

Anomální výskyt metazeuneritu na hořícím uhelném odvalu v Bečkově u Trutnova (Česká republika)

An anomalous occurrence of metazeunerite at the burning coal mine dump at Bečkov near Trutnov (Czech Republic)

JIŘÍ SEJKORA¹⁾, PETR PAULIŠ²⁾, PETR RUS³⁾, RADEK ŠKODA⁴⁾ A LUBOŠ KOŤÁTKO⁵⁾

¹⁾ Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice; e-mail: jiri_sejkora@nm.cz

²⁾ Smíškova 564, 284 01 Kutná Hora

³⁾ Mánesova 120, 541 01 Trutnov

⁴⁾ Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno

⁵⁾ Chelčického 5, 466 02 Jablonec nad Nisou

SEJKORA J., PAULIŠ P., RUS P., ŠKODA R., KOŤÁTKO L. (2012) Anomální výskyt metazeuneritu na hořícím uhelném odvalu v Bečkově u Trutnova (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 20, 2, 177-182. ISSN 1211-0329.*

Abstract

A hydrated uranyl copper arsenate, mineral metazeunerite, was found in the material from burned coal mine dump at the abandoned uranium and coal deposit Bečkov near Trutnov, north-eastern Bohemia, Czech Republic. Metazeunerite forms very light green irregular aggregates up to 1 mm composed by tiny (2 - 20 µm) tabular crystals in association with white anglesite aggregates and white gypsum crystals at fragments of caustic metamorphosed rocks. Metazeunerite is tetragonal, space group $P4/n$, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: a 7.090(1), c 17.439(3) Å and V 876.6(3) Å³. Chemical analyses correspond to the empirical formula $(\text{Cu}_{0.78}\text{Al}_{0.21}\text{K}_{0.12}\text{Na}_{0.05}\text{Pb}_{0.05}\text{Zn}_{0.03}\text{Ca}_{0.01})_{\Sigma 1.25}(\text{UO}_2)_{2.00}[(\text{AsO}_4)_{1.42}(\text{PO}_4)_{0.34}(\text{SO}_4)_{0.18}(\text{SiO}_4)_{0.06}]_{\Sigma 2.00} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ on the basis $(\text{As}+\text{P}+\text{S}+\text{Si}) = 2 \text{ apfu}$. A possibility that metazeunerite formed from hot gases in conditions of burning coal mine dump is discussed in the paper.

Key words: metazeunerite, powder X-ray diffraction data, chemical composition, burning coal mine dump, transport of uranium in hot gasses, Bečkov near Trutnov, Czech Republic

Úvod

Zeunerit, $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$, a jeho postupnou dehydratací vznikající metazeunerit, $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$, patří k supergenním minerálům uranu popisovaným zejména ze supergenních zón *in-situ* uranových ložisek. Zmínit můžeme zejména jeho tabulkovité krystaly ojediněle dosahující velikosti až 5 mm z ložiska Zálesí (Pauliš, Zíma 1982; Sejkora et al. 2008), výskyty až 2 mm velkých krystalů z jáchymovského revíru z oblasti dolu Rovnost (Ondruš et al. 1997; Sejkora et al. 2011) nebo výskyty v uranovém revíru Horní Slavkov (Plášil et al. 2006). Známe je i z greisenové Sn-W mineralizace (hojné výskyty dokonale vyvinutých krystalů o velikosti do 1 cm na ložisku Cínovec - Jansa et al. 1998). Nověji byl zjištěn i (sub) recentní vznik jeho světle zelených až 1 mm velkých tabulkovitých krystalů spolu s uranospinitem v haldovém materiálu odvalu šachty č. 16 - Háje v Příbrami (Plášil et al. 2008). Výskyty (meta)zeuneritu v prostředí hořících uhelných odvalů u nás dosud známy nebyly.

