

<https://doi.org/10.46861/bmp.30.145>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Phurcalit a uranofán-beta z Ruprechtic u Liberce (Česká republika)

Phurcalite and uranophane-beta from Ruprechtice near Liberec (Czech Republic)

JIŘÍ SEJKORA^{1)*}, JAROMÍR TVRDÝ²⁾ A VOJTĚCH MAI³⁾¹⁾Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice;*e-mail: jiri.sejkora@nm.cz²⁾Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno³⁾LIGRANIT a.s., Kunratická 1100, 460 06 Liberec - Rochlice

SEJKORA J, TVRDÝ J, MAI V (2022) Phurcalit a uranofán-beta z Ruprechtic u Liberce (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 30(1): 145-153 ISSN 2570-7337

Abstract

A rare uranium supergene minerals, phurcalite and uranophane-beta, were found in association with metaautunite at fissures of granitoid rocks in the active Wagner quarry in Ruprechtice near Liberec (northern Bohemia, Czech Republic). Phurcalite occurs there as bright to deep yellow coatings with an area up to 10 × 3 mm in size composed of acicular to columnar crystals up to 0.5 mm in length. It is orthorhombic, space group *Pbca*, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 17.3973(18), *b* 16.0161(15), *c* 13.5693(19) Å, *V* 3780.9(5) Å³. Chemical analyses of phurcalite correspond to the empirical formula $\text{Ca}_{2.20}(\text{UO}_2)_{2/3.06}(\text{PO}_4)_{1.96}(\text{AsO}_4)_{0.04}\text{O}_{2.26} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Uranophane-beta forms a relatively abundant pale yellow coatings of up to 2 × 2 cm in size composed of translucent to transparent acicular crystals with a vitreous lustre and a length of up to 0.2 mm. It is monoclinic, space group *P2₁/a*, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 13.959(2), *b* 15.5420(16), *c* 6.6227(9) Å, β 91.43(1)° and *V* 1436.3(2) Å³. Chemical analyses of uranophane-beta correspond to the empirical formula $\text{Ca}_{1.09}(\text{UO}_2)_{1.99}[(\text{SiO}_3\text{OH})_{1.68}(\text{PO}_4)_{0.29}(\text{AsO}_4)_{0.03}]_{\Sigma 2.00} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Metaautunite occurs there as abundant light yellow aggregates with an area up to some cm² in size composed of tiny (up to 0.5 mm) tabular crystals or rarely as well-developed individual tabular crystals up to several mm in size. It clearly differs from other minerals in the association by very strong yellow-green luminescence in both short- and long-wave UV radiation. It is tetragonal, space group *P4/nmm*, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 7.006(2), *c* 16.899(4) Å and *V* 829.4(6) (5) Å³. Chemical analyses of metaautunite correspond to the empirical formula $\text{Ca}_{1.03}(\text{UO}_2)_{2.09}(\text{PO}_4)_{1.96}(\text{AsO}_4)_{0.04} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Key words: *phurcalite, uranophane-beta, uranium minerals, unit-cell parameters, chemical composition, Ruprechtice, Czech Republic*

Obdrženo 19. 5. 2022; přijato 8. 7. 2022

Úvod

Phurcalit, ortorombický minerál ze skupiny fosfuranilytu s ideálním vzorcem $\text{Ca}_2(\text{UO}_2)_3(\text{PO}_4)_2\text{O}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, byl poprvé popsán z lomu Streuberg u Bergenu v Sasku, SRN (Deliens, Piret 1978). Patří k relativně vzácným supergenním minerálům uranu, v České republice jsou jeho výskyty známy dosud jen z odvalu dolu Eduard v jáchymovském rudním revíru a z ložiska Medvědin v Krkonoších (Plášil 2020). Uranofán-beta s ideálním vzorcem $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ je výrazně vzácnější než obecně rozšířený uranofán-alfa, přesto je v České republice popisován vedle typové lokality Jáchymov i z Rožné, Zálesí, Horních Hoštic, Dlažova u Klatov a dolu Vítkov II u Tachova, ne zcela potvrzené jsou výskyty z Olší a z příbramského uranového revíru (Pauliš 2021).

Výsledky podrobného mineralogického výzkumu nově zjištěného, poměrně hojného výskytu phurcalitu a uranofánu-beta na trhlínách liberecké žuly v Ruprechticích u Liberce jsou námětem tohoto příspěvku.

