

Manganem bohatý beraunit, strunzit a fosfosiderit z historického ložiska Fe-Mn rud Morašice u Přelouče (Česká republika)

Manganese rich beraunite, strunzite and phosphosiderite from historical Fe-Mn ore deposit Morašice near Přelouč (Czech Republic)

LUBOŠ VRTIŠKA^{1,2)*}, JAROMÍR TVRDÝ¹⁾, RADANA MALÍKOVÁ²⁾ A ZDENĚK DOLNÍČEK²⁾

¹⁾Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno; *e-mail: lubos_vrtiska@nm.cz

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

VRTIŠKA L, TVRDÝ J, MALÍKOVÁ R, DOLNÍČEK Z (2019) Manganem bohatý beraunit, strunzit a fosfosiderit z historického ložiska Fe-Mn rud Morašice u Přelouče (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 27(2): 269-278 ISSN 2570-7337

Abstract

A new study of phosphate mineralization from abandoned Fe-Mn deposit Morašice near Přelouč (Železné hory Mts., Czech Republic) provides new analytical data for historically known mineral strunzite as well as newly determined minerals Mn-rich beraunite and phosphosiderite. Phosphate minerals are bound to cracks and cavities in weathered slate rocks. Mn-rich beraunite forms radially fibrous, dark green to yellow-green aggregates up to 1.5 mm in size; its empirical formula is $(\text{Na}^{+}_{0.02}\text{Fe}^{2+}_{0.72}\text{Mn}^{2+}_{0.16})_{\Sigma 0.90}(\text{Fe}^{3+}_{4.98}\text{Al}^{3+}_{0.02})_{\Sigma 5.00}[(\text{SO}_4)_{4.01}(\text{PO}_4)_{3.96}(\text{AsO}_4)_{0.03}]_{\Sigma 4.00}(\text{OH})_{4.80} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and refined unit-cell parameters are a 20.656(7), b 5.122(3), c 19.232(8) Å, β 93.6(1)° and V 2030.7(6) Å³. Strunzite in orange-yellow to light yellow radial aggregates and needles up to 5 mm long has an empirical formula $(\text{Na}^{+}_{0.01}\text{Fe}^{2+}_{0.27}\text{Mn}^{2+}_{0.60}\text{Mg}^{2+}_{0.01})_{\Sigma 0.89}(\text{Fe}^{3+}_{1.98}\text{Al}^{3+}_{0.02})_{\Sigma 2.00}[(\text{SO}_4)_{4.01}(\text{PO}_4)_{1.98}(\text{AsO}_4)_{0.01}]_{\Sigma 2.00}(\text{OH})_{1.78} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and unit-cell parameters are: a 10.236(9), b 9.834(6), c 7.279(5) Å, α 90.27(8)°, β 98.25(7)°, γ 117.43(7)° and V 640.8(5) Å³. Phosphosiderite occurs as orange to beige crystalline crusts and spherical aggregates up to 0.5 mm and white spherical aggregates up to 0.5 mm in size; its empirical formula is $\text{Fe}_{0.94}(\text{PO}_4)_{1.00} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; refined unit-cell parameters are a 5.325(4), b 9.804(5), c 8.709(8) Å, β 90.5(6)° and V 454.6(6) Å³.

Key words: Mn-rich beraunite, strunzite, phosphosiderite, chemical composition, PXRD data, Fe-Mn ore deposit, Morašice, Chvaletice, Přelouč, Czech Republic