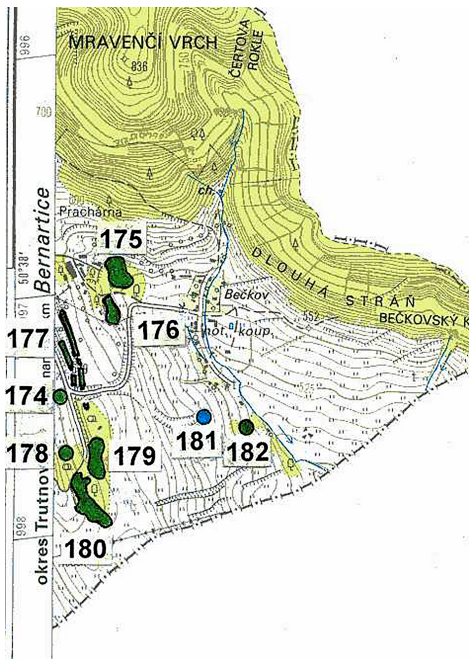
Topografická a geologická situace lokality Bečkov (ložisko Rybníček)

Lokalita Bečkov je součástí uranového ložiska Rybníček (zvaného též Novátor) a je lokalizována cca 9 km sv. od Trutnova (obr. 1) v severovýchodních Čechách (Česká republika). Ložisko bylo v průzkumu v letech 1947 - 1953 s následnou těžbou v období 1953 - 1957. Ložisko bylo

otevřeno dvěma hlavními jamami (č. 3 a 4) a 14 průzkumnými úpadnicemi. Hlavní těžební jáma č. 3 leží severně od obce Rybníček a je přístupná ze silnice Bernartice - Rybníček. Do hloubky 198.6 m byla vyhloubena v letech 1952 - 1954 a v roce 1960 byla zasypána a uzavřena betonovou deskou. Těžební a později větrací jáma č. 4 leží asi 500 m sv. od Rybníčku. Do hloubky 74 m byla vyhloubena v letech 1951 - 1952 a v roce 1960 byla zasypána (Cimala 1997). Ložisko bylo otevřeno na 10 důlních patrech v hloubkách od 20 do 170 m. Těžební práce na ložisku se soustředily do dvou významnějších rudních těles, které byly tvořeny systémem drobných rudních čoček v uhelném propláستku. Těžba uranové rudy byla ukončena v roce 1957, kdy byl důl předán k další těžbě uhlí (Hřebeč, Veselý 1984). Získáno zde bylo 170.8 t uranu (Kolektiv 2003).

Uranové zrudnění je vázáno na rybníčskou uhelnou sloj verněřovických vrstev chvalečského souvrství (autunského stáří). Sloj je vyvinuta v širším okolí obce Rybníček a její reprezentant zasahuje na sz. až k Bernarticím, na jv. až do severního okolí Chvalče.

Uhelná sloj má mocnost 0.4 - 0.8 m včetně propláستku uhelného jílovce s mocností okolo 0.1 m. Uranové zrudnění je vázáno hlavně na propláستek a dále na uhelné propláستky v arkózovitých a aleuritických pískovcích v nadložní sloje, vzdálených od ní 0.4 - 0.5 m. Mocnost zrudnění byla relativně malá, obsahy uranu však poměrně vysoké. Převládalo zde jemně dispergované uranové zrudnění



Obr. 1 Topografické schéma s vyznačením haldy dolu č. 3 Bečkov u Trutnova (č. 175 a 176 na mapě); Další lokality: 177-Novátor, hřbety; 178-úpadnice 18; 179-důl č. 4; 180-úpadnice 15 a 7; 181-bývalá vápenka; 182-úpadnice 23 (podle Malce 2001).

tvořené uranovými černěmi a vzácně uraninitem. Kromě uranového zrudnění byly v uhelné slouji zjištěny pyrit, galenit, sfalerit a chalkopyrit. Uváděny jsou i vysoké obsahy Mo a Ti a zvýšené obsahy Se (Hřebec, Veselý 1984).

Při kaustických procesech na haldě došlo k mobilizaci olova a dalších prvků a ke vzniku pozoruhodné (sub) recentní minerální asociace vázané na depozici desublimátů z horkých plynů. Paděra (1964) zde uvádí až 1 cm velké kostrovité krystaly galenitu, který je zčásti či zcela pseudomorfován anglesitem. Z dalších minerálů jsou tímto autorem uváděny práškovité až zemité agregáty minia, nerost apatitové skupiny s olovem (pyromorfit ?), žluté vý-

květy ryzí síry, výkvěty a krystalované agregáty salmiaku, selen a blíže nespecifikované sulfáty. Nověji Křibek et al. (2008) v rámci biogeochemického studia haldy studovali koncentrát těžkých minerálů z vyhořelé části haldy; zjistili zde pomocí energiově-disperzních analýz jehlicovité agregáty Pb, Sn a slitiny s proměnlivým zastoupením Pb-Sn, galenit, oxid Pb-Sn, oxid Pb-Zn-As, bílý a červený oxid Pb, oxid Sn, anglesit, kovový Se, oxidickou Pb-Se fází, Fe-oxidy s proměnlivými příměsemi Cu, V, Zn a As a vzácně i zelenou fází Cu-As-O; samostatné minerály uranu v rámci tohoto výzkumu zjištěny nebyly.