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 DS-Ri2 za použití programu NIS Elements AR verze 4.20.

Rentgenová prášková difrakční data byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s polovodičovým pozičně citlivým detektorem LynxEye za užití $\text{CuK}\alpha$ záření (40 kV, 40 mA). Práškové preparáty byly nanášeny 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



Obr. 1 Pohled na ložisko Ruprechtice od severozápadu: v popředí lom Lednice, uprostřed lom Wagner I, listopad 2018, šipkou označeno místo budoucího nálezů, foto J. Tvrďý.



Obr. 2 Ortofotomapa ložiska Ruprechtice s vyznačením místa nálezů popisované mineralizace. Vzájemně na sebe navazující lomy Lednice, Wagner I a Wagner II jsou odděleny tektonickými poruchami směřů krušnohorského (cca JZ - SV, linie I a II) a sudetského (cca SZ - JV, linie III a IV).

teoretických záznamů vypočtených programem Lazy Pulverix (Yvon et al. 1977) z publikovaných krystalových strukturních dat pro jednotlivé minerály, parametry základních cel byly následně zpřesněny pomocí programu Burnhama (1962).

Chemické složení bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (vlnově disperzní analýza) za těchto podmínek: urychlovací napětí 15 kV, proud elektronového svazku 5 nA, průměr svazku 10 μm ; použité standardy a analytické čáry: albit (NaK α), baryt (BaL α), Bi (BiM α), celestin (SK α , SrL β), chalkopyrit (CuK α), Co (CoK α), diopsid (MgK α), fluorapatit (PK α , CaK α), halit (ClK α), hematit (FeK α), klinoklas (AsL α), LiF (FK α), Ni (NiK α), rodonit (MnK α), sanidin (AlK α , SiK α , KK α), UO₂ (UM α), vanadinit (VK α), wulfenit (PbM α , MoL α) a ZnO (ZnK α). Do tabulek nebyly zařazeny analyzované prvky s obsahy pod detekčním limitem (většinou cca 0.03 - 0.1 hm. % pro jednotlivé prvky, pro Bi kolem 0.2 - 0.3 hm. %). Získaná data byla přepočítána na hm. % oxidů za použití PAP algoritmu (Pouchou, Pichoir 1985).

Charakteristika lokality

Nově studovaná mineralizace byla zjištěna v činném lomu nacházejícím se na zalesněném návrší cca 500 m sv. od Ruprechtic, které jsou dnes městskou částí Liberce (severní Čechy, Česká republika). GPS souřadnice výskytu jsou 50°47'40.11"N a 15°5'16.74"E.

Z okolí Ruprechtic je těžba kamene známa již od konce 18. století, kdy byly nejdříve zpracovávány skalní výchozy a volné bloky hornin (Pauliš, Jebavá 2013). Sommer (1834) uvádí ze žulových lomů v okolí Liberce výrobu schodových stupňů, okenních a dveřních překladů a plotových sloupků. Jedna z prvních zmínek o ruprechtickém lomu pochází z roku 1875, kdy zde došlo ke smrtelnému zranění místního učitele Františka Scholze (Nevrlý 2011). Po první světové válce byla produkce kamenického zboží rozšířena o leštěné výrobky a její značná část směřovala kromě Čech i do Německa. V roce 1930 firma J. Lange a synové zaměstnávala kolem 30 pracovníků v lomech Wagner, Lednice a Střelnice (Šrek 2012). Během 2. světové války se Lange spojil s majitelem lomu v Harcově A. Försterem do sdružení Jizerské a



Obr. 3 Místo nálezu supergenních minerálů uranu, březen 2021, foto M. Švarc.



Obr. 4 Žluté povlaky supergenních minerálů uranu na puklině liberecké žuly, prosinec 2020, foto M. Švarc.



Obr. 5 Celistvé až krystalické povlaky phurcalitu na trhlině granitu, šířka záběru 4 mm, foto J. Sejkora.



Obr. 6 Agregáty jehlicovitých krystalů phurcalitu na trhlině granitu, šířka záběru 2.5 mm, foto J. Sejkora.



