

Uranová supergenní mineralizace s fosfuranylitem z Abertam, Krušné hory (Česká republika)

Uranium supergene mineralization from Abertamy, Krušné hory Mountains (Czech Republic)

PETR PAULIŠ^{1,2)*}, JIŘÍ SEJKORA²⁾, MICHAL URBAN³⁾, MAREK NESRSTA⁴⁾, LUBOŠ VRTIŠKA²⁾,
RADANA MALÍKOVÁ²⁾, ONDŘEJ POUR⁵⁾ A FRANTIŠEK LAUFEK⁵⁾

¹⁾Smišková 564, 284 01 Kutná Hora; *e-mail: petr.paulis@post.cz

²⁾Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice

³⁾Velké Kunratické 20, 148 00 Praha 4

⁴⁾Abertamy 77, 362 35 Abertamy

⁵⁾Česká geologická služba, Geologická 6, 152 00 Praha 5

PAULIŠ 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. ISSN 1211-0329.

Abstract

An uranium supergene mineralization (phosphuranylite, metatorbernite, metaautunite) was found in the dump material of the historical mine at the Graf Mauritius vein near Abertamy (Krušné hory Mountains, Czech Republic). Phosphuranylite occurs there as yellow aggregates up to several cm in size composed by tiny tabular crystals (0.1 - 0.2 mm). It is orthorhombic, space group *Cmcm*, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 15.893(6), *b* 13.738(5), *c* 17.302(7) Å, *V* 3777.6(4) Å³. Chemical analyses of phosphuranylite correspond to the empirical formula $K_{1.01}Ca_{0.99}Pb_{0.08}Al_{0.06}Co_{0.05}Ni_{0.02}Mn_{0.02}Zn_{0.01}(H_3O)_{2.49}(UO_2)_{6.98}O_4[(PO_4)_{3.95}(AsO_4)_{0.05}]_{\Sigma 4.00} \cdot 8H_2O$. Metaautunite forms light greenish yellow tabular crystals up to 1 mm in size. It is tetragonal, space group *P4/n*, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 6.969(4), *c* 16.8885(2) Å and *V* 820.3(5) Å³. Chemical analyses of metaautunite correspond to the empirical formula $(Ca_{0.89}Cu_{0.05}Co_{0.02}Fe_{0.01}Ba_{0.01})_{\Sigma 0.98}(UO_2)_{1.96}[(PO_4)_{1.93}(AsO_4)_{0.07}]_{\Sigma 2.00} \cdot 6H_2O$. Metatorbernite forms green crystalline coatings composed of tabular, and more rarely pyramidal crystals up to 1 mm in size. It is tetragonal, space group *P4/n*, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 6.973(2), *c* 17.3263(2) Å and *V* 842.5(3) Å³. Chemical analyses of metatorbernite correspond to the empirical formula $(Cu_{0.93}Ca_{0.01}Zn_{0.01}Fe_{0.01})_{\Sigma 0.96}(UO_2)_{1.98}[(PO_4)_{1.89}(AsO_4)_{0.10}(VO_4)_{0.01}]_{\Sigma 2.00} \cdot 8H_2O$. The origin of studied mineral association is interpreted as a product of *in-situ* supergene alteration of primary uranium mineralization in the environment localized nearby the present surface.

Key words: phosphuranylite, metatorbernite, metaautunite, X-ray powder data, chemical composition, uranium deposit, Abertamy, the Krušné hory Mts., Czech Republic

Obdrženo: 18. 5. 2016; přijato: 29. 6. 2016

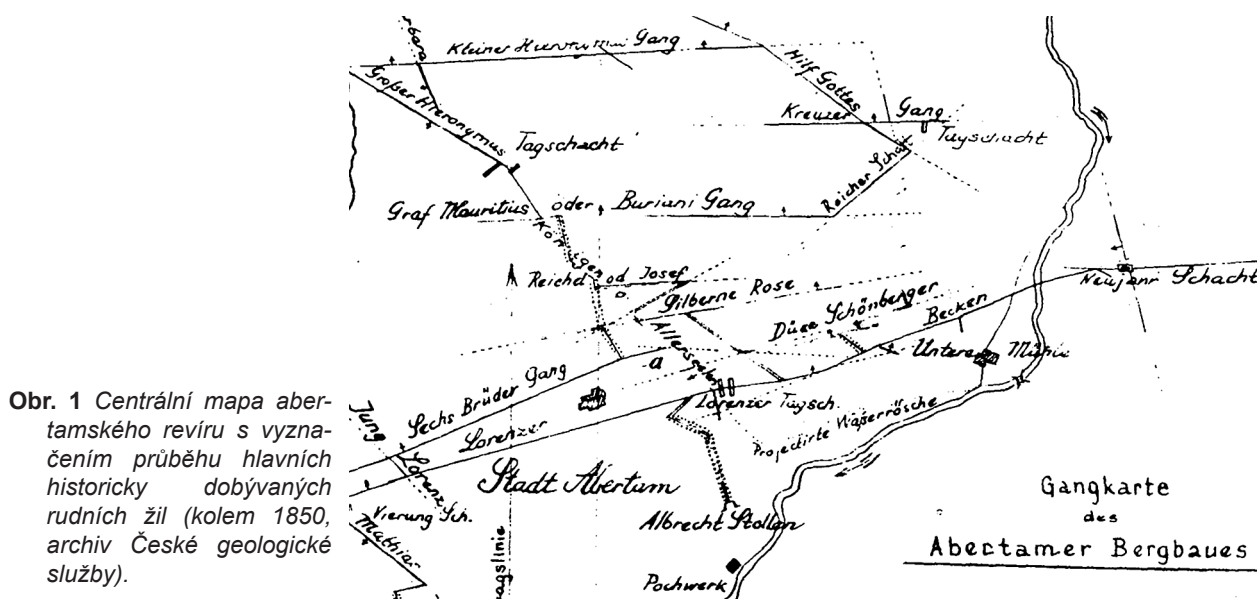
Úvod

V rámci systematického mineralogického výzkumu významných českých lokalit a ložisek uranu (Pauliš et al. 2014; Plášil et al. 2014a,b,c, 2015a,b,c; Sejkora, Vavřín 2014; Sejkora et al. 2016; Škácha et al. 2014; Vrtiška et al. 2013) a přípravy rukopisu monografie „Uranové minerály České republiky a jejich nejvýznamnější naleziště“ byly mimo jiné podrobně studovány nově nalezené vzorky supergenní uranové mineralizace z historických důlních prací v blízkosti Abertam v Krušných horách. Výsledek podrobného laboratorního výzkumu těchto vzorků, který přinesl nové informace o supergenních minerálech uranu jáchymovské rudní oblasti, je obsahem tohoto příspěvku.