Obdrženo 4. 10. 2019; přijato 20. 11. 2019

Úvod

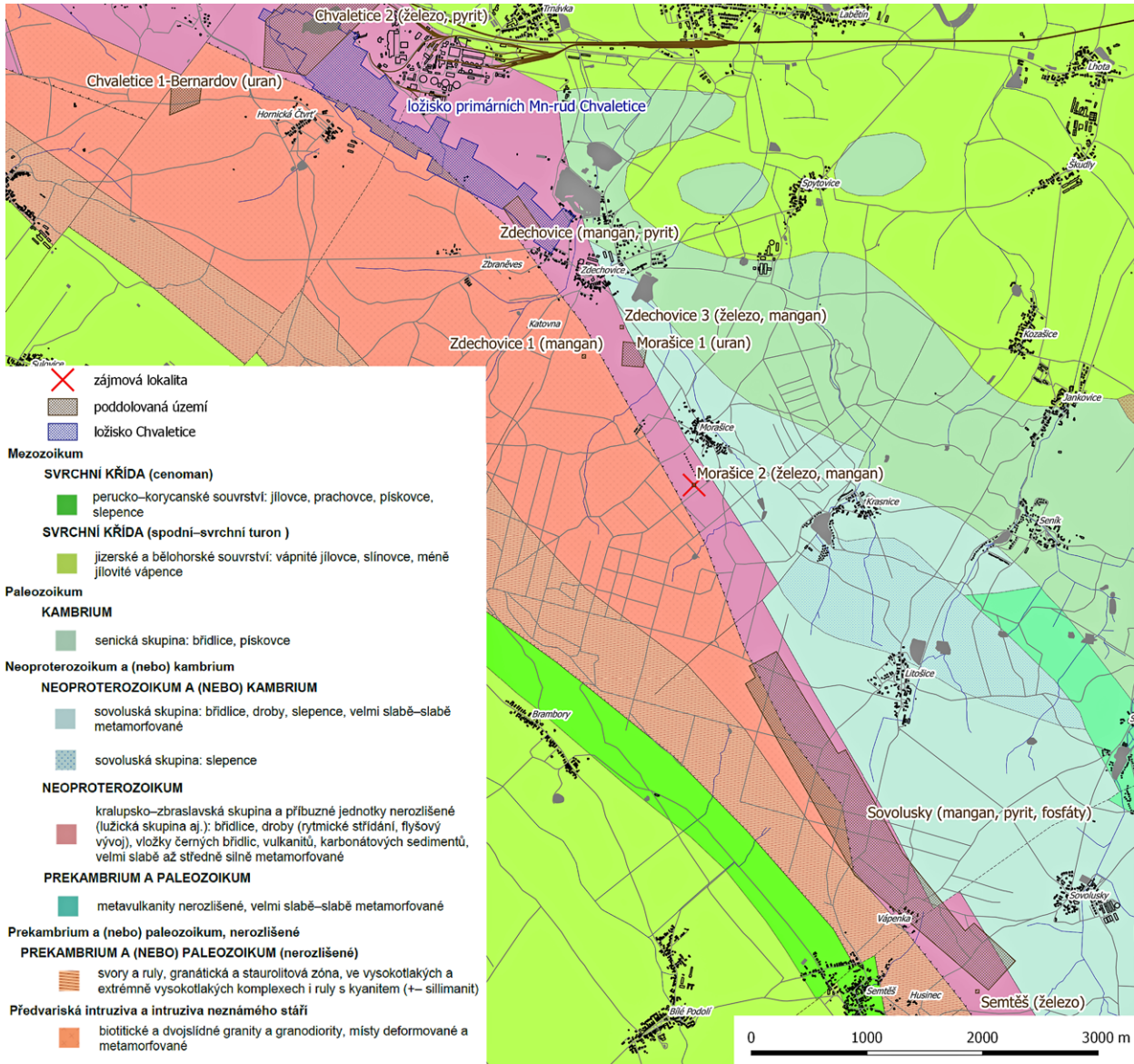
V rámci výzkumu sekundárních puklinových fosfátů České republiky bylo moderními analytickými metodami zrevidováno sedm vzorků z lokality Morašice uložených v mineralogické sbírce Národního muzea v Praze, u nichž bylo podezření na nesprávnou determinaci. Vedle správně určeného strunzitu byl na vzorcích ve třech případech zjištěn Mn-bohatý beraunit, původně nesprávně určený jako dufrénit, respektive *kraurit* (*kraurit* = synonymum pro dufrénit), a z lokality v minulosti známý, avšak neurčený okrový fosfát fosfosiderit. Tři ukázky evidované jako kaxen byly redefinovány jako strunzit. Předmětem této práce je podrobné studium nově determinovaných minerálů i historicky známého strunzitu, jehož chemické složení nebylo doposud publikováno.