Charakteristika nálezů

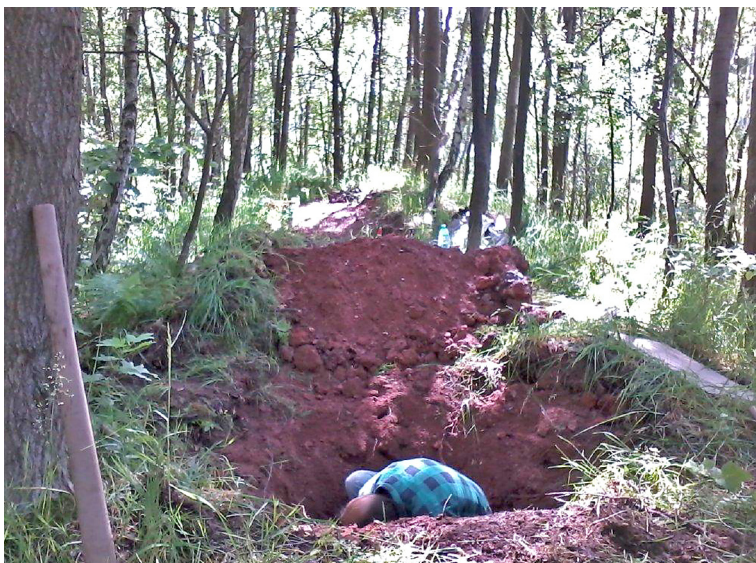
Halda jámy č. 3 lokalizovaná pod dnes opuštěným areálem bývalého dolu Novátor (asi 150 m szs. od Bečkova) je představována valem složeným z několika dílčích hřbetů a kup o výšce do 25 m, odhadovaný objem haldy je cca 122 tisíc m³ (Malec 2001). Haldový materiál je představován úlomky šedých břidlic, pískovce, uhlí a červeně zbarvených kausticky postižených hornin. Halda byla především v šedesátých letech minulého století postižena kaustickými procesy po samovznícení deponované uhelné hmoty, dnes zde již procesy hoření nejsou pozorovatelné. Halda má celkově vysokou radioaktivitu (0.29 - 1.18 μ Sv/hod), nebyla rekultivována a dnes je z větší části zarostlá porostem náletových dřevin, zejména bříz a v menší míře buků (Malec 2001; Křibek et al. 2008).

V letech 2011 - 2012 byly z prohořelé části haldy odebrány (PR, LK) vzorky pro revizní mineralogický výzkum (obr. 2). Nalezeny zde byly již dříve (Paděra 1964) popisované minerální druhy (salmiak, anglesit apod.) a několik úlomků kausticky silně přeměněných hornin s makroskopickou uranovou mineralizací, které jsou předmětem této studie.

Metodika výzkumu

Povrchová morfologie vzorků byla sledována v dopadajícím světle pomocí optického mikroskopu Nikon SMZ1500 s digitální kamerou DXM1200F; tento mikroskop byl použit i pro detailní separaci monominerálních fází pro další podrobný výzkum. Detaily povrchové morfologie pak byly studovány v obrazu sekundárních elektronů na elektronovém scanovacím mikroskopu Hitachi S3700-N (Národní muzeum, Praha).

Rentgenová prášková difrakční data metazeuneritu byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s polovodičovým pozicně citlivým detektorem LynxEye za užití CuK α záření (40 kV, 40 mA). Práškový preparát byl nanesen v acetonové suspenzi na nosič zhotovené 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 12 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 krystalových struktur dat publikovaných Looockem, Burnsem (2003), parametry základní cely pak byly zpřesněny pomocí programu Burnhama (1962).



Obr. 2 Odběr vzorků na haldě dolu č. 3 Bečkov u Trutnova. Foto L. Kořátko, květen 2011.