Historie dolování u Abertam

Abertamy (něm. Abertham), ležící 7 km vzdušnou čarou západně od Jáchymova v nadmořské výšce okolo 900 m, patří do skupiny krušnohorských horních měst vznik-

lých živelně v bezprostředním okolí výchozů hlavních rudních žil. Bezprostředním impulzem ke vzniku města se stal náhodný objev žíly s ryzím stříbrem, k němuž došlo v roce 1529, pouhých 13 let po vzniku Jáchymova. Východozápadní (vsv.-zjz.) průběh této žíly, pojmenované po jednom z tehdejších majitelů Jáchymova Lorenzi Schlickovi (Šlikovi), zcela kopíruje i osa zástavby města, jehož nejstarší centrum se soustřeďovalo kolem stejnojmenné hlavní šachty Lorenz zvané těž Gottsgab (Urban 2009; Urban et al. 2014). Jedním z úspěšných podílníků tohoto dolu byl i Agricola, jak sám často vděčně zmiňuje ve svých knihách (např. Agricola 1546). Ústí úklonné jámy Lorenz, jejíž hloubka přesáhla již v 16. století 200 m, se nacházelo asi 250 m východně od dnešního abertamského náměstí. Důl byl odvodňován dědičnou štolou hraběte Lorenze Schlicka, která už v 16. století dosáhla včetně odboček délky téměř 4 km, a patřila tak k nejdělnějším krušnohorským odvodňovacím štolám té doby.



Obr. 1 Centrální mapa aber-tamského revíru s vyzna-čením průběhu hlavních historicky dobývaných rudních žil (kolem 1850, archiv České geologické služby).

Hlavní stříbronosná žíla Lorenz se směrnou délkou asi 1 300 m a mocností až 0.5 m byla zdaleka nejvýnosnější aber-tamskou rudní žilou a jen do roku 1589 poskytla dvě třetiny ze souhrnné produkce stříbra v Abertamech - 66 000 hřiven (asi 15.5 tuny) z celkových bezmála 100 000 hřiven (Majer 1968). Řadila se tak mezi nejbohatší žíly celého jáchymovského revíru, pod něž Abertamy až do poloviny 19. století spadaly. Na rozdíl od Jáchymova, kde se nejbohatší stříbrné zrudnění koncentrovalo především na púlnočních, zhruba severojižních žilách, byly v Aber-tamech z hlediska obsahu stříbrných rud důležité hlavně jítří, přibližně východozápadní žíly (obr. 1). Kromě Lo-renzovy žíly a jejího odžilku, Beckovy žíly (Beckengang), k nim patřily například žíla Šesti bratří (Sechs Brüder), Stříbrná růže (Silberne Rose), Hrabě Maurítius (Graf Mauritius) neboli Burianova žíla či Malý Jeroným (Kleiner Hieronymus). Význam druhého hlavního žilného systému s převládajícím směrem SZ - JV byl až na výjimky, jako byla například žíla Matyáš (Matthias) čili Schusterova, v nejstarším těžebním období jen nevelký (Kofan 1946).

Období největší prosperity aber-tamských stříbrných dolů trvalo jen krátce, do počátku 60. let 16. století, poté již těžba po vyčerpání bohatých přípovrchových partií lo-žiska upadala a za třicetileté války zcela zanikla. O obno-vu těžby stříbrných a nově i kobaltových rud se pokusili až před polovinou 18. století nejdříve soukromí těžaři z Halle a od roku 1751 stát. Návrhy důlních odborníků na řád-né znovuootevření ložiska se však neuskutečnily a v roce 1806 byly práce zastaveny s odůvodněním, že žíly nad úrovní hlavní dědičné štoly hraběte Lorenze Schlicka jsou již vyrubány. V malém měřítku pak pokračovaly důlní prá-ce ještě ve 40. - 60. letech 19. století, kdy byla například v provozu štola Auferstehung na západním okraji města (Vogl 1856).

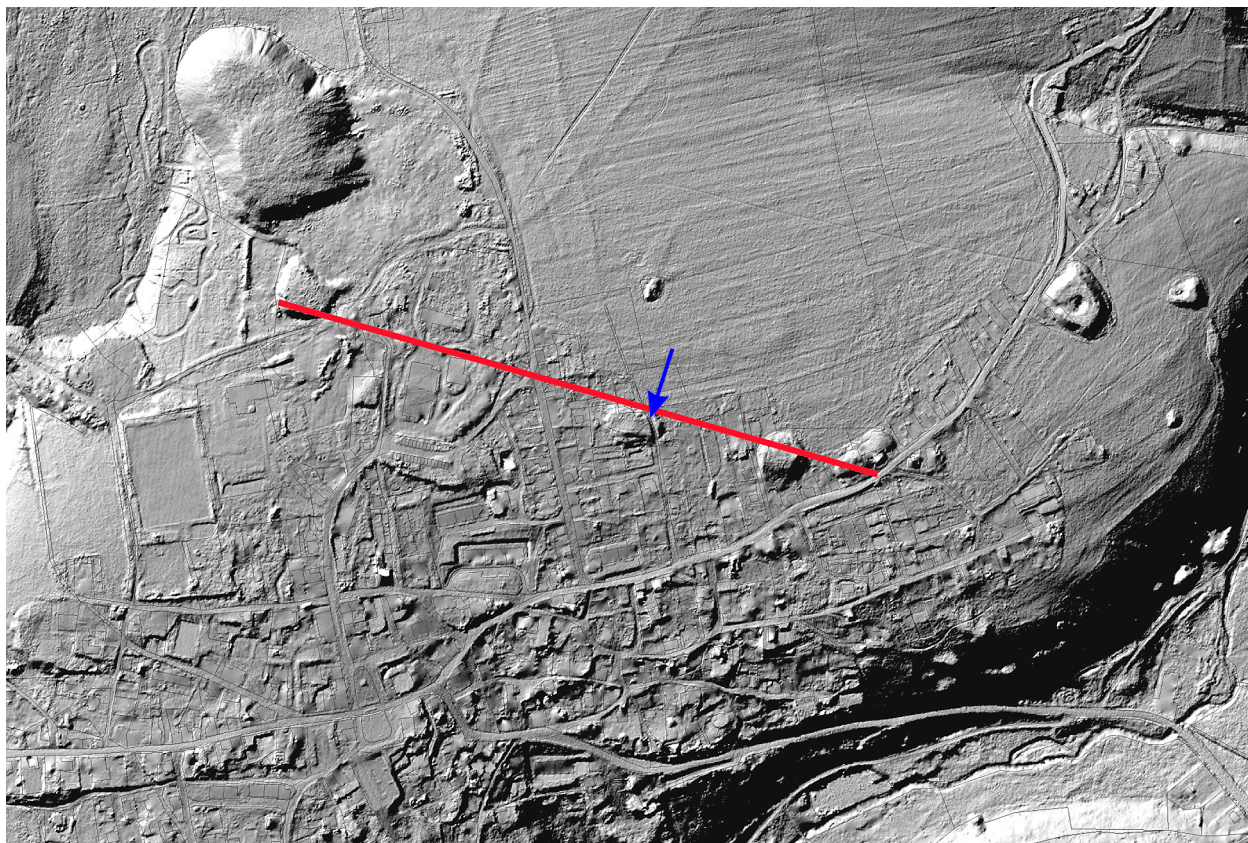
Poslední kapitola dějin hornictví v Abertamech se pak začala psát v roce 1946, kdy se do popředí zájmu státu dostaly uranové rudy. Postupně byla obnovena většina hlavních historických důlních děl včetně hlavní těžní jámy Jeroným na severu města, těžní a dopravní štoly Albrecht pod městem i dědičné Šlikovy štoly ještě níže v údolí Bys-třice. Jáma Jeroným byla do roku 1956 nově vyhloubena na úroveň 8. patra do hloubky 441 m, z obnovené a roz-šířené štoly Albrecht byla po roce 1953 vyhloubena 155 m hluboká, stejnojmenná slepá jáma do úrovně 3. patra (Mayer et al. 1962; Trvala 1964; Veselý 1986). Vyražena

