

Saléit z uranového rudního revíru Jáchymov (Česká republika)

Saléite from the uranium ore district Jáchymov (Czech Republic)

JIRÍ SEJKORA¹⁾, KAREL BABKA²⁾ A RADIM PAVLÍČEK³⁾

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

²⁾ Na výsluní 1154, 277 11 Neratovice

³⁾ Anglická 2458, 272 01 Kladno

SEJKORA J., BABKA K., PAVLÍČEK R. (2012) Saléit z uranového rudního revíru Jáchymov (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 20, 2, 208-212. ISSN 1211-0329.*

Abstract

A hydrated magnesium uranyl phosphate, mineral saléite, was found in the dump material of the western part of the Rovnost uranium deposit, the Jáchymov ore district, Krušné hory Mountains, Czech Republic. Saléite occurs as tiny (up to 0.5 mm) yellow tabular crystals formed small groups and radial aggregates in cavities of ore gangue or yellow irregular aggregates and coatings up to 5 mm in gangue fractures. Metatorbernite, brochantite and mineral of the phosphuranylite - dewindtite serie were found in association. Saléite is monoclinic, space group $P2_1/c$, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: a 7.018(7), b 19.961(4), c 9.968(7), β 135.27(3) and V 983(2) Å³. Chemical analyses correspond to empirical formula $(\text{Mg}_{0.61}\text{Ca}_{0.21}\text{Fe}_{0.11}\text{Cu}_{0.09}\text{Pb}_{0.02}\text{Zn}_{0.02})_{\Sigma 1.06}(\text{UO}_2)_{2.01}[(\text{PO}_4)_{1.51}(\text{AsO}_4)_{0.46}(\text{SiO}_4)_{0.03}]_{\Sigma 2.00} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ on the basis $(\text{P}+\text{As}+\text{Si}) = 2$ apfu. Saléite originated there by weathering of primary uranium minerals in the conditions of supergene zone *in-situ*.

Key words: saléite, powder X-ray diffraction data, unit-cell parameters, chemical composition, Jáchymov ore district, Czech Republic

Úvod

Saléit, relativně vzácný Mg-P dominantní člen skupiny autunitu, byl v České republice zjištěn na uranových ložiscích a rudních výskytech, kde vzniká zvětráváním primární mineralizace v supergenních zónách *in-situ*. Jeho nehojně výskyty jsou popisovány z lokalit Rýžoviště u Harrachova (Sejkora et al. 1998), Kladská u Mariánských Lázní (Pauliš et al. 1999) a Heřmaničky u Votic (Sejkora et al. 2007). Pozoruhodný byl nález bohatých agregátů saléitu na uranovém ložisku Medvědíň (Plášil et al. 2009c), kde vystupoval ve dvou generacích. Starší saléit zde vytvářel průsvitné až průhledné tabulkovité krystaly netypické světle hnědé barvy o velikosti do několika mm; mladší generace pak citronově žluté slabě tabulkovité krystaly o velikosti do 3 mm, seskupené do bohatých agregátů.

Charakteristika nálezu

Jáchymovský rudní revír (Krušné hory, Česká republika) je klasickým příkladem Ag + As + Co + Ni + Bi + U hydrotermální žilné mineralizace. Rudní žíly jsou lokalizovány v komplexu středně metamorfovaných sedimentárních hornin kambrického až ordovického stáří v kontaktní aureole variských granitoidů. Většina primárních rudních minerálů vznikla z mezotermálních fluid variského stáří (Ondruš et al. 2003a,c).

Primární i supergenní mineralizace jáchymovského rudního revíru je vzhledem k jejímu světově unikátnímu charakteru (více než 400 známých druhů) v posledních dvaceti letech velmi intenzívně studována (viz souhrnné práce Ondruše et al. 1997, 2003a,b,c). V poslední době

byl výzkum soustředěn zejména na supergenní minerální fáze vznikající sub-recentně v podmínkách opuštěných důlních děl (např. Čejka et al. 2010; Plášil et al. 2010a, 2011a,b,c, 2012a,b; Sejkora et al. 2010), ale publikovány byly i práce zaměřené na asociace vznikající v supergenní zóně *in-situ* (Plášil et al. 2009b; Sejkora et al. 2011) nebo na vybrané minerály skupiny autunitu (Plášil et al. 2009a, 2010b).