Chemické složení metazeuneritu bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta, MU Brno) za podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 2 nA, průměr svazku 20 μm , standardy: andradit (Ca, Fe), baryt (Ba, S), albit (Na), vanadinit (Pb, V), lammerit (Cu, As), sanidin (Si, Al, K), MgAl_2O_4 (Mg), ZnO (Zn), Bi (Bi), fluorapatit (P), Co (Co), Ni (Ni), NaCl (Cl), spessartin (Mn) a U (U). Obsahy měřených prvků, které nejsou uvedeny v tabulce, byly pod mezí detekce přístroje (cca 0.03 - 0.05 hm. %). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985). Snížené experimentální sumy chemických analýz jsou pravděpodobně vyvolány mikropórovitým charakterem analyzovaných agregátů a nezcela dokonalým povrchem leštěného nábrusu.

Charakteristika metazeuneritu

Metazeunerit byl zjištěn na několika fragmentech výrazně kausticky postížené červenohnědé horniny. Vytváří zde světlé zelené nesouvislé povlaky na ploše až 1 x 1 cm (obr. 3) narůstající na celistvé bělošedé agregáty anglesitu o velikosti do 1 cm. Povlaky metazeuneritu jsou tvořeny velmi jemně krystalickými agregáty o velikosti do 0.5 - 1 mm s perleťovým až nevýrazně skelným leskem (obr. 4). Jednotlivé náhodně srůstající

Obr. 4 Drobně krystalický agregát metazeuneritu narůstající na anglesit, Bečkov u Trutnova. Šířka obrázku 2 mm, foto J. Sejkora.

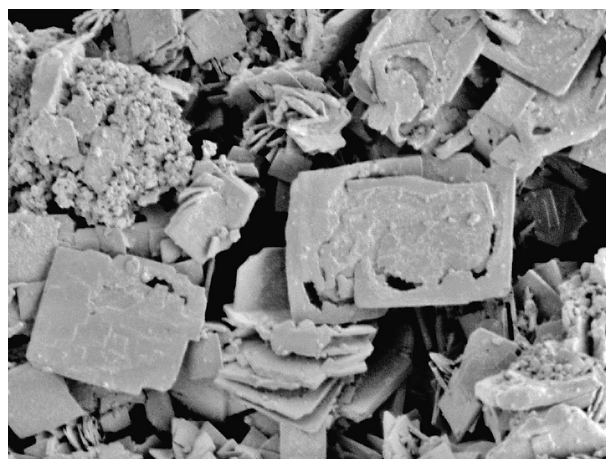
→



Obr. 3 Nepravidelné světlé zelené agregáty metazeuneritu narůstající na bělavé celistvé agregáty anglesitu v asociaci se sloupcovitými bílými krystaly sádrovice, Bečkov u Trutnova. Šířka obrázku 1 cm, foto J. Sejkora.



Obr. 5 Náhodně srůstající tabulkovité krystaly metazeuneritu, Bečkov u Trutnova. Šířka obrázku 50 μm , SEM foto J. Sejkora.



Obr. 6 Kostrovitý vývoj tabulkovitých krystalů metazeuneritu, Bečkov u Trutnova. Šířka obrázku 35 μm , SEM foto J. Sejkora.

Tabulka 1 Rentgenová prášková data metazeuneritu z Bečkova

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}
0	0	2	8.731	100	8.720
1	0	2	5.502	7	5.501
1	1	0	5.014	4	5.013
0	0	4	4.360	8	4.360
1	0	4	3.715	19	3.714
2	0	0	3.544	6	3.545
2	0	2	3.284	5	3.284
2	1	2	2.982	2	2.980
1	2	4	2.564	2	2.564
2	2	0	2.506	1	2.507
2	2	2	2.4071	1	2.4090
3	0	2	2.2782	1	2.2810
1	3	0	2.2423	1	2.2420
0	0	8	2.1804	3	2.1799
2	1	6	2.1417	1	2.1425
3	0	4	2.0795	2	2.0777
1	1	8	1.9994	2	1.9991
2	0	8	1.8560	1	1.8569
3	2	4	1.7930	1	1.7925
4	0	0	1.7731	1	1.7724
1	1	10	1.6471	2	1.6471

tabulkovité krystaly metazeuneritu dosahují obvykle jen velikosti kolem 2 - 5 μm (obr. 5), vzácněji až do 15 - 20 μm; větší krystaly jsou často zřetelně kostrovitě vyvinuty (obr. 6). Vedle anglesitu byly v asociaci s metazeuneritem pozorovány hojně zakalené bílé krystaly sádrovce o délce do 3 mm.