Obr. 7 Celistvé až krystalické povlaky uranofánu-beta na trhlině granitu, šířka záběru 12 mm, foto J. Sejkora.

krkonošské žulové závody. Po válce byly v roce 1948 lomy znárodněny a staly se součástí národního podniku Severočeský průmysl kamene (Šrek 2012). Po privatizaci a několika dalších transformacích jsou dnes lomy v Ruprechticích v majetku akciové společnosti LIGRANIT. Na ložisku Ruprechtice je dnes evidováno 1.4 mil. m³ bilančních zásob kamene pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu (obr. 1). Vlastní těžba probíhá ve třech dnes již prakticky spojených lomech - jámový lom Lednice, polo- jámový lom Wagner I a stěnový lom Wagner II (obr. 2). Roční těžba žuly se pohybuje kolem 10 - 20 tisíc tun a kromě kamenických výrobků zahrnuje i záhozový a netříděný lomový kámen a drcené kamenivo.

Po geologické stránce náleží území krkonoško-jizerskému plutonu, který vystupuje v centru krkonoško-jizerského krystalinika a v dnešním terénním řezu má tvar protáhlé (ve směru V - Z) ležaté osmičky s maximální délkou asi 70 km a šířkou do 20 km. Morfologicky tvoří značnou část Jizerských hor, Krkonoš a Jeleniogórské kotliny v Polsku. V Ruprechticích je těžena tzv. liberecká žula, která je dominantní facií v západní části plutonu. Jde o světle růžový až načervenalý, hrubozrnný biotitový granit s nápadnými porfyrickými vyrostlicemi K-živce o velikosti 1 - 3 cm (Klomínský 1969; Klomínský et al. 2010). Hornina obsahuje průměrně 40 % K-živce, 28 % plagioklasu, 24 % křemene a kolem 8 % biotitu (Krutský et al. 1983).

Po mineralogické stránce jsou lomy v Ruprechticích známy zejména minerály pegmatitů. V pegmatitových žilách a čočkách o velikosti do 50 cm vznikajících rychlým hrubnutím zrna okolní žuly se vyskytovaly četné dutiny s krystaly K-živce o velikosti do 15 cm a až 20 cm dlouhé hnědé až hnědočerné, příčně rýhované krystaly záhněd (Kropáček 1999) doprovázené drobnými krystaly albitu, skorylu, světle modrého fluoritu, kalcitu a zeolity (Horáček, Chabr 1973). Delší dobu jsou odsud známy i výskyty supergenní uranové mineralizace vystupující na trhlinách žuly - ojedinělé žluté kůry a jemně výplně *fosfuranylitu* (Horáček, Chabr 1973 - pravděpodobně odpovídá uranofánu-beta, viz dále), hojný autunit a metaautunit jako tence tabulkovité, světle žluté krystaly o velikosti do 2 mm a jejich agregáty (Pauliš, Ševců 2002) a sytě žluté povlaky uranofánu tvořené agregáty plochých jehlicovitých krystalů o délce do 0.5 mm (Pauliš, Jebavá 2013).

Charakteristika mineralizace

Nově studovaná supergenní mineralizace se vyskytla na přelomu let 2020 a 2021 na puklinách masivních bloků hornin v oblasti poruchy IV směru cca SZ - JV (obr. 3, 4) na severním okraji lomu Wagner I. Místo nálezů je vzdáleno cca 50 m od největší poruchy III (obr. 2), na kterou byly vázány nejčastější dosud známé výskyty supergenních minerálů uranu - autunitu, metaautunitu, fosfuranylitu (=uranofánu-beta) a uranofánu.

Phurcalit vytváří na trhlinách granitu jasné až sytě žluté, celistvé až krystalické povlaky (obr. 5) na ploše až

10 × 3 mm, složené z jehlicovitých až sloupečkovitých krystalů o délce do 0.5 mm (obr. 6). Krystaly jsou průsvitné, s nevýrazným skelným leskem. V UV-záření nevykazuje luminiscenci. Místa srůstá s metaautunitem, nebyl pozorován v přímé asociaci s uranofánem-beta.