byla i některá nová díla jako například jáma č. 2 poblíž šachty Jeroným nebo jáma Východní Abertamy mezi městem a šachtou Barbora v jáchymovské osadě Vršek. Nejintenzivnější těžba Jáchymovských dolů zde probíha-la v letech 1959 - 1961. V roce 1964 bylo ložisko předáno do likvidace a v únoru 1965 byl důl Jeroným jako poslední uranový důl na Jáchymovsku uzavřen. Uranové zrudně-ní bylo na rozdíl od stříbrných rud vázáno především na žilné struktury převládajícího směru SZ - JV (SSZ - JJV). Celkem bylo objeveno několik desítek žil s mocností od milimetrů po maximálně 30 - 40 centimetrů. Jednoznačně nejbohatší z nich byla žíla A2, rozfáraná na všech osmi patrech dolu Jeroným ve směrné délce 600 m, která poskytl 496 tun uranu, a stala se tak nejproduktivnější žilou celého jáchymovského revíru vůbec (Kafka et al. 2003). Celkově bylo v Abertamech po druhé světové válce vyra-ženo asi 70 km důlních děl, souhrnnou délkou historických důlních děl, vzniklých v 16. až 19. století, lze odhadovat zhruba na 20 kilometrů (Urban 2009).

Historické doly pracovaly na téměř celém území Abertam a pozůstatky po nich v podobě několika desí-tek částečně či zcela dochovaných odvalů, obvalů, ústí štol a ohlbní šachet jsou dosud, bezmála 500 let po prv-ním intenzivním období těžby, v terénu dobře patrné, a to i přesto, že rozsah důlního podnikání se téměř ze 100 procent kryje se sídelní zástavbou města (Nesrsta, v pří-pravě). Nejmarkantnějším pozůstatkem novodobé těžby je i přes částečné rozvezení halda dolu Jeroným na se-verním okraji města (obr. 2, 3).

Geologická a ložiskově-geologická situace

Abertamský revír leží na severozápadním okraji já-chymovského rudního pole, jemuž se ložiskově do znač-né míry podobá. Jde o hydrotermální ložisko Ag-Bi-Co-Ni rud, které jsou vázány na nevelké, ale místy velmi bohaté rudní čocky a sloupy a jsou těsně spojené s uranovou mineralizací. Rudní žíly se vyskytují na území o rozloze zhruba 1 500 × 800 metrů ve svorovém komplexu. Na jižní straně je revír omezen karlovarským žulovým pluto-nem, který zároveň tvoří podloží svorů, na severovýchodě je ohraničen významnou tektonickou poruchou - blu-denským (centrálním) zlomem směru SZ - JV, podle něž je vlastní revír posunut relativně k SZ oproti východněji ležícímu území. Na severu na svorový komplex nasedá soubor spodnopaleozoických chloriticko-sericitických fy-



Obr. 2 Laserový letecký snímek (LIDAR) centrální části abertamského revíru s vyznačením průběhu žíly Hrabě Mauritius/Buriani na základě dochovaného haldového tahu z 16. století, šipkou vyznačen studovaný odval. Na horním okraji snímku je patrná velká halda dolu Jeroným z období poválečné těžby (podkladová data ČÚZK, vizualizace O. Malina).



Obr. 3 Halda dolu Jeroným v Abertamech. Foto P. Pauliš, 2015.



Obr. 4 Místo nálezu nově studované supergenní mineralizace - halda dolu ze 16. století na žíle Hrabě Mauritius v Abertamech. Foto M. Nesrsta, 2015.

Tabulka 2 Parametry základní cely fosfuranylitu (pro ortorombickou prostorovou grupu Cmc₂)

		a [Å]	b [Å]	c [Å]	V [Å ³]
Abertamy	tato práce	15.893(6)	13.738(5)	17.302(7)	3777.6(4)
Smrkovec	Pauliš et al. (2014)	15.827(4)	13.729(5)	17.310(7)	3761(2)
Medvědí (M25)	Plášil et al. (2009)	15.793(7)	13.768(5)	17.323(7)	3766(1)
Medvědí (GA 120)	Plášil et al. (2009)	15.769(5)	13.759(7)	17.313(8)	3757(2)
Medvědí (XME6ZV)	Plášil et al. (2009)	15.770(9)	13.757(9)	17.319(9)	3757(3)
Medvědí (P2)	Plášil et al. (2009)	15.793(6)	13.75(1)	17.320(7)	3761(3)
Bois Noir (France)	Demartin et al. (1991)	15.778(3)	13.769(2)	17.330(3)	3765
Sardinia (Italy)	Demartin et al. (1991)	15.899(2)	13.740(2)	17.300(3)	3779
Peveagno (Italy)	Demartin et al. (1991)	15.890(6)	13.790(5)	17.322(5)	3796
Zambie	Demartin et al. (1991)	15.862(6)	13.702(5)	17.253(7)	3750
Margnac (France)	Piret, Piret-Meunier (1991)	15.835(7)	13.724(4)	17.324(6)	3765
Horní Halže	Sejkora et al. (2007)	15.743(2)	13.729(4)	17.295(4)	3736(1)
Rýžoviště	Sejkora et al. (1994)	15.780(7)	13.725(8)	17.307(8)	3748(2)
Kladská	Pauliš et al. (1999)	15.82	13.73	17.34	3766
Horní Slavkov	Plášil et al. (2006)	15.774(4)	13.791(3)	17.318(4)	3767.5
Jáchymov	Ondruš et al. (1997)	15.48(2)	13.82(2)	17.41(4)	3725
Předbořice	Sejkora (1993)	15.85(1)	13.70(1)	17.31(1)	3759
Kladská	Sejkora (1993)	15.83(2)	13.70(1)	17.27(2)	3745
Chotěboř	Sejkora (1993)	15.772(4)	13.734(4)	17.291(5)	3745