Geologie oblasti a historie těžby

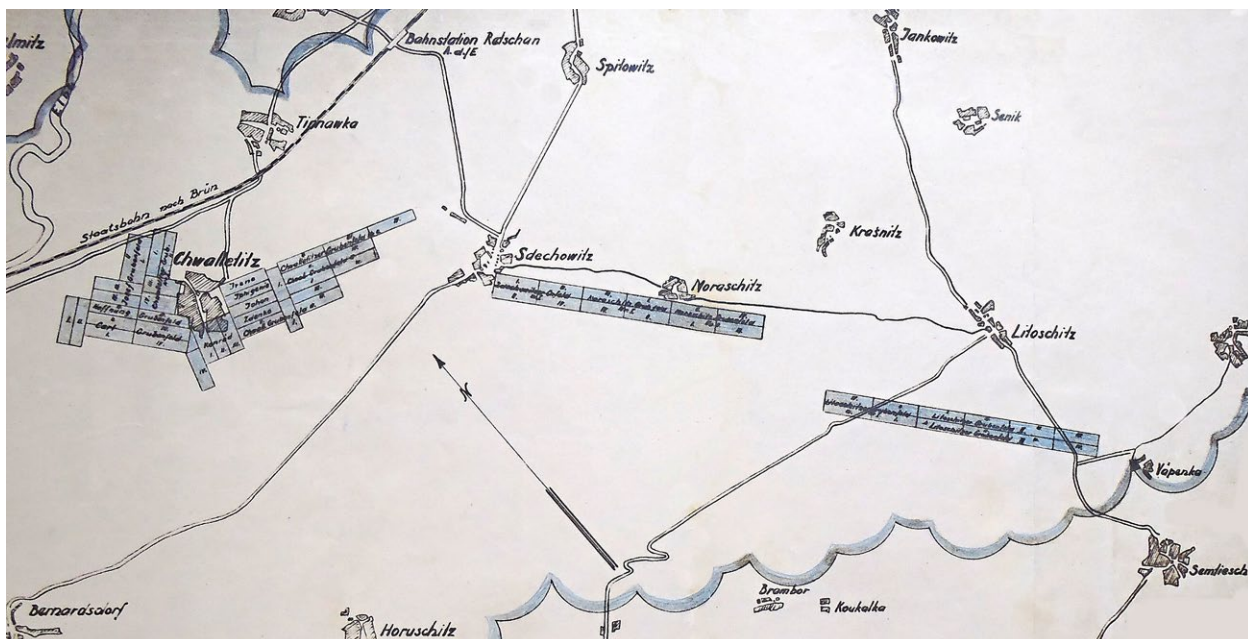
Lokalita Morašice je součástí tzv. chvaletického rudního pruhu na severozápadě Železných hor. Pásmo vulkanosedimentárních ložisek kyzových břidelic a železo-manganových rud se v délce zhruba 12 km táhne od Chvaletic na severozápadě až po Semtěš na jihovýchodě.

Je zhruba rovnoběžné s linií železnohorského zlomu, podle které došlo během alpinského vrásnění k výzdvihu Železných hor o několik stovek metrů. Zrudnění je vázáno na slabě metamorfované a intenzivně zvrásněné horniny tzv. chvaletické skupiny, považované za ekvivalent kralupsko-zbraslavské skupiny barrandienského proteozoika. Převažují tmavé fylitické břidlice s drobovými a tufitickými polohami, zastoupeny jsou i bazické vulkanity a klastika telčických slepenců. Na chvaletické skupině je diskordantně uložena mladší (podle posledních výzkumů kambrická) sovoluská skupina budovaná tenec páskovanými horninami s tělesy alkalických vulkanitů a polohami litošických slepenců (Chlupáč et al. 2002). Celkem mají obě tyto jednotky mocnost několika stovek metrů. Na severovýchodě upadají pod staropaleozoická a křídová souvrství, na jihu a jihozápadě se stýkají s chvaletickým granitovým masivem (obr. 1).