Rentgenová prášková data phurcalitu (tab. 1) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento minerální druh i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury publikované v práci Plášila et al. (2020); pozorované rozdíly v intenzitě jednotlivých difrakčních maxim jsou vyvolány malým množstvím vzorku dostupného pro experiment a přednostní orientací preparátu vyplývající

Tabulka 1 Rentgenová prášková data phurcalitu z Ruprechtic

d_{obs}	d_{calc}	I_{obs}	h	k	l	d_{obs}	d_{calc}	I_{obs}	h	k	l	d_{obs}	d_{calc}	I_{obs}	h	k	l
8.714	8.699	1.3	2	0	0	3.373	3.372	0.9	4	3	0	2.1548	2.1549	1.8	8	1	0
8.016	8.008	100.0	0	2	0	3.205	3.208	0.4	2	3	3	2.1024	2.1026	1.2	3	7	1
7.650	7.644	4.4	2	1	0	3.123	3.124	3.3	0	2	4	2.0933	2.0926	0.7	5	6	1
6.898	6.897	1.4	0	2	1	3.103	3.101	2.7	2	1	4	2.0899	2.0890	0.7	3	1	6
6.657	6.660	0.4	2	1	1	3.096	3.096	4.2	5	0	2	2.0146	2.0140	0.6	8	3	0
5.894	5.892	1.4	2	2	0	3.038	3.040	0.3	5	1	2	1.9804	1.9806	1.2	0	8	1
5.055	5.059	0.4	3	1	1	2.998	2.998	1.0	0	4	3	1.9488	1.9501	0.6	3	5	5
4.964	4.962	1.4	1	2	2	2.968	2.966	0.3	3	3	3	1.9193	1.9180	0.4	5	6	3
4.551	4.550	4.6	2	3	0	2.935	2.935	0.7	2	5	1	1.8959	1.8962	0.4	5	0	6
4.316	4.314	1.3	2	3	1	2.888	2.888	6.4	5	2	2	1.8453	1.8452	1.0	5	2	6
4.251	4.250	3.0	3	1	2	2.746	2.746	0.7	3	5	1	1.8301	1.8307	0.6	0	8	3
4.196	4.197	0.3	4	1	0	2.669	2.669	1.3	0	6	0	1.8185	1.8189	0.6	8	1	4
4.005	4.004	14.8	0	4	0	2.619	2.619	2.8	0	6	1	1.7837	1.7836	0.6	8	5	1
3.938	3.938	0.4	0	2	3	2.588	2.588	0.9	0	4	4	1.7396	1.7397	0.7	10	0	0
3.842	3.840	5.5	0	4	1	2.579	2.579	1.2	5	4	1	1.7211	1.7213	1.3	5	8	1
3.772	3.773	0.6	3	3	1	2.502	2.503	0.3	2	5	3	1.7000	1.7001	0.5	10	2	0
3.639	3.637	1.3	2	4	0	2.4494	2.4493	1.5	5	4	2	1.6701	1.6696	0.4	5	6	5
3.400	3.399	1.6	3	3	2	2.1838	2.1839	0.4	2	7	1	1.6196	1.6201	0.2	5	8	3
3.392	3.392	2.8	0	0	4												

Tabulka 2 Parametry základní cely phurcalitu z Ruprechtic (pro ortorombickou prostorovou grupu $Pbca$)

		a [Å]	b [Å]	c [Å]	V [Å ³]
Ruprechtice (CZ)	tato práce	17.3973(18)	16.0161(15)	13.5693(19)	3780.9(5)
Jáchymov (CZ)	Plášil (2020)	17.4652(5)	16.0068(5)	13.5710(4)	3793.9(2)
Shinkolobwe (DRC)	Plášil et al. (2020)	17.3785(8)	15.9864(6)	13.5477(6)	3763.8(3)
Bergen (Sasko, SRN)	Deliens, Piret (1978)	17.426(3)	16.062(3)	13.592(3)	3804
Marrivale Quarry (Dartmoor, UK)	Braithwaite et al. (1989)	17.44(2)	15.87(2)	13.56(3)	3753
Perus (Brazílie)	Atencio et al. (1991)	17.415(6)	16.035(3)	13.598(3)	3797(2)