Nově studovaný materiál byl nalezen (KB, RP) v květnu 2012 na jižním okraji odvalu „Zimní Eliáš“ (obr. 1 a 2), nacházejícím se na jv. svahu Eliášského údolí, západně od Jáchymova. Na tomto odvalu byl v období těžby deponován materiál z důlních děl západní části žilného uzlu Rovnost, především jam Eliáš a Jiřina a štol Fluder. V prostoru koruny tohoto odvalu, porostlého náletovými dřevinami, byla zjištěna zvýšená radioaktivita na několika místech, sledujících přímoúhelníkem, která je zřejmě dána rozhrnutím deponovaného materiálu při úpravě koruny odvalu po ukončení těžby. Vzhledem k uložení nalezených vzorků cca 30 cm pod dnešním povrchem odvalu a silně limonitizovanému charakteru žiloviny je pravděpodobné, že se jedná o rudninu z období konce těžby, kdy byly vypouštěny základy z bloků ve svrchních partiích žilného uzlu.

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.



Obr. 1 Odval dolu Eva, v pozadí „Zimní Eliáš“, žilný uzel Rovnost, Jáchymov. Foto K. Babka, 2008.



Obr. 2 Halda „Zimní Eliáš“ zarůstající náletovými dřevinami, foto z odvalu dolu Eva, žilný uzel Rovnost, Jáchymov. Foto K. Babka, 2008.

Rentgenová prášková difrakční data saléeitu byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s polovodičovým pozičním 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 30 s/krok detektoru, celkový čas experimentu cca 60 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 strukturních dat publikovaných Millerem, Taylorem (1986), parametry základní cely pak byly zpřesněny pomocí programu Burnhama (1962).

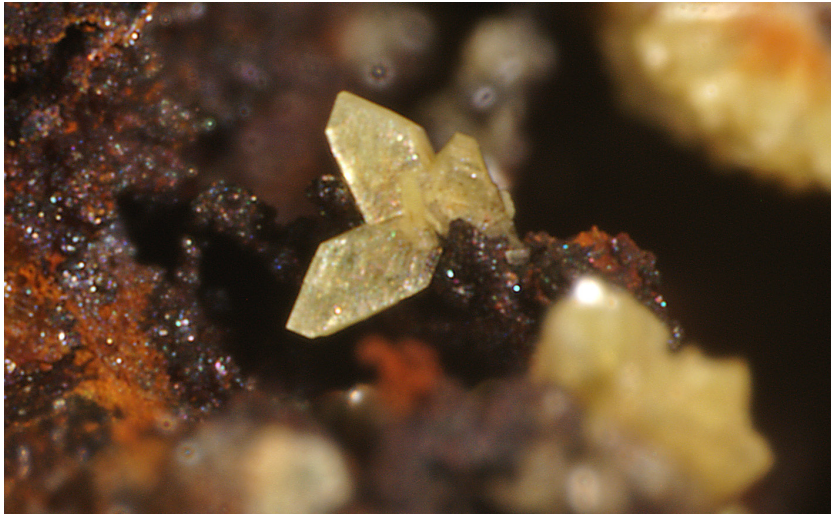
Chemické složení saléeitu bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta, MU Brno, analytik J. Sejkora) za podmínek: vlnové disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 2 nA, průměr svazku 20 μ m, standardy: andradit (Ca, Fe), baryt (Ba, S), albit (Na), vanadinit (Pb, V),

lammerit (Cu, As), sanidin (Si, Al, K), MgAl $_2$ O $_4$ (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). Nižší experimentální sumy některých bodových chemických analýz jsou pravděpodobně vyvolány nezcela dokonalým povrchem leštěného nábrusu.

Charakteristika saléeitu

Saléeit byl zjištěn v drobných dutinách a trhlinách silně limonitované žiloviny s křemennými žilkami, alterovaným uraninitem, *uranovými černěmi*, drobnými plíškami ryzího stříbra, nálety zeleného brochantitu, jasně žlutými nepravidelnými agregáty (do 2 - 3 mm) minerálu řady fosfuranylit - dewindtit a zelenými dipyramidálními (do 0.1 - 0.2 mm) nebo hruběji tabulkovitými (do 3 mm) krystaly As-bohatého metatorbernitů.

Saléeit ve studovaném materiálu vystupuje ve dvou morfologických formách. Nejčastěji tvoří na trhlinách limonitované žiloviny nepravidelné krémově žluté agregáty až povlaky o velikosti do 3 - 5 mm, které jsou tvo-



Obr. 3 Protáhle tabulkovité krystaly saléieitu v dutině alterované žiloviny, Rovnost, Jáchymov. Šířka obrázku 1.5 mm, foto J. Sejkora.