Tabulka 3 Chemické složení fosfuranylitu z Abertam (hm. %)

	mean	1	2	3	4
K ₂ O	1.67	1.64	1.66	1.71	1.68
CaO	1.94	1.92	1.94	1.95	1.96
PbO	0.59	0.45	0.59	0.67	0.65
CoO	0.13	0.51	0.00	0.00	0.00
NiO	0.06	0.00	0.00	0.26	0.00
MnO	0.05	0.00	0.05	0.16	0.00
ZnO	0.04	0.16	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.11	0.07	0.14	0.11	0.13
As ₂ O ₅	0.20	0.00	0.00	0.12	0.67
P ₂ O ₅	9.84	10.23	9.90	9.80	9.43
UO ₃	70.08	73.51	68.49	70.00	68.32
H ₂ O*	7.42	7.30	7.71	7.07	7.60
total	92.13	95.79	90.47	91.84	90.43
K	1.012	0.967	1.010	1.045	1.027
Ca	0.987	0.950	0.992	0.998	1.010
Pb	0.075	0.056	0.076	0.086	0.084
Co	0.049	0.190	0.000	0.000	0.000
Ni	0.025	0.000	0.000	0.099	0.000
Mn	0.021	0.000	0.021	0.063	0.000
Zn	0.014	0.053	0.000	0.000	0.000
Al	0.063	0.038	0.077	0.064	0.075
As	0.049	0.000	0.000	0.029	0.168
P	3.951	4.000	4.000	3.971	3.832
P+As	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
U	6.983	7.131	6.868	7.038	6.891
H	23.476	22.478	24.539	22.587	24.335
H ₂ O	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
H ₃ O	2.49	2.16	2.85	2.20	2.78

H₂O* - dopočtený obsah na základě vyrovnání nábojů (H₃O)⁺ a ideálního obsahu 8 molekul H₂O; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi P+As = 4 apfu.

vě, ale v chudším vývoji. Relativně nejstarší je uranové zrudnění s uranitem a uranovými černými. Ve svrchních partiích žil se uplatňovalo arsenidové a sulfoarsenidové mineralizační stadium s kostrovitými krystaly ryzího bismutu a ryzím stříbrem, které se zde dříve hojně vyskytovalo v hustě spletených drátcích o délce až několika cm a plíškovitých agregátech. Dalšími rudami stříbra byly argentit/akantit, proustit a pyrargyrit, stříbro však bylo získáváno i z galenitu. Z Co-Ni arsenidů jsou z 50. a 60. let minulého století známy vzorky niklskutteruditu, nikelinu a rammelsbergitu. Hojněji než v Jáchymově je v Abertamech zastoupena mladší, pozdně variská polymetalická asociace s galenitem, sfaleritem, chalkopyritem a pyritem. Primární uranové zrudnění se vyskytovalo v podobě až 30 cm mocných poloh masivního uraninitu, tvořícího místy i dobře vyvinuté ledvinité agregáty, a hojných uranových černí (Mrňa, Pavlů 1967). Supergenní uranová mineralizace nebyla až na výjimky moderně zkoumána a výčet uranových minerálů je proto v Abertamech podstatně chudší než v případě blízkého Jáchymova. Z haldy dolu Jeroným, nacházející se asi 300 m s. od města, uvádí Urban (1975) vedle primárního uraninitu také žlutý zippeit a tabulkovitý autunit; zmiňovaný výskyt liebigitu a kuprosklodovskitu je nejistý. Popisovány jsou odsud i kanárkově žluté práškové agregáty curienitu (Pauliš 1992), drobné jehličkovité krystaly schultenitu ve směsi s angleitem (Sejkora, Gabašová 1995) a uranopilit (Sejkora, Kouřimský 2005). Nově byly na vzorcích z haldového materiálu dolu Jeroným zjištěny bohaté krystalické agregáty deliensitu, které tvoří dlouhé světle žlutavé až šedavé bílé prizmatické krystaly o velikosti do 0.5 mm, narůstající na silně alterovanou žilovinu s uranitem a pyritem/markazitem v asociaci s rozenitem, melanteritem a jarositem (Plášil et al. 2012).

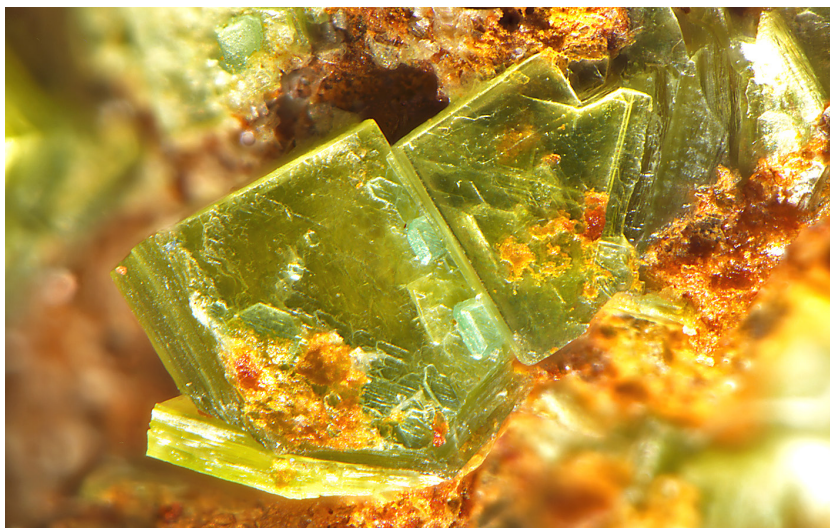
Metodika výzkumu

Povrchová morfologie vzorků byla dokumentována pomocí optického mikroskopu Nikon SMZ25 s digitální kamerou D-R11 metodu skládání Z-řezů pomocí programu NIS-Elements.