Rentgenová prášková data metazeuneritu z Bečkova (tab. 1) odpovídají uváděným údajům pro tuto minerální fázi i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalových strukturálních dat publikovaných v práci Locock, Burns (2003); intenzity experimentálního záznamu jsou výraz-

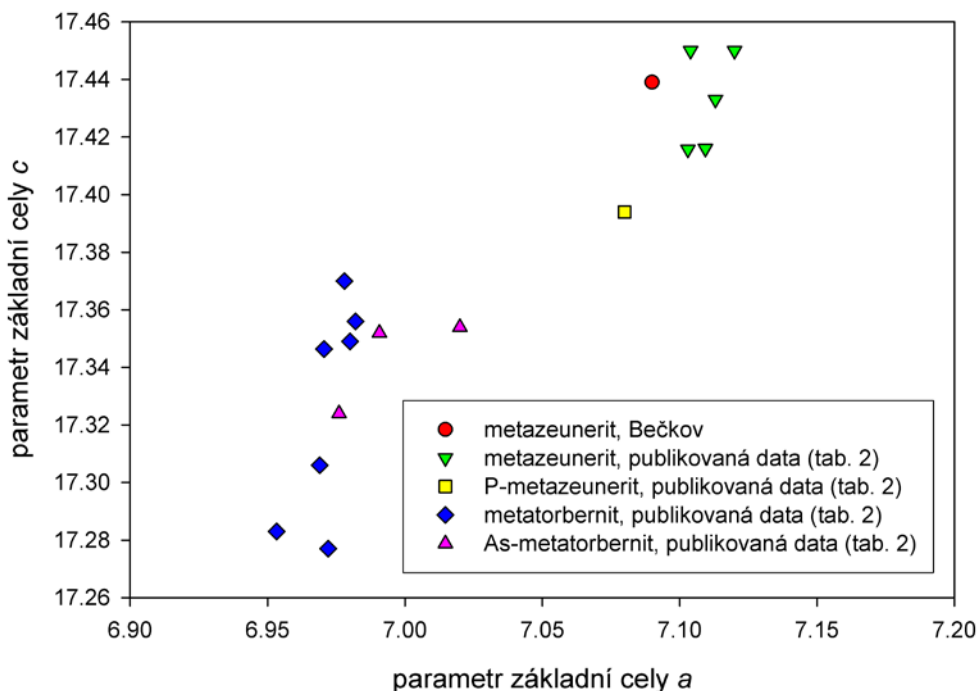
ně ovlivněny přednostní orientací (001) typu vyvolanou dokonalou štěpností studované minerální fáze. Zpřesněné mřížkové parametry metazeuneritu z Bečkova jsou v tabulce 2 porovnány s publikovanými daty pro minerály izomorfní řady metazeunerit - metatorbernit. Z tabulky 2 i obrázku 7 je zřejmé, že metazeunerit z Bečkova vykazuje proti P-bohatým metazeuneritům zejména zvýšenou hodnotu mřížkového parametru *a*; tento jev je pravděpodobně vyvolán minoritní izomorfní příměsí Al, K a S (viz následující odstavce).

Při kvantitativním studiu chemického složení metazeuneritu z Bečkova (tab. 3) byly vedle dominantního Cu, U a As zjištěny i významnější obsahy dalších prvků. V kationtové části vzorce byly vedle minoritních Na, Pb, Zn a Ca zjištěny i neobvyklé obsahy Al dosahující až 0.27 *apfu* a K do 0.15 *apfu*. Tyto zjištěné obsahy jsou o to zajímavější, protože analogické Al- a K-dominantní uranylarsenáty nejsou izostrukturální s metazeuneritem. V aniontu se pak vedle obsahů P v rozmezí 0.32 - 0.37 *apfu* (dobře dokumentovaná izomorfní řada metazeunerit - metatorbernit) uplatňuje významně i sulfátová skupina (0.14 - 0.21 *pfu*); zastoupení sulfátů v krystalové struktuře minerálů skupiny autunitu dosud v dostupné literatuře popsáno nebylo. Empirický vzorec (průměr 3 bodových analýz) metazeuneritu z Bečkova je možno na bázi (As+P+S+Si) = 2 *apfu* vyjádřit jako $(\text{Cu}_{0.78}\text{Al}_{0.21}\text{K}_{0.12}\text{Na}_{0.05}\text{Pb}_{0.05}\text{Zn}_{0.03}\text{Ca}_{0.01})_{\Sigma 1.25}(\text{UO}_2)_{2.00}[(\text{AsO}_4)_{1.42}(\text{PO}_4)_{0.34}(\text{SO}_4)_{0.18}(\text{SiO}_4)_{0.06}]_{\Sigma 2.00} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Diskuse a závěr

Otevřenou otázkou je vznik popisovaného metazeuneritu v prostředí dnes již vychladlého hořčího uhelného odvalu. Vzhledem k charakteru místa nálezů a zjištěných vzorků připadají v úvahu v podstatě pouze dvě možné hypotézy.

