum čejkaitu ukázalo pouze podstatné obsahy Na, U a O.

Prášková difrakční data odpovídají jak experimentálnímu záznamu (Ondruš et al. 2003; Plášil et al. 2013b), tak i teoretickému záznamu vypočtenému ze strukturních dat (Plášil et al. 2013b). Mřížkové parametry čejkaitu studovaného v rámci této práce jsou ve srovnání s publikovanými údaji uvedeny v tabulce 4.



Obr. 3 Chalkonatronit (zeleno-modrý) s čejkaitem (žlutý) a amorfní Cu-Al-Si fází (zelená), srůstající hematitizovanou křemenou žilovinu. Velikost delší hrany snímku 2.2 mm. Foto P. Škácha.

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

	Průměr	1	2	3	4
Na ₂ O	21.67	22.19	22.04	20.79	21.65
CuO	27.23	27.05	26.47	27.70	27.71
FeO	0.18	0.20	0.20	0.22	-
P ₂ O ₅	0.37	0.33	0.26	0.34	0.57
As ₂ O ₅	0.25	0.36	0.26	0.22	0.15
SiO ₂	0.28	-	1.05	-	-
CO ₂ [#]	29.80	30.47	28.63	29.91	30.18
H ₂ O*	18.81	19.10	18.85	18.40	18.89
Total	98.58	99.67	97.76	97.58	99.20
Na	2.009	2.029	2.038	1.969	2.002
Cu	0.984	0.963	0.954	1.022	0.998
Fe	0.006	0.008	0.008	0.009	-
Σ kationtů	2.999	3.000	3.000	3.000	3.000
PO ₄	0.015	0.013	0.011	0.014	0.023
AsO ₄	0.006	0.009	0.007	0.006	0.004
SiO ₄	0.013	-	0.050	-	-
Σ T	0.034	0.022	0.068	0.020	0.027
CO ₃	1.946	1.961	1.865	1.995	1.965
H ₂ O	3.001	3.004	2.999	2.998	3.004

CO₂[#] - obsah vypočtený na bázi teoretického obsahu 2 CO₂ v chalkonatronitu s přihlédnutím k nábojovému vyrovnání; H₂O* - obsah vypočtený na bázi teoretického obsahu 3 H₂O v chalkonatronitu (chyba dána zaokrouhlováním); koeficienty empirických vzorců počítány na bázi (Na+Cu+Fe) = 3 *apfu*.

Tabulka 2 Rentgenová prášková data chalkonatronitu z Jáchymova

<i>l</i> _{rel.}	<i>d</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>l</i> _{rel.}	<i>d</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
13	8.04	8.05	-1	0	1	16	2.4575	2.4573	-3	1	3
100	6.89	6.89	0	0	2			2.4496	-1	1	5
5	5.57	5.58	0	1	1	11	2.4334	2.4310	-2	2	2
30	5.16	5.16	1	1	0	10	2.4240	2.4234	4	0	0
4	4.565	4.567	0	1	2	6	2.4026	2.4032	2	2	2
8	4.197	4.206	-1	0	3	1	2.2954	2.2974	0	0	6
39	4.162	4.167	-1	1	2	11	2.2824	2.2835	0	2	4
16	4.094	4.100	1	0	3	6	2.2631	2.2630	4	0	2
		4.097	1	1	2	5	2.2583	2.2581	-2	1	5
4	4.021	4.027	-2	0	2	5	2.2322	2.2335	-4	1	1
3	3.946	3.905	2	0	2			2.2306	-3	1	4
1	3.790	3.794	2	1	0	8	2.1308	2.1321	-3	0	5
18	3.680	3.683	-2	1	1	1	2.1117	2.1127	-1	1	6
36	3.670	3.670	0	1	3	11	2.0829	2.0854	1	1	6
15	3.444	3.446	0	0	4			2.0833	-2	2	4
5	3.121	3.123	3	0	1	8	2.0632	2.0641	3	0	5
		2.8551	3	1	0	3	2.0473	2.0486	2	2	4
15	2.8515	2.8532	-2	0	4			2.0471	-4	1	3
		2.8516	-1	2	1	11	2.0102	2.0108	-2	2	4
7	2.8446	2.8432	1	1	4	10	1.9892	1.9894	-1	2	5
		2.8403	1	2	1	5	1.9503	1.9497	1	3	0
4	2.7759	2.876	3	1	1	6	1.9153	1.9148	0	3	2
7	2.6815	2.877	-3	0	3	4	1.8970	1.8972	-1	3	2
6	2.6776	2.875	-1	0	5	4	1.8468	1.8476	4	2	0
2	2.6649	2.869	-3	1	2	16	1.8193	1.8172	4	2	2
1	2.6297	2.864	1	0	5			1.8158	-3	1	6
5	2.6116	2.801	3	1	2						
6	2.6033	2.705	3	0	3						
1	2.5442	2.699	-2	2	1						
8	2.5112	2.685	0	1	5						