Tabulka 3 Chemické složení phurcalitu z Ruprechtic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CaO	9.70	9.44	9.43	9.93	9.97	9.85	9.04	9.89	10.00	9.71	9.83	9.62
As ₂ O ₅	0.37	0.31	0.67	1.09	0.33	0.58	0.21	0.56	0.18	0.00	0.00	0.18
P ₂ O ₅	10.94	11.13	10.72	10.97	11.39	11.01	10.24	10.98	11.21	10.96	11.08	10.70
UO ₃	68.87	66.88	67.55	69.04	70.90	70.83	64.90	70.24	70.49	68.21	70.17	68.36
H ₂ O*	9.93	10.06	9.89	10.34	10.30	10.10	9.21	10.06	10.06	9.74	9.84	9.61
total	99.82	97.82	98.26	101.37	102.89	102.37	93.60	101.73	101.94	98.62	100.92	98.47
Ca	2.197	2.111	2.144	2.159	2.177	2.193	2.207	2.210	2.236	2.242	2.246	2.252
As	0.041	0.034	0.074	0.116	0.035	0.063	0.025	0.061	0.020	0.000	0.000	0.021
P	1.959	1.966	1.926	1.884	1.965	1.937	1.975	1.939	1.980	2.000	2.000	1.979
U	3.058	2.932	3.011	2.943	3.035	3.092	3.106	3.078	3.090	3.088	3.143	3.138
H ₂ O	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00

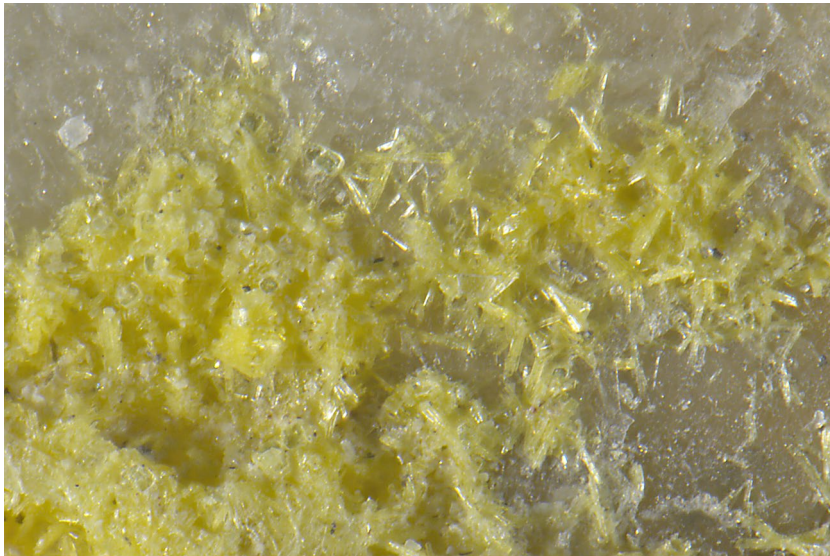
Mean - průměr 11 bodových analýz, koeficienty empirického vzorce počítány na bázi $P+As = 2 apfu$; H₂O* - dopočítaný obsah na základě teoretického obsahu 7 H₂O v phurcalitu.

zejména ze štěpnosti typu (*Ok0*). Zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 2 porovnány s publikovanými údaji. Zjištěné chemické složení phurcalitu (tab. 3) se blíží ideálnímu vzorci tohoto minerálu, v aniontu je dominantní P substituován As jen v minimálním rozsahu (do 0.12 *apfu*). Jeho empirický vzorec (průměr 11 bodových analýz) je možno na bázi $P+As = 2$ *apfu* vyjádřit jako $Ca_{2.20}(UO_2)_{3.06}(PO_4)_{1.96}(AsO_4)_{0.04}O_{2.26} \cdot 7H_2O$.

Uranofán-beta byl zjištěn jako relativně hojné, světle žluté, nesouvislé povlaky na ploše až 2 × 2 cm na trhlinách granitu (obr. 7). Jeho agregáty jsou celistvé až krystalické, složené z průsvitných až průhledných jehlicovitých krystalů se skelným leskem a délkou do 0.2 mm (obr.

8). V UV-záření nevykazuje luminiscenci. Místy srůstá s metaautinitem, přímá asociace s phurcalitem pozorována nebyla.

Rentgenová prášková data uranofánu-beta (tab. 4) dobře odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury publikované v práci Barinova et al. (2003); pozorované rozdíly v intenzitě jednotlivých difrakčních maxim jsou vyvolány přednostní orientací preparátu vyplývající z dokonalé štěpnosti (*Ok0*) typu. Zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 5 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerální druh, zjištěná vyšší hodnota parametru *b* může být vyvolána obsahy P (viz níže). Při studiu chemi-



Obr. 8 Jehlicovité krystaly uranofánu-beta na trhlíně granitu, šířka záběru 2 mm, foto J. Sejkora.