První hypotézou je vznik z migrujících roztoků v haldovém materiálu až po jeho vychladnutí, podobný typ vzniku agregátů metazeuneritu - metauranospinitu popisují z haldového materiálu dolu 16 - Háje v příbramském uran - polymetalickém rudním revíru Plášil et al. (2008);



Obr. 7 Graf parametrů základní cely (*a* a *c*) pro minerály izomorfní řady metazeunerit - metatorbernit.

Tabulka 2 Mřížkové parametry metazeuneritu z Bečkova v porovnání s publikovanými údaji pro minerály izomorfní řady metazeunerit - metatorbernit (pro tetragonální prostorovou grupu P4/n)

minerál	lokalita	aniont	reference	a [Å]	c [Å]	V [Å ³]
metazeunerit	Bečkov	As>P	tato práce	7.090(1)	17.439(3)	876.6(3)
metazeunerit	synt.	As	Locock, Burns (2003)	7.1094(1)	17.416(1)	880.3(1)
metazeunerit	Majuba Hill, USA	As	Ross et al. (1964)	7.12	17.45	884.6
metazeunerit		As	Walenta (1965)	7.104	17.45	880.6
metazeunerit	Cínovec	As>P	Jansa et al. (1998)	7.080(2)	17.394(5)	871.9
metazeunerit	Jáchymov	As	Sejkora et al. (2011)	7.103(7)	17.4157(2)	878.6(9)
metazeunerit	Jáchymov	As	Ondruš et al. (1997)	7.113(1)	17.433(3)	882.0
metatorbernit	synt.	P	Locock, Burns (2003)	6.9756	17.349	844.2(1)
metatorbernit	Medvědí	P>As	Plášil et al. (2009)	6.976(2)	17.324(3)	843.1(4)
metatorbernit	Rýžoviště	P	Sejkora et al. (1994)	6.9533(8)	17.283(3)	835.6
metatorbernit	Horní Halže	P>As	Sejkora et al. (2007)	6.9907(8)	17.352(2)	848.1(1)
metatorbernit	Příbram	P>>As	Ondruš, Hyrší (1989)	7.020(1)	17.354(3)	855.2
metatorbernit	H. Slavkov	P	Plášil et al. (2006)	6.9705(7)	17.3464(8)	842.8
metatorbernit	Jáchymov	P	Ondruš et al. (1997)	6.978(3)	17.37(1)	845.8
metatorbernit	Jáchymov	P	Ondruš et al. (1997)	6.982(1)	17.356(5)	846.1
metatorbernit	Schneeberg, SRN	P	Ross et al. (1964)	6.969(1)	17.306(1)	840.5
metatorbernit	Vathi, Řecko	P	Stergiou et al. (1993)	6.972(1)	17.277(8)	839.8

Tabulka 3 Chemické složení metazeuneritu z Bečkova (hm. %)

	mean	1	2	3
Na ₂ O	0.12	0.20	0.07	0.10
K ₂ O	0.50	0.61	0.52	0.37
CaO	0.06	0.00	0.19	0.00
PbO	0.90	0.67	0.68	1.34
CuO	5.55	6.49	5.06	5.08
ZnO	0.20	0.00	0.26	0.33
Al ₂ O ₃	0.96	1.18	1.00	0.69
SiO ₂	0.31	0.24	0.52	0.19
As ₂ O ₅	14.55	14.10	14.47	15.10
P ₂ O ₅	2.16	2.08	2.06	2.35
SO ₃	1.25	1.43	1.35	0.97
UO ₃	50.77	51.29	48.82	52.19
H ₂ O*	12.82	12.52	13.00	12.94
total	90.15	90.80	88.00	91.65
Na ⁺	0.045	0.073	0.026	0.037
K ⁺	0.119	0.148	0.122	0.088
Ca ²⁺	0.013	0.000	0.037	0.000
Pb ²⁺	0.045	0.035	0.034	0.067
Cu ²⁺	0.784	0.940	0.705	0.712
Zn ²⁺	0.027	0.000	0.035	0.045
Al ³⁺	0.211	0.267	0.218	0.151
Σ M	1.244	1.463	1.178	1.099
Si ⁴⁺	0.059	0.045	0.096	0.034
As ⁵⁺	1.423	1.412	1.395	1.462
P ⁵⁺	0.343	0.337	0.322	0.368
S ⁶⁺	0.176	0.206	0.187	0.135
Σ T	2.000	2.000	2.000	2.000
U ⁶⁺	1.995	2.064	1.892	2.031
H ⁺	15.996	16.001	15.994	15.993