Rentgenová prášková data fosfuranylitu byla pořízena na difraktometru Bruker D8 Advance s detektorem LynxEye XE (Česká geologická služba, Praha) při použití CuK α záření (40 kV, 40 mA). Práškový vzorek byl v suspenzi acetonu nanesen na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku a difrakční záznam byl pořízen v step-scanning režimu s krokem 0.02° a načítacím časem 1 s na krok detektoru. Pozice jednotlivých difrakcí fosfuranylitu byly zpřesněny profilovým fitováním (funkce Pearson VII) v programu Topas (Bruker AXS). Mřížkové parametry byly zpřesněny metodou nejmenších čtverců v programu Celref (Laugier, Bochu, 2011). Rentgenová prášková difrakční data (meta)autunitu a (meta)torbernitu byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) 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 8 s/krok detektoru). Pozice jednotlivých difrakčních maxim byly popsány profilovou funkcí Pseudo-Voigt a upřesněny profilovým fitováním v programu HighScore Plus.

Mřížkové parametry byly zpřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Celref (Laugier, Bochu 2011).

Chemické složení zjištěných minerálních fází bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta, MU Brno, analytik J. Sejkora, R. Škoda), vlnově disperzní analýza, za podmínek: napětí 15 kV, proud 2 nA, průměr svazku 15 μ m, standardy a použité vlnové délky: baryt (BaL β), albit (NaK α), sanidin (AlK α , SiK α , KK α), spessartin (MnK α), Mg₂SiO₄ (MgK α), fluorapatit (PK α , CaK α), almandin (FeK α), gahnit (ZnK α), lammerit (CuL α , AsL α), vanadin (PbM α , Cl K α), uranofán (UM α), Co (CoK α), Ni₂SiO₄ (NiK α), ScVO₄ (VK α), YPO₄ (YL α) a SrSO₄ (SK α). Obsahy měřených prvků, které nejsou uvedeny v tabulkách, byly pod mezí detekce přístroje (cca 0.03 - 0.05 hm. %). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985). Sumy chemických analýz mohou být ovlivněny nedokonalým povrchem nábrusu a pravděpodobnou částečnou dehydratací studovaných minerálních fází ve vakuu elektronového mikroanalyzátoru.



Obr. 7 Skupina tabulkovitých žlutých krystalů metaautunitu z Abertam. Šířka záběru 1.2 mm, foto L. Vrtiška.

Tabulka 4 Rentgenová prášková data metaautunitu z Abertam

<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>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
0	0	2	8.450	100	8.444	2	2	2	2.3699	<1	2.3654	1	4	2	1.6588	<1	1.6575
0	1	2	5.374	11	5.375	0	3	2	2.2426	1	2.2399	3	3	0	1.6434	<1	1.6427
1	1	0	4.926	1	4.928	1	3	0	2.2059	1	2.2039	1	1	10	1.5976	4	1.5976
0	0	4	4.222	40	4.222	0	0	8	2.1117	31	2.1111	3	0	8	1.5605	<1	1.5624
0	1	4	3.612	21	3.611	0	3	4	2.0367	<1	2.0354	1	3	8	1.5223	1	1.5245
0	2	0	3.489	5	3.485	0	1	8	2.0233	5	2.0204	2	1	10	1.4854	<1	1.4849
0	2	2	3.226	6	3.221	1	1	8	1.9382	2	1.9405	0	4	7	1.4098	1	1.4125
1	2	2	2.927	1	2.924	2	3	2	1.8874	<1	1.8842	2	2	10	1.3920	<1	1.3931
0	0	6	2.818	1	2.815	2	0	8	1.8076	1	1.8056	4	0	8	1.3433	<1	1.3438
2	0	4	2.689	1	2.688	3	0	6	1.7925	<1	1.7917	1	5	3	1.3277	<1	1.3282
1	0	6	2.612	7	2.610	2	3	4	1.7598	<1	1.7575	4	3	4	1.3239	<1	1.3236
1	2	4	2.510	1	2.508	2	1	8	1.7466	1	1.7479	2	4	7	1.3085	<1	1.3091
1	1	6	2.4462	2	2.4442	0	0	10	1.6918	5	1.6888	3	0	11	1.2807	<1	1.2809

Tabulka 5 Parametry základní cely metaautunitu (pro tetragonální prostorovou grupu P4/n)

		<i>a</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
Abertamy	tato práce	6.969(4)	16.8885(2)	820.3(5)
Medvědin	Plášil et al. (2009)	6.974(3)	16.920(6)	822.9(7)
Rýžoviště	Sejkora et al. (1994)	6.982(5)	16.93(1)	825.3
Slavkovice	Sejkora et al. (1997)	6.9684(7)	17.322(2)	841.1(1)
	Sidorenko (1981)	6.96(1)	16.80(2)	813.8

Charakteristika uranové supergenní mineralizace

Supergenní uranová mineralizace byla poprvé zjištěna jedním z autorů (M. Nesrstou) v létě 2015 na dosud přehlížené staré haldě na severním okraji Abertam (p. p. č. 453/1), která byla v té době částečně rozvážena v rámci výstavby komunikace a inženýrských sítí. Jde o poměrně rozsáhlou, zsz. - vjv. protaženou haldu o rozměrech 50 × 20 metrů a výšce až 4 metry (obr. 4). Tato halda patřila k dnes již neidentifikovatelnému dolu z 16. století na žíle Hrabě Mauritius (Graf Mauritius Gang) zvané též Burianova žíla (Buriani). Tato žitřní žíla má směr ZSZ - VJV a sklon 73° k JZ, podle historických záznamů byla sledována v směrné délce přesahující 1 000 m do hloubky až 130 m pod povrchem (Kořan 1946). Mocnost žilné struktury kolísá mezi 30 až 90 cm a hlavními rudními minerály byly ryzí stříbro, argentit a skutterudit, jako výplň žiloviny se objevují zejména křemen a jíl, výjimečně fluorit. Z rud vytěžených z této žíly bylo v 16. století získáno 810 kg stříbra, čímž se žíla Hrabě Mauritius řadí mezi ty významnější v abertamském revíru. Průběh této žíly je na povrchu dodnes vyznačen pruhem tří dobře dochovaných odvalů; halda s novými nálezy má GPS souřadnice 50°22'17.1" N, 12°49'14.2" E. Supergenní uranová mineralizace byla zjištěna jen v jednom místě rozvážené haldy a vystupuje v drobných dutinách křemenné žiloviny nebo na plochách foliace a puklinách hydrotermálně alterovaných a limonitizovaných svorů.