Hlavní manganonosný horizont je představován čockovitým sedimentárním rodochroizitem. Největší mocnosti několika desítek metrů dosahuje západně od Chvaletic, směrem k jihovýchodu jeho mocnost ubývá a u Sovolusk byly nalezeny jen několikadecimetrové rodochroizitové konkrce. V podloží této polohy jsou kyzové



Obr. 1 Geologická mapa širšího okolí Morašic s vyznačením zájmové lokality. Zpracováno podle mapových aplikací České geologické služby (<https://maps.geology.cz>, 2019), topografický podklad Data50 (Český úřad zeměměřičký a katastrální, 2019).



Tabulka 1 Seznam vzorků použitých pro výzkum s jejich původním označením a uvedením nově zjištěných minerálů

Inv. č.	původní označení	zjištěné minerály	předchozí majitel	rok nálezu
P1N25.233	kakoxen	strunzit	V. Vítek, Chvaletice	1928
P1N34.469	kakoxen	strunzit, fosfosiderit	Dr. J. Hrbek, Praha	1941
P1N80.730	kakoxen	strunzit, fosfosiderit	Doc. K. Paděra, Praha	před 1977
P1N77.044	strunzit	strunzit	Dr. J. Hrbek, Praha	1941
P1N111.948	strunzit, kakoxen	strunzit, beraunit, fosfosiderit	Prof. L. Žák, Praha	1947
P1N34.473	<i>kraurit</i> (= dufrénit)	strunzit, beraunit, fosfosiderit	Dr. J. Hrbek, Praha	1939
P1N77.043	dufrénit, strunzit	strunzit, beraunit, fosfosiderit	Dr. J. Hrbek, Praha	1939

břidlice slabě zrudněné a málo mocné, v nadloží je pyritové zrudnění intenzivnější a má větší mocnost. Ve svých východních partiích podlehly sedimentární rudy intenzivní hydrotermální metamorfóze, která lemuje masiv chvaletického granitu. Tyto procesy daly vznik pestrým minerálním asociacím (Slavík 1931; Žák 1972, 1978).

Dobývání železných rud v této části Železných hor je známo od středověku. S přestávkami probíhalo až do počátku 17. století, po třicetileté válce úplně ustalo a bylo obnoveno až koncem 18. století. V polovině 19. století vstoupila do regionu Česká montánní společnost (Böhmische Montangesellschaft), přední výrobce surového železa a vlastník sléváren, válcoven a železorných dolů v Čechách. Největší ložiska byla u Chvaletic, k drobnějším výskytům patřily Zdechovice, Morašice, Litošice, Sovolusky a Semtěš (obr. 2). V roce 1885 je uváděna produkce asi 7 000 centů (tj. necelých 400 tun) oxidické rudy ze železného klobouku s obsahem 20 % Fe a 20 % Mn. V roce 1909 převzala revír Pražská železářská společnost (Prager Eisenindustrie-Gesellschaft), která se po poměrně rozsáhlých průzkumných pracích a vydobytí menších výskytů soustředila na největší ložisko u Chvaletic. Soustavná těžba Fe-Mn rud začala v roce 1915 a postupně dosáhla roční výše několika desítek tisíc tun (Tvrdý et al.

2017). Zajímavostí je vedlejší těžba fosfátů (destinezitu) u Litošic. Po 2. světové válce byla Pražská železářská společnost znárodněna a začleněna do národního podniku Středočeské uhelné a železorné doly. Území se nevyhnulo ani uranové hořečce poloviny 20. století, průzkumné práce u Bernardova a Morašic však vyzněly neúspěšně.

Drobné ložisko jihozápadně u Morašic bylo otevřeno v roce 1927 a již následující rok přináší Slavík (1928) jeho základní mineralogickou charakteristiku. Z primárních rud uvádí pyrit, pyrhotin, rodochrozit, rodonit a *antofylitový azbest*, z druhotných nerostů oxidační zóny pak aragonit, vivianit, neotokit, oxidické manganové fáze (*psilomelan*, *wad*), destinezit a amorfní fosforečnany hliníku a železa (*delvauxit*, *bořickýit-foucherit*, minerál odpovídající *santabarbaraitu* aj.). Vzorky těchto nerostů věnoval

do sbírek Národního muzea Václav Vítek, tehdejší důlní správce Pražské železářské společnosti ve Chvaleticích (Slavíková 1930), některé byly v minulosti získány od významných českých sběratelů.