H₂O* - obsah vypočtený na bázi teoretického obsahu 8 H₂O v metazeuneritu; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi (As+P+S+Si) = 2 apfu.

tato halda samozřejmě nebyla jakkoliv postižena termickými procesy.

Druhou možností je vznik studovaného metazeuneritu přímou depozicí z horkých plynů vznikajících při samovolném hoření haldového materiálu. Pro tuto hypotézu nasvědčuje mikrokrystalický charakter agregátů metazeuneritu, kostrovitý vývoj některých jeho tabulkovitých krystalů a v neposlední řadě velmi neobvyklé chemické složení s významnějšími obsahy K, Al a S. V literatuře však dosud nebyl z přírodního prostředí popsán transport U v horkých plynech. Vznik karbonátu uranylu, bayleyitu, popisovaného z hořících břidlic s obsahem organické hmoty a uranovým zrudněním na ložisku Ronneburg (Durynsko, SRN) je podle práce Rüger, Witzke (1998) vázán na reakci uranyl-obsahujících roztoků s horkými plyny. Podrobné mineralogické studium nedalekého hořícího uhelného odvalu dolu Kateřina v Radvanicích u Trutnova (Sejkora 2002), který v letech 1952 - 1957 těžil uranovou mineralizace vázanou na uhelnou hmotu radvanického souslojí (získáno 387 t U), prokázalo přenos celé řady chemických prvků v plynné fázi - As, Bi, Cd, Ge, Mo, Pb, Sb, Se, Sn, Te, Zn apod. (Sejkora et al. 1997, 1998, 1999, 2001, 2002; Sejkora, Kotrlý 1998; Žáček, Ondruš 1997); žádný novotvořený uranový minerál zde však přes velmi podrobný výzkum zjištěn nebyl.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za spolupráci při laboratorním studiu B. Ekrtovi (Národní muzeum, Brno). Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 00023272).