Obr. 4 Skupina tabulkovitých krystalů saléieitu v dutině alterované žiloviny, Rovnost, Jáchymov. Šířka obrázku 2 mm, foto J. Sejkora.



Obr. 5 Radiálně paprskovitý agregát tvořený tabulkovitými krystaly saléieitu v dutině alterované žiloviny, Rovnost, Jáchymov. Šířka obrázku 1.8 mm, foto J. Sejkora.

řeny nepravidelně srůstajícími velmi drobnými tabulkovitými krystaly. Vzácněji byly v drobných dutinách alterované žiloviny pozorovány dobře vyvinuté, protáhle tabulkovité, průsvitné, světle žluté až žluté krystaly o velikosti do 0.5 mm s perleťovým až skelným leskem, které srůstají do malých skupin (obr. 3 a 4) nebo radiálně uspořádaných agregátů (obr. 5). V krátkovlnném UV záření vykazuje saléit z Jáchymova velmi intenzivní jasně žlutozelenou fluorescenci bez dosvitových efektů; v dlouhovlnném záření je barva fluorescence stejná, ale její intenzita výrazně nižší.

Rentgenová prášková data saléieitu z Jáchymova (tab. 1) v základních rysech odpovídají teoretickým údajům vypočteným z krystalových strukturních dat (Miller, Taylor 1986) i publikovaným práškovým datům tohoto minerálu z různých lokalit. Pozorované rozdíly v relativní intenzitě jednotlivých difrakcí a v nepřítomnosti řady difrakčních maxim o nižší intenzitě, jsou vyvolány výraznou přednostní orientací (typu $0k0$) studovaného vzorku a jen minimálním množstvím materiálu dostupného pro výzkum. Zpřesněné parametry základní cely saléieitu z Jáchymova jsou v tabulce 2 porovnány s publikovanými údaji pro tuto minerální fázi.

Při kvantitativním studiu chemického složení saléieitu z Jáchymova (tab. 3) byly vedle dominantního Mg, U a P zjištěny i minoritní obsahy dalších chemických prvků. V kationtu se vedle převládajícího Mg (0.56 - 0.66 *apfu*) uplatňují i významnější obsahy Ca (do 0.24 *apfu*), Cu (do 0.21 *apfu*) a Fe (do 0.17 *apfu*). Obdobné obsahy Ca a Cu uvádějí pro starší saléit I z Medvědína Plášil et al. (2009c), zvýšené obsahy Fe byly zjištěny v saléieitu z Arcu su Linnarbu na Sardinii (Vochten, van Springel 1996). V aniontu je dominantní P (1.46 - 1.56 *apfu*) výrazně izomorfne zastupován As s obsahy 0.41 - 0.51 *apfu*; obdobná PA_{s-1} izomorfie (řada saléit - nováčekit) je popisována Frondelem (1951, 1958) nebo Plášilem et al. (2009c) v případě mladšího saléieitu II z Medvědína. Empirický vzorec (průměr 3 bodových analýz) saléieitu z Jáchymova je možno na bázi $(P+As+Si) = 2$ *apfu* vyjádřit jako $(Mg_{0.61}Ca_{0.21}Fe_{0.11}Cu_{0.09}Pb_{0.02}Zn_{0.02})_{\Sigma 1.06}(UO_2)_{2/2.01}[(PO_4)_{1.51}(AsO_4)_{0.46}(SiO_4)_{0.03}]_{\Sigma 2.00} \cdot 10H_2O$.

Závěr

V supergenně silně alterovaném žilném materiálu pocházejícím pravděpodobně z přípovrchových partií rudních žil západní části žilného uzlu Rovnost v jáchymovském rudním revíru byl identifikován výskyt hydratovaného uranylfosfátu Mg - minerálu saléeitu. Vznik saléeitu je vázán na zvětrávání primárního uraninitu a uranových černí v podmínkách supergenní zóny *in-situ*.