Tabulka 4 Rentgenová prášková data uranofánu-beta z Ruprechtic

$d_{obs.}$	$d_{calc.}$	$I_{obs.}$	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	$d_{obs.}$	$d_{calc.}$	$I_{obs.}$	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	$d_{obs.}$	$d_{calc.}$	$I_{obs.}$	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
7.783	7.771	100.0	0	2	0	3.182	3.183	7.3	4	2	0	2.1562	2.1563	0.7	6	1	1
6.796	6.789	1.0	1	2	0	3.057	3.058	0.9	4	1	-1	2.1267	2.1271	0.8	6	2	-1
6.629	6.621	5.4	0	0	1	3.036	3.036	2.8	2	4	-1	2.1009	2.1000	0.7	2	1	-3
6.097	6.091	6.0	0	1	1	3.024	3.020	3.4	2	0	-2	2.0793	2.0797	1.1	4	6	0
5.043	5.040	7.1	0	2	1	2.962	2.962	2.7	2	0	2	2.0302	2.0303	0.5	0	3	3
4.864	4.864	1.7	2	0	-1	2.911	2.910	0.7	2	1	2	2.0171	2.0176	0.9	2	2	3
4.641	4.642	1.0	2	1	-1	2.894	2.894	1.0	4	3	0	2.0087	2.0073	0.9	6	3	1
4.540	4.537	2.8	2	1	1	2.843	2.843	0.7	4	2	1	1.9653	1.9662	0.8	2	6	-2
4.123	4.123	3.1	2	2	-1	2.814	2.815	5.1	2	2	-2	1.9437	1.9428	2.5	0	8	0
4.079	4.080	2.3	0	3	1	2.769	2.768	2.4	2	2	2	1.9229	1.9221	1.1	6	4	-1
4.054	4.049	1.7	2	2	1	2.672	2.672	0.5	4	3	-1	1.8668	1.8674	1.3	6	1	2
3.887	3.886	28.6	0	4	0	2.591	2.590	4.6	0	6	0	1.8450	1.8460	0.7	1	8	1
3.745	3.743	1.5	1	4	0	2.4119	2.4123	0.9	0	6	1	1.8308	1.8315	0.5	4	1	3
3.547	3.546	1.2	2	3	-1	2.3833	2.3845	0.8	2	4	-2	1.8040	1.8041	1.4	2	8	-1
3.500	3.499	3.1	2	3	1	2.3560	2.3557	1.1	2	4	2	1.7347	1.7346	0.7	3	8	-1
3.487	3.489	3.4	4	0	0	2.2869	2.2863	0.6	2	6	-1	1.7247	1.7254	0.5	6	4	-2
3.404	3.404	1.1	4	1	0	2.2026	2.2016	0.5	4	5	-1	1.6969	1.6973	0.5	4	8	0
3.351	3.351	4.1	0	4	1	2.1843	2.1850	1.7	0	1	3	1.6226	1.6227	0.9	2	9	1

Tabulka 5 Parametry základní cely uranofánu-beta (pro monoklinickou prostorovou grupu $P2_1/a$)

		<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	β [°]	<i>V</i> [Å ³]
Ruprechtice	tato práce	13.959(2)	15.5420(16)	6.6227(9)	91.43(1)	1436.3(2)
Vítkov II	Sejkora, Vavřín (2014)	13.960(1)	15.468(1)	6.6318(8)	91.41(1)	1431.6(2)
Jz. Afrika	Viswanathan, Harneit (1986)	13.966(2)	15.443(4)	6.632(1)	91.38(2)	1430.2(4)
Zabajkalí	Barinova et al. (2003)	13.947	15.465	6.626	91.399	1428.73
Jáchymov	Ondruš et al. (1997)	14.07(2)	15.46(2)	6.638(8)	91.355(9)	1444