Podmínky: 3 - 60°2θ (CuKα_{1,2}), krok 0.025°, načítací čas 1 sekunda/krok; akumulace 20krát

Tabulka 3 Mřížkové parametry chalkonatronitu z Jáchymova ve srovnání s publikovanými údaji (pro monoklinickou prostorovou grupu $P2_1/n$)

		a [Å]	b [Å]	c [Å]	β [°]	V [Å ³]
Jáchymov	tato práce	9.699(4)	6.098(3)	13.792(6)	91.88(4)	815.3(4)
Syntetický	Mukhopadyhay, Bernal (2004)	9.6933(3)	6.0926(2)	13.7863(4)	91.908(2)	813.73
Syntetický	Mosset et al. (1978)	9.696(2)	6.101(2)	13.779(3)	91.83(2)	814.6
Syntetický	Brotherton, White (1973)	9.70(1)	6.10(1)	13.81(2)	91.7(2)	817

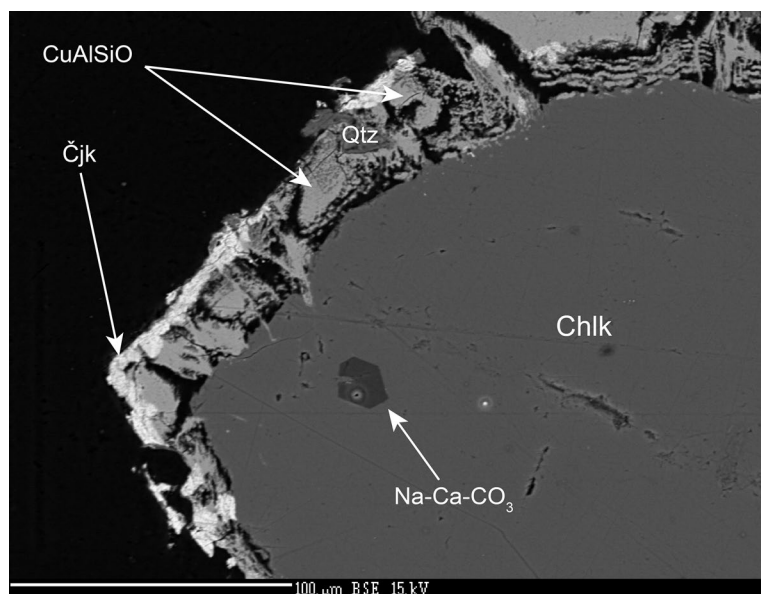
Tabulka 4 Mřížkové parametry čejkaitu nalezeného v asociaci s chalkonatronitem z Jáchymova ve srovnání s publikovanými údaji (pro monoklinickou prostorovou grupu Cc)

lokalita	reference	a [Å]	b [Å]	c [Å]	β [°]	V [Å ³]
Jáchymov	tato práce (prášková data)	9.2964(2)	16.1049(3)	6.499(1)	91.504(6)	965.17(7)
Jáchymov	Plášil et al. (2013b) (prášková data)	9.2944(3)	16.0967(7)	6.4356(3)	91.410(5)	962.53(4)
Jáchymov	Plášil et al. (2013b) (monokrystal)	9.2919(8)	16.0991(11)	6.4436(3)	91.404(5)	963.62(12)

Na-Ca-CO₃ fáze

V průběhu mikrosondového studia chalkonatronitu byla ve zpětně odražených elektronech (BSE) identifikována fáze, jasně odlišitelná od chalkonatronitu (výrazně nižší fázový kontrast), která tvořila uzavřeniny v právě zmíněné minerální fázi (obr. 4). Rychlá kvalitativní chemická analýza (ED spektrum) prokázala přítomnost podstatného množství Na, Ca a O (případná přítomnost C ve zkoumané fázi je vzhledem k přípravě preparátů pro analýzu touto metodikou neověřitelná). Minerál se ukázal být i přes krátkou dobu experimentu nestabilním, což se projevilo destrukcí fáze v analyzovaném bodě (svědčí o přítomnosti lehce volatilovatelných složek, kromě Na také H₂O a CO₂). V mineralogickém systému existují pouze dva minerální druhy o složení charakterizovaném přítomností Na, Ca, H₂O a také CO₂ (vzhledem ke skutečnosti, že jde o asociaci karbonátů a žádný jiný možný aniont, např. SO₄, nebyl zjištěn): gaylussit, Na₂Ca(CO₃)₂(H₂O)₂