Fosfuranylit

Fosfuranylit vytváří krystalické agregáty o velikosti do 10 mm (obr. 5), které jsou tvořené drobnými tabulkovitými krystaly o velikosti 0.1 - 0.2 mm, které často srůstají s krystaly metatorbernitů (obr. 6). Je nápadně sírově žlutý se skelným leskem, agregáty jsou neprůhledné, jednotlivé krystaly průsvitné až průhledné. Rentgenová prášková data fosfuranylitu z Abertam (tab. 1) odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury (Demartin et al 1991); zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 2 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerální druh.

Při studiu chemického složení fosfuranylitu (tab. 3) byly v kationtu vedle převládajícího K a Ca zjištěny minoritní obsahy Co (do 0.19 *apfu*), Ni (do 0.10 *apfu*), Al (do 0.08 *apfu*), Mn (do 0.06 *apfu*) a Zn (do 0.05 *apfu*); obsah Pb (dewindtitové) komponenty je minimální a pohybuje se jen v rozmezí 0.06 až 0.09 *apfu*. V aniontové části vzorce je v některých bodech P izomorfne zastupován As s obsahy do 0.12 *apfu*. Chemické složení fosfuranylitu (průměr čtyř bodových analýz) je možno na bázi 4 P+As *apfu* vyjádřit empirickým vzorcem $K_{1.01}Ca_{0.99}Pb_{0.08}Al_{0.06}Co_{0.05}Ni_{0.02}Mn_{0.02}Zn_{0.01}(H_3O)_{2.49}(UO_2)_{2.76.98}O_4[(PO_4)_{4.3.95}(AsO_4)_{4.0.05}]_{\Sigma 4.00} \cdot 8H_2O$.

Tabulka 6 Chemické složení metaautunitu a metatorbernitů z Abertam (hm. %)

	metaautunit						metatorbernit			
	mean	1	2	3	4	5	mean	1	2	3
CaO	5.91	5.58	5.86	5.72	6.08	6.33	0.08	0.00	0.00	0.23
FeO	0.10	0.09	0.00	0.18	0.05	0.18	0.08	0.00	0.23	0.00
BaO	0.25	0.00	0.31	0.00	0.38	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
PbO	0.11	0.13	0.13	0.21	0.00	0.08	0.05	0.10	0.00	0.05
CuO	0.49	0.00	0.00	1.32	1.15	0.00	7.96	8.43	7.79	7.66
CoO	0.14	0.00	0.00	0.00	0.41	0.27	0.03	0.00	0.00	0.09
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.14
As ₂ O ₅	0.92	0.58	1.49	1.34	0.49	0.68	1.21	1.36	0.80	1.47
P ₂ O ₅	16.22	14.84	16.07	16.63	17.82	15.75	14.44	14.33	14.33	14.65
V ₂ O ₅	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07	0.00	0.20	0.00
UO ₃	66.40	60.86	66.34	67.13	69.15	68.50	60.74	60.07	62.31	59.85
H ₂ O*	12.79	11.57	12.93	13.33	13.80	12.32	15.47	15.40	15.21	15.79
total	103.34	93.64	103.12	105.93	109.33	104.68	100.16	99.69	100.87	99.93
Ca	0.891	0.930	0.873	0.827	0.850	0.990	0.013	0.000	0.000	0.038
Fe	0.012	0.011	0.000	0.020	0.006	0.022	0.010	0.000	0.030	0.000
Ba	0.014	0.000	0.017	0.000	0.019	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000
Pb	0.004	0.005	0.005	0.008	0.000	0.003	0.002	0.004	0.000	0.002
Cu	0.052	0.000	0.000	0.134	0.113	0.000	0.932	0.992	0.928	0.879
Co	0.015	0.000	0.000	0.000	0.043	0.031	0.004	0.000	0.000	0.011
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.016
Σ	0.989	0.947	0.895	0.988	1.031	1.079	0.966	0.996	0.957	0.946
As	0.067	0.047	0.108	0.095	0.033	0.052	0.098	0.111	0.066	0.117
P	1.931	1.953	1.892	1.899	1.967	1.948	1.895	1.889	1.913	1.883
V	0.001	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.007	0.000	0.021	0.000
Σ	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
U	1.962	1.988	1.938	1.902	1.894	2.102	1.978	1.965	2.064	1.909
H ₂ O	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8

H₂O* - dopočtený obsah na základě ideálního obsahu 6 (metaautunit) a 8 (metatorbernit) molekul H₂O; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi P+As+V = 2 *apfu*.

Metaautunit

Metaautunit byl ve studované asociaci zjištěn relativně vzácně. Vytváří světle zelenožluté, průsvitné až průhledné tabulkovité krystaly o velikosti do 1 mm (obr. 7). Rentgenová prášková data metaautunitu (tab. 4) velmi dobře odpovídají publikovaným údajům. Krystalová struktura přírodního metaautunitu nebyla dosud vyřešena; pro indexaci bylo využito struktury metatorbernit (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 typu (001). Zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 5 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerální druh.

Chemické složení metaautunitu (tab. 6) odpovídá ideálnímu vzorci tohoto minerálního druhu; v kationtu byly vedle dominantního Ca zjištěny zvýšené obsahy Cu (do 0.13 *apfu*) a minoritní obsahy Co, Ba a Fe (do 0.02 - 0.04 *apfu*); v aniontu je P izomorfně zastupován As (do 0.11 *apfu*) a ojediněle i V (do 0.01 *apfu*). Empirický vzorec studovaného metaautunitu (průměr pěti bodových analýz) lze na bázi 2 P+As+V *apfu* vyjádřit jako $(\text{Ca}_{0.89}\text{Cu}_{0.05}\text{Co}_{0.02}\text{Fe}_{0.01}\text{Ba}_{0.01})_{\Sigma 0.98}(\text{UO}_2)_{1.96}[(\text{PO}_4)_{1.93}(\text{AsO}_4)_{0.07}]_{\Sigma 2.00} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Metatorbernit

Metatorbernit je nejhojnějším minerálem ve studované asociaci. Zjištěn byl jako sytě zelené krystalické povlaky (obr. 8) tvořené tabulkovitými krystaly o velikosti do 1 mm (obr. 9), vzácněji jsou u větších krystalů zčásti vyvinuty i pyramidální plochy (obr. 10). Rentgenová prášková data metatorbernit z Abertam (tab. 7) odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury (Locock, Burns 2003); 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 pro tento minerální druh.