Poděkování

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

Tabulka 1 Rentgenová prášková data saléeitu z Jáchymova

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>l</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}
0	2	0	9.981	100	9.981
1	1	-1	6.621	1	6.621
0	4	0	4.993	20	4.990
0	3	1	4.821	1	4.828
1	3	-1	4.821	1	4.828
0	0	2	3.507	4	3.508
2	0	-2	3.507	4	3.509
0	6	0	3.327	2	3.327
0	8	0	2.4957	1	2.4951
1	0	2	2.2141	1	2.2126
3	1	-4	2.2141	1	2.2115
1	2	-4	2.1703	1	2.1713
1	7	-3	2.1138	1	2.1137
0	10	0	1.9968	3	1.9961
1	10	-2	1.8522	1	1.8530
4	1	-4	1.7470	1	1.7477
0	12	0	1.6636	1	1.6634

Tabulka 3 Chemické složení saléeitu z Jáchymova (hm. %)

	mean	1	2	3
CaO	1.18	1.28	1.38	0.86
FeO	0.81	1.18	0.99	0.26
MgO	2.43	2.15	2.61	2.54
PbO	0.43	0.43	0.88	0.00
CuO	0.74	1.62	0.15	0.44
ZnO	0.15	0.00	0.21	0.25
SiO ₂	0.18	0.23	0.18	0.14
As ₂ O ₅	5.24	5.53	4.91	5.28
P ₂ O ₅	10.53	9.85	11.59	10.17
UO ₃	56.70	54.64	58.22	57.26
H ₂ O*	17.75	17.17	18.83	17.26
total	96.15	94.06	99.95	94.46
Ca*	0.213	0.240	0.236	0.160
Fe*	0.114	0.172	0.132	0.038
Mg*	0.613	0.559	0.620	0.658
Pb	0.020	0.020	0.038	0.000
Cu*	0.094	0.213	0.018	0.058
Zn	0.019	0.000	0.024	0.032
Σ M	1.072	1.204	1.068	0.946
Si	0.031	0.040	0.029	0.025
As	0.463	0.505	0.409	0.480
P	1.506	1.455	1.562	1.496
Σ T	2.000	2.000	2.000	2.000
U	2.012	2.004	1.948	2.090
H	19.997	19.996	20.004	20.002

H₂O* - obsah vypočtený na bázi teoretického obsahu 10 H₂O v saléeitu; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi (P+As+Si) = 2 apfu.

Tabulka 2 Mřížkové parametry saléeitu z Jáchymova v porovnání s publikovanými daty (monoklinická prostorová grupa P2₁/c)

	Jáchymov tato práce	Medvědní I Plášil et al. (2009c)	Medvědní II Plášil et al. (2009c)	Heřmaničky Sejkora et al. (2007)	Rýžoviště Sejkora et al. (1998)	Ranger I mine Miller, Taylor (1986)
<i>a</i> [Å]	7.018(7)	6.952(8)	6.951(9)	6.991(6)	7.016(7)	6.951(3)
<i>b</i> [Å]	19.961(4)	19.947(4)	19.945(8)	19.942(4)	19.99(1)	19.947(8)
<i>c</i> [Å]	9.968(7)	9.89(1)	9.90(1)	10.008(6)	10.045(9)	9.896(4)
β [°]	135.27(3)	135.24(4)	135.14(4)	135.68(2)	135.67(3)	135.17(2)
<i>V</i> [Å ³]	983(2)	965(3)	968(3)	975(1)	985(2)	967.4