(Bousingault 1826), a pirssonit, Na₂Ca(CO₃)₂(H₂O)₂ (Pratt 1896). Gaylussit je monoklinický (Menchetti 1968), zatímco minerál pirssonit je ortorombický (Corazza, Sabelli 1967). Je velmi obtížné, bez znalosti difrakčních dat, určit, o který ze dvou zmíněných minerálů se jedná, nicméně lze vyslovit následující hypotéza. Může jít o gaylussit, neboť jde o minerál s monoklinickou symetrií, tak jako chalkonatronit, a který s výše uvedeným minerálem „srůstá“. Pozorovaný průřez zrna by lépe odpovídal řezu monoklinickým minerálem, i když je nutné podotknout, že podobné řezy by bylo lze získat i v případě minerálu ortorombického, pokud by byl veden jako řez obecný (mimo význačné krystalografické směry). Dalším z jistých vodítek může být i stabilita minerálu pod elektronovým svazkem, přičemž v případě studovaného krystalu došlo k extrémně rychlé destrukci analyzovaného vzorku, což by svědčilo spíše pro gaylussit (30.42 hm. % H₂O), než pro pirssonit (14.88 hm. % H₂O).



Obr. 4 Agregát chalkonatronitu (Chlk) s uzavřeninou krystalu Na-Ca-CO₃ fáze a obrůstání čejkaitem (Čjk), s příměsí křemene (Qtz) a hojného, pravděpodobně amorfního, Cu-Al-silikátu. Obrázek ve zpětně odražených elektronech (BSE). Foto R. Škoda.

Závěr

Studovaná minerální asociace nebyla v jáchymovském revíru dosud nalezena a Jáchymov je zároveň první lokalitou chalkonatronitu v České republice. Vznik popsaných minerálů je vázán na společné zvětrávání uraninitu a sulfidů, na studované lokalitě reprezentovaných zejména tennantitem, v oxidační zóně *in-situ* z roztoků obsahujících rozpuštěný CO₂. Jako zdroj oxidu uhličitého mohli sloužit jak descendentní roztoky jako takové, obsahující rozpuštěný atmosférický CO₂, případně lze jako další zdroj spatřovat CO₂ pocházející z rozpuštěných žilných karbonátů. Tuto hypotézu lze podpořit, vzhledem k tomu, že zastoupení žilných karbonátů v žilovině Dušní žíly v zóně oxidace zcela chybí, což by nasvědčovalo jejich totálnímu vyloučení. Zdroj Na⁺ iontů zůstává nepříliš jasný v rámci většiny jáchymovského revíru. Výskyty minerálů obsahující Na⁺ jsou v revíru běžné, nicméně např. albit obsahující horniny (např. albit-muskovitické svory), jejichž hydrotermální

i supergenním loužením by byl Na^+ uvolněn do systému, se v geologické stavbě uplatňují zejména ve východní části revíru. Nicméně jisté zastoupení Na-obsahujících minerálů lze očekávat v rámci celého revíru. Část Na^+ , která byla uvolněn do systému v průběhu supergenních procesů, by mohla též pocházet z minoritního zastoupení Na^+ v žilných karbonátech.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat P. Škáchovi (Hornické muzeum, Příbram) za poskytnutí mikrofotografií studované minerální asociace a V. Horákovi (Kralupy nad Vltavou) za poskytnutí podrobných údajů o lokalitě. J. Čejka (NM Praha) a M. Števkovi (UK Bratislava) přispěli svými připomínkami ke zlepšení původního předloženého textu. Tato práce vznikla za finanční podpory Grantové agentury ČR v rámci postdoktorského grantu 13-31276P.