Při studiu chemického složení metatorbernit (tab. 6) byly zjištěny minoritní obsahy As v aniontu (metazeuneritová komponenta) do 0.12 *apfu* a ojedinělé obsahy V (do 0.02 *apfu*); v kationtu byly vedle dominantní Cu



Obr. 8 Skupina krystalů metatorbernit z Abertam. Šířka záběru 3.5 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 9 Tabulkovitý krystal metatorbernit z Abertam. Šířka záběru 1.5 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 10 Nedokonale vyvinuté dipyramidální krystaly metatorbernit z Abertam. Šířka záběru 1.2 mm, foto L. Vrtiška.

Tabulka 7 Rentgenová prášková data metatorbernitů z Abertam

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>
0	0	2	8.667	100	8.663	1	2	4	2.531	<1	2.531	2	0	8	1.8396	<1	1.8397
0	1	1	6.444	<1	6.469	1	1	6	2.4928	<1	2.4918	3	0	6	1.8100	<1	1.8107
0	1	2	5.434	2	5.432	2	2	0	2.4650	<1	2.4654	2	3	4	1.7645	<1	1.7660
1	1	0	4.930	1	4.931	2	2	2	2.3710	<1	2.3712	0	4	0	1.7425	<1	1.7433
0	0	4	4.334	7	4.332	0	3	2	2.2444	<1	2.2450	0	4	2	1.7095	<1	1.7090
1	1	2	4.279	1	4.285	1	3	0	2.2043	<1	2.2051	4	1	2	1.6627	<1	1.6599
0	1	4	3.680	15	3.679	0	0	8	2.1658	6	2.1658	1	1	10	1.6351	<1	1.6346
0	2	0	3.486	2	3.487	1	3	2	2.1355	<1	2.1369	3	2	6	1.6063	<1	1.6069
0	2	2	3.234	1	3.234	2	1	6	2.1181	<1	2.1188	1	4	4	1.5763	<1	1.5754
2	1	1	3.070	<1	3.069	1	0	8	2.0681	<1	2.0683	3	3	6	1.4282	<1	1.4284
1	2	2	2.934	<1	2.934	0	3	4	2.0476	<1	2.0481	1	1	12	1.3861	<1	1.3857
2	0	4	2.716	<1	2.716	1	1	8	1.9833	1	1.9829	1	5	1	1.3623	<1	1.3633
1	0	6	2.668	1	2.668	3	2	2	1.8866	<1	1.8875	1	5	2	1.3500	<1	1.3508

Tabulka 8 Parametry základní cely metatorbernitů (pro tetragonální prostorovou grupu P4/n)

		<i>a</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
Abertamy	tato práce	6.973(2)	17.3263(2)	842.5(3)
Ostrov u Tachova	Sejkora, Vavřín (2014)	6.9702(9)	17.329(2)	841.8(2)
Předbořice	Vrtiška et al. (2013)	6.9668(1)	17.3240(5)	840.84(4)
synt.	Locock, Burns (2003)	6.9756(5)	17.349(2)	844.2(1)
Medvědín	Plášil et al. (2009)	6.976(2)	17.324(3)	843.1(4)
Krásno	Sejkora et al. (2006)	6.9737(8)	17.3367(8)	843.13
Rýžoviště	Sejkora et al. (1994)	6.9533(8)	17.283(3)	835.6
Horní Halže	Sejkora et al. (2007)	6.9907(8)	17.352(2)	848.1(1)
Příbram	Ondruš, Hyršl (1989)	7.020(1)	17.354(3)	855.2
Horní Slavkov	Plášil et al. (2006)	6.9705(7)	17.3464(8)	842.8
Jáchymov	Ondruš et al. (1997)	6.978(3)	17.37(1)	845.8
Jáchymov	Ondruš et al. (1997)	6.982(1)	17.356(5)	846.1
Schneeberg, SRN	Ross et al. (1964)	6.969(1)	17.306(1)	840.5
Vathi, Řecko	Stergiou et al. (1993)	6.972(1)	17.277(8)	839.8

zjištěny jen minimální obsahy Ca (do 0.04 *apfu*), Fe (do 0.03 *apfu*), Zn (do 0.01 *apfu*) a Co (do 0.01 *apfu*). Empirický vzorec metatorbernitů (průměr tří bodových analýz) lze na bázi P+As+V = 2 *apfu* vyjádřit jako $(\text{Cu}_{0.93}\text{Ca}_{0.01}\text{Zn}_{0.01}\text{Fe}_{0.01})_{\Sigma 0.96}(\text{UO}_2)_{1.98}[(\text{PO}_4)_{1.89}(\text{AsO}_4)_{0.10}(\text{VO}_4)_{0.01}]_{\Sigma 2.00} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Závěr

Zjištění fosfuranylitů v asociaci s metatorbernitěm a metaautunitem na odvalech středověkého dolu na žile Hrabě Mauritius v Abertamech rozšiřuje naše informace o dosud relativně nepříliš známé supergenní mineralizaci abertamského revíru. Vznik popisované minerální asociace je vázán na *in-situ* zvětrávání primární uranové mineralizace v podmínkách nehluboko pod zemským povrchem.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za spolupráci při laboratorním studiu R. Škodovi z Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity (Brno). Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (cíl DKRVO 2016/01, 00023272).

Literatura

- Agricola G. (1546) De Veteribus et Novis Metallis. *Basilej*.
Bernard J. H. editor (1981) Mineralogie Československa. *Academia. Praha*.
Demartin F., Diella V., Donzelli S., Gramaccioli C. M., Piliati T. (1991) The importance of accurate crystal structure determination of uranium minerals. I. Phosphuranylite $\text{KCa}(\text{H}_3\text{O})_3(\text{UO}_2)_7(\text{P O}_4)_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. *Acta cryst. B*, **47**, 439-446.
Kafka J. editor. (2003) Rudné a uranové hornictví České republiky. *DIAMO. Ostrava*.
Kořan J. (1946) Předběžná historická zpráva o Abertamech. *MS, ČGS - Geofond, P000094. Praha*.
Laugier J., Bochu B. (2011) LMGP-Suite of Programs for the Interpretation of X-ray Experiments. http://www.ccp14.ac.uk/tutorial/lmgp_přístup_duben_2011.
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**, 498-502.
Majer J. (1968) Těžba stříbrných rud v Jáchymově v 16. století. *Sbor. Nár. techn. Muz.* **5**, 111-279.
Mayer P., Pieczonka L., Solnický J. (1962) Závěrečná zpráva Dolu Jeroným. Surovina: Bi, Co, Ni, Ag, Pb, Zn; etapa: vyhledávací + předběžná; stav ke dni: 30.11.1962. *MS, ČGS - Geofond, P014715*.