kého složení uranofánu-beta (tab. 6) byly vedle Ca, U a Si zjištěny i zvýšené obsahy P (do 0.37 *apfu*) a As (do 0.08 *apfu*) substituující v aniontu dominantní skupinu SiO_3OH . Zejména výrazně zvýšené obsahy P jsou pro tento minerál neobvyklé a zřejmě indikují jeho vznik ve fosforem bohatém prostředí. Empirický vzorec uranofánu-beta (průměr 12 bodových analýz) je možno na bázi Si+P+As = 2 *apfu* vyjádřit jako $\text{Ca}_{1.09}(\text{UO}_2)_{1.99}[(\text{SiO}_3\text{OH})_{1.68}(\text{PO}_4)_{0.29}(\text{AsO}_4)_{0.03}]_{\Sigma 2.00} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Tzv. „**fosfuranylit**“ publikovaný z Ruprechtic v práci Horáček, Chabr (1973) je velmi pravděpodobně identický se zde nově popsaným uranofánem-beta. Jeho morfologická charakteristika a optické vlastnosti se od uranofánu-beta neliší a jeho publikovaná rentgenová prášková data vykazují výrazně lepší shodu s údaji uranofánu-beta než fosfuranylitu (tab. 7). Jeho chemické složení v původním popisu (Horáček, Chabr 1973) nebylo stanoveno.

Metaautunit se ve studovaném materiálu vyskytuje dosti hojně, a to jak samostatně, tak i v asociaci s phurcalitem nebo uranofánem-beta. Obvykle vytváří na ploše až několika cm^2 světle žluté agregáty složené z drobných (do 0.5 mm) tabulkovitých krystalů nebo lupenité agregáty či vzácněji i samostatně vyvinuté, dobře omezené, tence tabulkovité krystaly o velikosti do několika mm. Od ostatních minerálů v asociaci se zřetelně odlišuje velmi výraznou žlutozelenou luminiscencí v krátko- i dlouhovlnném UV-zářením.

Jeho rentgenová prášková data velmi dobře odpovídají publikovaným údajům. Krystalová struktura přírodního metaautunitu nebyla dosud vyřešena; pro indexaci bylo využito struktury metatorbernitů (Locock, Burns 2003) s náhradou atomu $\text{Ca} \rightarrow \text{Cu}$ a použitím vstupních parametrů uváděných pro metaautunit v práci Sidorenko (1981). Významné rozdíly pozorované v intenzitě jednotlivých difrakčních maxim jsou vyvolány přednostní orientací preparátu vyplývající z dokonalé štěpnosti (001) typu. Zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 8 porovnány s publikovanými údaji. Chemické složení metaautunitu (tab. 9) velmi dobře odpovídá ideálnímu vzorci, v aniontu byl zjištěn jen minoritní rozsah AsP_{-1} substituce nepřesahující obsahy 0.07 *apfu* P. Empirický vzorec (průměr šesti bodových analýz) na bázi P+As = 2 *apfu* je $\text{Ca}_{1.03}(\text{UO}_2)_{2.09}(\text{PO}_4)_{1.96}(\text{AsO}_4)_{0.04} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat Martinu Švarcovi a Jaroslavu Šutákovi (Liberec) za poskytnutí studijního materiálu a fotografií z místa nálezu. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování výzkumné organizace Národního muzea (00023272 - cíl DKRVO 1.II.d).