Literatura

- Burnham Ch. W. (1962) Lattice constant refinement. *Carnegie Inst. Washington Year Book* 61, 132-135.
- Cimala Z. (1997) Po stopách průzkumu a těžby uranových ložisek na Moravě a východních Čechách. *GEAM, Dolní Rožinka*, 129 s.
- Hřebeč J., Veselý T. (1984) Malá uranová ložiska Českého masivu v horninách permokarbonu. *Geol. Hydro-metalurg. Uranu* 8, 1, 27-54.
- Jansa J., Novák F., Pauliš P., Scharmová M. (1998) Supergenní minerály Sn-W ložiska Cínovec v Krušných horách (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 6, 83-101.
- Kříbek B., Malec J., Barnett I., Knésl I., Lukeš P. (2008) Biogeochemická akumulace těžkých kovů na haldě opuštěného uhelného a uranového dolu v Bečkově u Žacléře. *Zpr. geol. Výzk. v R. 2007*, 167-172.
- Kolektiv (2003) Rudné a uranové hornictví České republiky. *Anagram, Ostrava*.
- Locock A. J., Burns P. C. (2003) Crystal structures and synthesis of the copper-dominant members of the autunite and meta-autunite groups: torbernite, zeunerite, metatorbernite and metazeunerite. *Can. Mineral.* 41, 489-502.
- Malec J. (2001) Klasifikace a možnosti využití starých odvalů na Trutnovsku. *MS, ÚNS-Výzkum, s.r.o., Kutná Hora*.
- Ondruš P. (1993) ZDS - A computer program for analysis of X-ray powder diffraction patterns. *Materials Science Forum*, 133-136, 297-300, EPDIC-2. *Enchede*.
- Ondruš P., Hyršl J. (1989) New finds and revision of secondary minerals from Příbram district. *Acta Univ. Carol. (Praha), Geol.*, 521-533.
- 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.
- Paděra K. (1964) Nález nerostů s podstatným obsahem olova na hořících haldách od Bečkova u Trutnova. *Čas. Mineral. Geol.* 9, 4, 479-480.
- Pauliš P., Zíma J. (1982) Sekundární minerály ložiska uranových rud Zálesí u Javorníka ve Slezsku. *Čas. Slez. Muz., Sér. A* 31, 129-148.
- Plášil J., Sejkora J., Čejka J., Škácha P., Goliáš V., Pavlíček R., Hofman P. (2008) Supergenní mineralizace z haldy šachty č. 16 Příbram - Háje. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 16, 1, 43-55.
- Plášil J., Sejkora J., Čejka J., Škoda R., Goliáš V. (2009) Supergene mineralization of the Medvědí uranium deposit, Krkonoše Mountains, Czech Republic. *J. Geosci.* 54, 15-56.
- Plášil J., Sejkora J., Ondruš P., Veselovský F., Beran P., Goliáš V. (2006) Supergene minerals in the Horní Slavkov uranium ore district, Czech Republic. *J. Czech Geol. Soc.* 51, 1-2, 149-158.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" (φρZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (J. T. Armstrong, ed.). *San Francisco Press, San Francisco*, 104-106.
- Röss M., Evans H. T., Appleman D. E. (1964) Studies of the torbernite minerals (II): The crystal structure of meta-torbernite. *Am. Mineral.* 49, 1603-1621.
- Rüger F., Witzke T. (1998) Häufige Begleiterscheinung des Ronnenburger Uranerzbergbaus. Brände durch Selbstentzündung. *Lapis* 23, 7/8, 19-23.
- Sejkora J. (2002) Minerální asociace hořícího odvalu dolu Kateřina v Radvanicích u Trutnova a procesy jejího vzniku. *MS, disertační práce, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno*, 1-144.
- Sejkora J., Berlepsch P., Makovický E., Balic-Zunic T. (2001) Natural SnGeS₃ from Radvanice near Trutnov (Czech Republic): its description, crystal structure refinement and solid solution with PbGeS₃. *Eur. J. Mineral.* 13, 791 - 800.
- Sejkora J., Berlepsch P., Makovický E., Balič-Zunič T., Litochleb J. (2002) Teallite from Radvanice near Trutnov (Czech Republic). *N. Jb. Miner. Abh.* 177, 163-180.
- Sejkora J., Čejka J., Šrein V. (2007) Supergene uranium mineralization from Horní Halže near Mědenec (Krušné hory Mountains), Czech Republic. *J. Geosci.* 52, 119-210.
- Sejkora J., Kotrlý M. (1998) A new cadmium sulfate natural phase from Radvanice near Trutnov (Czech Republic). *Věst. Čes. geol. Úst.* 73, 4, 321-326.
- Sejkora J., Pauliš P., Tvrđý J. (2008) Zálesí - eine interessante Mineralfundstelle an der tschechisch-polnischen Grenze. *Lapis* 33, 10, 22-36, 90.
- 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., Šrein V., Litochleb J. (1997) Alacranit, arsensíra a realgar z hořícího odvalu dolu Kateřina v Radvanicích u Trutnova. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 4-5, 194-200.
- Sejkora J., Šrein V., Litochleb J. (1998) Minerály olova (ryzí olovo, galenit a anglesit) z hořícího odvalu dolu Kateřina v Radvanicích u Trutnova. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 6, 232-238.
- Sejkora J., Šrein V., Litochleb J., Tvrđý J., Kotrlý M. (1999) Minerály antimonu a bismutu z hořícího odvalu dolu Kateřina v Radvanicích u Trutnova. *Bull. mineral.-petrolog. odd. Nár. Muz. (Praha)* 7, 204-211.
- 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 (1-4), 55-91.
- Stergiou A. C., Rentzeperis P. J., Sklavounos S. (1993) Refinement of the crystal structure of metatorbernite. *Zeit. Krist.* 205, 1-7.
- Walenta K. (1965) Die Uranglimmergruppe. *Chem. Erde* 24, 254-275.
- 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.
- Žáček V., Ondruš P. (1997) Mineralogy of recently formed sublimates from Kateřina colliery in Radvanice, Eastern Bohemia, Czech Republic. *Věst. Čes. geol. Úst.* 72, 3, 289-298.