Literatura

- Burnham Ch. W. (1962) Lattice constant refinement. *Carnegie Inst. Washington Year Book* 61, 132-135.
- Čejka J., Sejkora J., Plášil J., Bahfenne S., Palmer S. J., Frost R. L. (2010) Raman spectroscopic study of the uranyl carbonate mineral čejkaite and its comparison with synthetic trigonal Na₄[UO₂(CO₃)₃]. *J. Raman Spectrosc.* 41, 459-464.
- Frondel C. (1951) Studies of uranium minerals (IX); Saléeite and novacekite. *Am. Mineral.* 36, 680-686.
- Frondel C. (1958) Systematic mineralogy of uranium and thorium. *Geol. Surv. Bull.* 1064, 400 pp.
- Miller S. A., Taylor J. C. (1986) The crystal structure of saléeite Mg[UO₂PO₄]₂ · 10 H₂O. *Zeit. Krist.* 177, 247-253.
- 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., Veselovský F., Gabašová A., Hloušek J., Šrein V. (2003a) Geology and hydrothermal vein system of the Jáchymov (Joachimsthal) ore district. *J. Czech Geol. Soc.* 48, 3-18.
- Ondruš P., Veselovský F., Gabašová A., Hloušek J., Šrein V. (2003b) Supplement to secondary and rock-forming minerals of the Jáchymov ore district. *J. Czech Geol. Soc.* 48, 149-155.
- Ondruš P., Veselovský F., Gabašová A., Hloušek J., Šrein V., Vavřín I., Skála R., Sejkora J., Drábek M. (2003c) Primary minerals of the Jáchymov ore district. *J. Czech Geol. Soc.* 48, 19-147.
- 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., Šveců 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.
- Plášil J., Buixaderas E., Čejka J., Sejkora J., Jehlička J., Novák M. (2010a) Raman spectroscopic study of the uranyl sulphate mineral zippeite: low number and U-O stretching regions. *Anal. Bioanal. Chem.* 397, 2703-2715.
- Plášil J., Čejka J., Sejkora J., Hloušek J., Goliáš V. (2009a) New data for metakirchheimerite from Jáchymov (St. Joachimsthal), Czech Republic. *J. Geosci.* 54, 373-384.
- Plášil J., Čejka J., Sejkora J., Škácha P. (2009b) The question of water content in parsonsite: a model case - occurrence at the Červené žíly vein system, Jáchymov (St. Joachimsthal), Czech Republic. *J. Geosci.* 54, 385-394.
- Plášil J., Dušek M., Novák M., Čejka J., Císařová I., Škoda R. (2011a) Sejkoraite-(Y), a new member of the zippeite group containing trivalent cations from Jáchymov (St. Joachimsthal), Czech Republic: Description and crystal structure refinement. *Am. Mineral.* 96, 983-991.
- Plášil J., Fejfarová K., Novák M., Dušek M., Škoda R., Hloušek J., Čejka J., Majzlan J., Sejkora J., Machovič V., Talla D. (2011b) Běhounekite, $U(SO_4)_2(H_2O)_4$, from Jáchymov (St. Joachimsthal), Czech Republic: the first natural U^{4+} sulphate. *Mineral. Mag.* 76, 6, 2739-2753.
- Plášil J., Fejfarová K., Wallwork K. S., Dušek M., Škoda R., Sejkora J., Čejka J., Veselovský F., Hloušek J., Meisser N., Brugger J. (2012a) Crystal structure of pseudojohannite, with a revised formula $Cu_3(OH)_2[(UO_2)_4O_4(SO_4)_2](H_2O)_{12}$. *Am. Mineral.* 97, 10, 1796-1803.
- Plášil J., Hloušek J., Veselovský F., Fejfarová K., Dušek M., Škoda R., Novák M., Čejka J., Sejkora J., Ondruš P. (2012b) Adolpaterite, $K(UO_2)(SO_4)(OH)(H_2O)$, a new uranyl sulphate mineral from Jáchymov, Czech Republic. *Am. Mineral.* 97, 447-454.
- Plášil J., Mills S. J., Fejfarová K., Dušek M., Novák M., Škoda R., Čejka J., Sejkora J. (2011c) The crystal structure of natural zippeite $K_{1.85}H_{0.15}[(UO_2)_4O_2(SO_4)_2OH_2(H_2O)_4]$, from Jáchymov, Czech Republic. *Can. Mineral.* 49, 1089-1103.
- Plášil J., Sejkora J., Čejka J., Novák M., Viňals J., Ondruš P., Veselovský F., Škácha P., Jehlička J., Goliáš V., Hloušek J. (2010b) Metarauchite, $Ni(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot H_2O$, from Jáchymov, Czech Republic, and Schneeberg, Germany: a new member of the autunite group. *Can. Mineral.* 48, 335-350.
- Plášil J., Sejkora J., Čejka J., Škoda R., Goliáš V. (2009c) Supergene mineralization of the Medvědí uranium deposit, Krkonoše Mountains, Czech Republic. *J. Geosci.* 54, 15-56.
- 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.
- Sejkora J., Čejka J., Frost R. L., Bahfenne S., Plášil J., Keeffe E. C. (2010) Raman spectroscopy of hydrogen-arsenate group in solid-state compounds: copper mineral phase geminite $Cu(AsO_3OH) \cdot H_2O$ from different geological environments. *J. Raman Spectrosc.* 41, 1038-1046.
- Sejkora J., Čejka J., Kotrlý M., Novotná M. (1998) Saléit z odvalu uranového rudního výskytu Rýžoviště u Harrachova. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 6, 217-221.
- Sejkora J., Pauliš P., Kopecký S. sen., Kopecký S. jun. (2007) Saléit u uranového výskytu Heřmaničky u Votic. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 14-15, 114-115.
- 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, 3, 257-271.
- Vochten R., van Springel, K. (1996) A natural ferrous substituted saléite from Arcu su Linnarbu, Capoterra, Cagliari, Sardinia. *Mineral. Mag.* 60, 647-651.
- 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.