Literatura

- Béar J.-F., Lelann P. (1991) E.s.d.'s and estimated probable errors obtained in Rietveld refinements with local correlations. *J. Appl. Cryst.* 24, 1-5.
- Boussingault J. B. (1826) Analyse d'une nouvelle substance minérale (la Gay-Lussite). *Annal. Chim. Phys.* 31, 270-276.
- Brotherton P. D., White A. H. (1973) Crystal structures of copper(II) sodium carbonate trihydrate (chalconatronite). *J. Chem. Soc., Dalton Trans.* 21, 2338-2340.
- Corazza E., Sabelli C. (1967) The crystal structure of pirssonite, $\text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Acta Cryst.* 23, 763-766.
- Holland T. J. B., Redfern S. A. T. (1997) Unit cell refinement from powder diffraction data: the use of regression diagnostics. *Mineral. Mag.* 61, 65-77.
- Hrabák J. (1902) Hornictví a hutnictví v království českém, jeho vznik a vývoj až po nynější stav. Vydáno v Praze v kommissi knihkupectví Františka Řivnáče.
- Kraus W., Nolze G. (1996) POWDER CELL - a program for the representation and manipulation of crystal structures and calculation of the resulting X-ray powder patterns. *J. Appl. Cryst.* 29, 301-303.
- Macourek K., Čumrda J. (1963) Zhodnocení těžební činnosti jáchymovských dolů na hydrotermálním ložisku Jáchymov. MS, archiv DIAMO s.p., SUL, o.z., Příbram, sv. 140166.
- Menchetti S. (1968) The crystal structure of gaylussite. *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei* 44, 680-694.
- Mosset A., Bonnet J. J., Galy J. (1978) Structure cristalline de la chalconatronite synthétique: $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{CO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. *Z. Kristallogr.* 148, 165-177.
- Mrňa F. (1960) Dílčí zpráva o geochemickém výzkumu komplexního zrudění v Jáchymovské oblasti 1958-1960. MS, archiv DIAMO, s.p., SUL, o.z., Příbram, sv. 29.
- Mukhopadhyay U., Bernal I. (2004) A totally unexpected synthesis of single crystals of the mineral Chalconatronite, $\text{Na}_2[\text{Cu}(\text{CO}_3)_2] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, from a solution of a Copper coordination compound and Atmospheric CO_2 , at room temperature. *J. Coord. Chem.* 57, 353-360.
- 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, 3-6.
- Ondruš P., Veselovský F., Gabašová A., Hloušek J., Šrein V., Vavřín I., Skála R., Sejkora J., Drábek M. (2003) Primary minerals of the Jáchymov ore district. *J. Czech Geol. Soc.* 48, 19-147.
- Petříček V., Dušek M., Palatinus L. (2006) Jana2006. The crystallographic computing system. Institute of Physics, Praha, Czech Republic. <http://jana.fzu.cz>
- Pittauerová D., Goliáš V. (2002) Weathering of mine wastes after historical silver mining in the Jáchymov ore district (Czech Republic) and migration of uranium. In: *Uranium Deposits, from their Genesis to the Environmental aspects* (Kříbek B., Zeman J. eds.), 157-160. Czech Geological Survey, Prague.
- Plášil J., Fejfarová K., Škoda R., Škacha P., Sejkora J., Veselovský F., Hloušek J., Novák M. (2012) Babáněkite, IMA 2012-007. *CNMNC Newsletter No. 13, June 2012, page 814. Mineral. Mag.* 76, 807-817.
- Plášil J., Škacha P., Sejkora J., Novák M., Veselovský F., Škoda R., Čejka J., Ondruš P., Kasatkin A. (2013a) Hloušekite, IMA 2013-048. *CNMNC Newsletter No. 17, October 2013, page 3001. Mineral. Mag.* 77, 2997-3005.
- Plášil J., Fejfarová K., Dušek M., Škoda R., Rohlíček J. (2013b) Revision of the symmetry and the crystal structure of čejkaite, $\text{Na}_4(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3$. *Am. Mineral.* 98, 549-553.
- Pluskal O. (1998) Poválečná historie jáchymovského uranu. *Special Papers No. 9. Czech Geological Survey, Prague.*
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" ($\phi\rho Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (J. T. Armstrong, ed.), 104-106. San Francisco Press, San Francisco.
- Pratt J. H. (1896) On northupite; pirssonite, a new mineral; gaylussite and hanksite from Borax Lake, San Bernardino County, California. *Amer. J. Sci.* 152, 123-135.
- Roisnel T., Rodriguez-Carvajal J. (2000) WinPLOTR: a Windows tool for powder diffraction patterns analysis. In: *Materials Science Forum, Proceedings of the Seventh European Powder Diffraction Conference (EP-DIC 7)* (Delhez R., Mittenmeijer E. J., eds.), 118-123.
- Sejkora J., Ondruš P., Novák M. (2010) Veselovskýite, triclinic $(\text{Zn,Cu,Co})\text{Cu}_4(\text{AsO}_4)_2(\text{AsO}_3\text{OH})_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, a Zn-dominant analogue of lindackerite. *N. Jb. Mineral. Abh.* 187, 83-90.
- Trvala C. (1962) Geologická zpráva k likvidaci úseků šachty Rovnost a šachty č. 12. MS, archiv DIAMO, s.p., SUL, o.z., Příbram, sv. 128.
- Vogl J. F. (1853) Lindackerit, eine neue Mineralspecies, und Lavendulan von Joachimsthal, nebst Bemerkungen über die Erzführung der Gänge. *J. K.-k. geol. Reichsanst.* 4, 552-557.
- Vogl J. F. (1854) Der neue Silbererz-Anbruch am Geistergange zu Joachimsthal am 1. October 1853. *J. K.-k. geol. Reichsanst.* 5, 630-640.
- Vogl J. F. (1856) Gangverhältnisse und Mineralreichthum Joachimsthals. *J. Pohl, Teplitz*, 196 s.
- Vysoky E. (1866) Ueber die Urangelbarbik zu Joachimsthal in Böhmen. *Dingl. J.* 121, 448-455.