Literatura

- ATENCIO D, NEUMANN R, SILVA AJGC, MASCARENHAS YP (1991) Phurcalite from Perus, Sao Paulo, Brazil and redetermination of its crystal structure. *Am Mineral* 29: 95-105
- BARINOVA AV, RASTSVETAJEVA RK, SIDORENKO GA, VERIN IA (2003) Crystal structure of β -uranophane from the Transbaikal region and its relation to the structure of the α modification. *Crystallogr Rep* 48: 12-15
- BRAITHWAITE RSW, PAAR WH, CHISHOLM JE (1989) Phurcalite from Dartmoor, southwest England, and its identity with „naisite“ from Portugal. *Mineral Mag* 53: 583-589
- BURNHAM CHW (1962) Lattice constant refinement. *Carnegie Inst Washington Year Book* 61: 132-135
- DELIENS M, PIRET P (1978) La phurcalite, $\text{Ca}_2(\text{UO}_2)_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, nouveau minéral. *Bull Minéral* 101: 356-358
- HORÁČEK J, CHABR P (1973) Nové minerály pegmatitových žil z Liberce-Ruprechtic. *Sbor Severočes Mus, přír Vědy* 5: 27-33
- KLOMÍNSKÝ J (1969) Krkonoško-jizerský granitoidní masív. *Sbor geol Věd, Geol* 15: 7-134
- KLOMÍNSKÝ J, JARCHOVSKÝ T, RAJPOOT GS (2010) Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif. 4. Lucicum. *Czech Geological Survey* 1-78, Prague.
- KROPÁČEK V (1999) Záhnedý na Liberecku. *Minerál* 7(1): 6-7
- KRUTSKÝ N, HAŠLAR O, GRÜNNEROVÁ P, ČTYROKÝ V (1983) Dekorační kameny. *In: KUŽVART M (ed) Ložiska nerudných surovin ČSR 290-314*. Univerzita Karlova Praha
- LOCOCK AJ, BURNS PC (2003) Crystal structures and synthesis of the copper - dominant members of the autunit and meta-autunit groups: torbernite, zeunerite, metatorbernite and metazeunerite. *Can Mineral* 41: 498-502
- NEVRLÝ M (2011) Kniha o Jizerských horách. *Vestř 1-352*. Liberec
- 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: 3-76
- PAULÍŠ P (2021) Nový přehled minerálů České republiky a jejich lokalit. 3. doplněné a rozšířené vydání. 368 s, Kutná Hora
- PAULÍŠ P, JEBAVÁ I (2013) Bertrandit a uranofán z lomu Wagner v Ruprechticích. *Minerál* 21(4): 305-310
- PAULÍŠ P, ŠEVCŮ J (2002) Autunit a metaautunit z Ruprechtic u Liberce. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 10: 328-329
- PAULÍŠ P, SEJKORA J, URBAN M, NESRSTA M, VRTIŠKA L, MALÍKOVÁ R, POUR O, LAUFEK F (2016) Uranová supergenní mineralizace s fosfuranylitem z Abertam, Krušné hory (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 24(1): 46-55
- PLÁŠIL J (2020) Krystalová struktura phurcalitu, $\text{Ca}_2[(\text{UO}_2)_3\text{O}_2(\text{PO}_4)_2] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, z Jáchymova. *Bull Mineral Petrolog* 28(2): 276-280
- PLÁŠIL J, SEJKORA J, ČEJKA J, ŠKODA R, GOLIÁŠ V (2009) Supergene mineralization of the Medvědin uranium deposit, Krkonoše Mountains, Czech Republic. *J Geosci* 54: 15-56
- PLÁŠIL J, KIEFER B, GHAZISAEED S, PHILIPPO S (2020) Hydrogen bonding in the crystal structure of phurcalite, $\text{Ca}_2[(\text{UO}_2)_3\text{O}_2(\text{PO}_4)_2] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: single-crystal X-ray study and TORQUE calculations. *Acta Cryst B* 76: 502-509
- POUCHOU J, PICOIR F (1985) „PAP“ ($\phi\rho z$) procedure for improved quantitative microanalysis. *In: Armstrong JT (ed): Microbeam Analysis: 104-106*. San Francisco Press San Francisco
- SEJKORA J, VAVŘÍN I (2014) Vybrané supergenní minerály uranu z tachovské rudní oblasti (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 22(1): 123-130

-
- SEJKORA J, VESELOVSKÝ F, ŠREIN V (1994) The supergene mineralization of uranium occurrence Rýžoviště near Harrachov (Krkonoše Mts., Czech Republic). Acta Mus Nat Pragae, ser B (Historia Nat) 50: 55-91
- SEJKORA J, MAZUCH J, ABERT F, ŠREIN V, NOVOTNÁ M (1997) Supergenní mineralizace uranového ložiska Slavkovic na západní Moravě. Acta Mus Moraviae, Sci nat 81: 3-24
- SIDORENKO GA (1981) Rentgenografičeskij opredelitel' mineralov urana: spravočnik. Energoizdat, 1-189, Moskva
- SOMMER JG (1834) Das Königreich Böhmen; statistisch-topographisch dargestellt. Zweiter Band: Bunzlauer Kreis. J.G. Calve'schen Buchhandlung 1-417, Prag
- ŠREK J (2012) Žulové lomy Liberecka a Jablonecka. Nakl Petr Polda 1-64, Liberec
- VISWANATHAN K, HARNEIT O (1986) Refined crystal structure of beta-uranophane $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_5$. Am Mineral 71: 1489-1493
- 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