- Mrňa F., Pavlů D. (1963) Některé problémy hydrotermálního zrudnění v území východně od karlovarského plutonu na české straně Krušných hor. *Sbor. Ústř. Úst. geol., odd. Geol.* 28, 523-579.
- Mrňa F., Pavlů D. (1967) Ag-Bi-Co-Ni-As formace v Českém masivu. *Sbor. geol. Věd., ložisk. Geol.* 9, 97-104.
- Nesrsta M. (v přípravě) Abertamské doly - historická a topografická studie.
- 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.
- Pauliš P. (1992) Curienit z Abertam u Jáchymova. *Čas. Mineral. Geol.* 37, 1, 55-56.
- Pauliš P., Kopecký S. sen., Kopecký S. jun., Sejkora J., Malíková R., Vrtiška L. (2014) Fosfuranilit z uranového rudního výskytu Smrkovec u Lázní Kynžvart (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 22, 1, 99-104.
- Pauliš P., Ševců J., Novotný J., Rendl J. (1999) Saléit a minerál izomorfní řady fosfuranilit-yingjiangitové z uranového ložiska Kladská u Mariánských Lázní. *Věst. Čes. geol. Úst.* 74, 1, 47-49.
- Piret P., Piret-Meunier J. (1991) Composition chimique et structure cristalline de la phosphuranilite $\text{Ca}(\text{UO}_2)_3[(\text{UO}_2)_3(\text{OH})(\text{PO}_4)_2] \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$. *Eur. J. Mineral.* 3, 69-77.
- 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, 149-158.
- 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., Hauser J., Petříček V., Meisser N., Mills S. J., Škoda R., Fejfarová K., Čejka J., Sejkora J., Hloušek J., Johannet J. M., Machovič V., Lapčák L. (2012) Crystal structure and formula revision of deliensite, $\text{Fe}[(\text{UO}_2)_2(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_2](\text{H}_2\text{O})_7$. *Mineral. Mag.* 76, 2837-2860.
- Plášil J., Dušek M., Čejka J., Sejkora J. (2014a) The crystal structure of rabejacite, the Ca^{2+} dominant member of the zippeite-group. *Mineral. Mag.* 78, 5, 1249-1264.
- Plášil J., Sejkora J., Škoda R., Škácha P. (2014b) The recent weathering of uraninite from the Červená vein, Jáchymov (Czech Republic): a fingerprint of the primary mineralization geochemistry onto the alteration association. *J. Geosci.* 59, 223-253.
- Plášil J., Veselovský F., Hloušek J., Škoda R., Novák M., Sejkora J., Čejka J., Škácha P., Kasatkin A. V. (2014c) Mathesiusite, $\text{K}_5(\text{UO}_2)_4(\text{SO}_4)_4(\text{VO}_5)(\text{H}_2\text{O})_4$, a new uranyl vanadate-sulfate from Jáchymov, Czech Republic. *Am. Mineral.* 99, 625-632.
- Plášil J., Hloušek J., Kasatkin A. V., Belakovskiy D. I., Čejka J., Chernyshov D. (2015a) Ježekite, $\text{Na}_3[(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3](\text{SO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, a new uranyl mineral from Jáchymov, Czech Republic. *J. Geosci.* 60, 4, 259-267.
- Plášil J., Hloušek J., Kasatkin A. V., Novák M., Čejka J., Lapčák L. (2015b) Svornostite, $\text{K}_2\text{Mg}[(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)_2]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, a new uranyl sulfate mineral from Jáchymov, Czech Republic. *J. Geosci.* 60, 2, 113-121.
- Plášil J., Hloušek J., Kasatkin A. V., 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.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" ($\phi\rho Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis (J. T. Armstrong, ed.)*. San Francisco Press, San Francisco, 104-106.
- Ross 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.
- Sejkora J. (1993) Výskyty fosfuranylitu v České republice. In: *Sbor. V. min. cykl. sem. (Horní Bečva), Ústí nad Labem*, 97-99.
- Sejkora J., Čejka J., Šrein V. (2007) Supergene uranium mineralization from Horní Halže near Měděnec (Krušné hory Mountains), Czech Republic. *J. Geosci.* 52, 199-210.
- Sejkora J., Gabašová A. (1995) Schultenit (PbHAsO_4) z Abertam u Jáchymova. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 3, 245.
- Sejkora J., Kouřimský J. (2005) Atlas minerálů České a Slovenské republiky. *Academia, Praha*.
- Sejkora J., Mazuch J., Abert F., Šrein V., Novotná M. (1997) Supergenní mineralizace uranového ložiska Slavkovice na západní Moravě. *Acta Mus. Moraviae, Sci. nat.* 81, 3-24.
- Sejkora J., Ondruš P., Fikar M., Veselovský F., Mach Z., Gabašová A., Škoda R., Beran P. (2006) Supergene minerals at the Huber stock and Schnöd stock deposits, Krásno ore district, the Slavkovský les area, Czech Republic. *J. Czech geol. Soc.* 51, 57-101.
- Sejkora J., Pauliš P., Toegel V., Vrtiška L., Malíková R. (2016) Dewindtit z ložiska uranových rud Zálesí v Rychlebských horách (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 24, 1, 63-69.
- 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.
- Sidorenko G. A. (1981) Rentgenografický opredelitel' mineralov urana: spravočnik. *Energoizdat*, 1-189, Moskva.
- Stergiou A. C., Rentzeperis P. J., Sklavounos S. (1993) Refinement of the crystal structure of metatorbernite. *Z. Kristallogr.* 205, 1-7.
- Škácha P., Plášil J., Sejkora J., Čejka J., Škoda R., Meisser N. (2014) Ojedinelý výskyt bayleyitu, $\text{Mg}_2[(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_2] \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, z Jáchymova. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 22, 2, 240-247.
- Trvala C. (1964) Likvidační geologická zpráva dolu Jeroným. *MS, ČGS - Geofond, P016748. Praha*.
- Urban M. (1975) Halda dolu Jeroným v Abertamech. *Čas. Mineral. Geol.* 20, 3, 333.
- Urban M. (2009) 480 let města Abertamy. *Abertamy*.
- Urban M. ed. (2014) Horní města Krušných hor. Karlovarský kraj. *Fornica Publishing, Sokolov*.
- Veselý T. (1986) Stavba a význam jednotlivých žilných uzlů uranového ložiska Jáchymov. *Sbor. geol. Věd, ložisk. Geol.* 27, 9-109.
- Vogl J. F. (1856) Gangverhältnisse und Mineralreichtum Joachimsthal. *Teplíce*.
- Vrtiška L., Sejkora J., Nováková H., Vašinová Galiová M. (2013) Metatorbernit a lithioforit z uranového ložiska Předbořice. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 21, 2, 240-248.