Metodika výzkumu

Povrchová morfologie vzorků byla sledována v dopadajícím světle pomocí optického mikroskopu Nikon SMZ 1000 (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 a funkce skládání obrazu za použití programu NIS Elements AR verze 4.20.

Rentgenová prášková difrakční data studovaných fází 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 nanášeny v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku a následně byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.01°, načítací čas 8 s/krok detektoru, celkový čas experimentu cca 15 hod.). Pozice



Obr. 3 Nenápadné důlní odvaly jihovýchodně od myslivny v Morašicích. Stav březen 2019. Foto L. Vrtiška.

Obr. 2 Mapa důlních měř na chvaletickém rudním pruhu k únoru 1930 (archiv Pražské železářské společnosti, ČGS-Geofond P04790).

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 studovaných fází bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum Praha, analytik Z. Dolníček a L. Vrtiška). Podmínky měření: WD analýza, 15 kV, 15 nA, průměr svazku elektronů 4 μm , použité standardy: albit (NaK α), sanidin (AlK α , SiK α , KK α), diopsid (MgK α), apatit (PK α , CaK α), vanadinit (PbM α), klinoklas (AsL α), YVO₄ (YL α), rodonit (MnK α), Sn (SnL α), halit (ClK α), Bi (BiM α), celestin (SrL β , SK α), hematit (FeK α), V (VK α), cpx (CuK α), ZnO (ZnK α), Co (CoK α), baryt (BaL β), LiF (FK α), Cr₂O₃ (CrK α).



Obr. 4 Snopkovité a radiální agregáty žlutozeleného beraunitu se žlutými jehlicemi strunzitu. P1N111.948. Šířka záběru 12 mm. Foto L. Vrtiška.



Obr. 5 Snopkovité a radiální agregáty žlutozeleného beraunitu se žlutými jehlicemi strunzitu. P1N111.948. Šířka záběru 3 mm. Foto L. Vrtiška.

Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou zahrnuty v tabulkách, byly kvantitativně analyzovány, ale zjištěné obsahy byly pod detekčním limitem (cca 0.01 - 0.05 hm. % pro jednotlivé prvky). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Charakteristika studované mineralizace s fosfáty

Pro studium fosfátové mineralizace z lokality Morašice bylo použito sedm historických vzorků z mineralogické sbírky Národního muzea v Praze. Jejich seznam s uvedením původu je uveden v tabulce 1. Větší část z nich našel osobně advokát a obhájce z pražských Dejvic Dr. Jaroslav Hrbek mezi lety 1939 a 1941, nejstarší ukázka pochází od V. Vítka z Chvaletic (před rokem 1928), jeden vzorek sbíral osobně prof. RNDr. Lubor Žák, CSc. v roce 1949 a poslední studovaná ukázka byla získána koupí od

doc. RNDr. Karla Paděry, CSc. v roce 1977 (pravděpodobně se neshoduje s rokem nálezů). Podle popisu na některých ukázkách pocházejí vzorky z důlního odvalu u myslivny (obr. 3), situovaného jihozápadně od obce Morašice (cca 6 km jv. od Chvaletic; GPS 49.9977158 N, 15.4860331 E).

Beraunit

Beraunit z Morašic byl zjištěn na třech ukázkách (tab. 1). V minulosti jej Tuček (1943) na základě optických vlastností určil jako *kraurit* (dnes dufrénit). Vyskytuje se v asociaci se strunzitem a fosfosideritem v podobě tmavě zelených až žlutozelených snopkovitých a radiálních agregátů do velikosti 1 mm složených z jehličkovitých krystalů (obr. 4 a 5), respektive polokulovitých světle zelených, žlutozelených, místy až oranžovožlutých plstnatých agregátů s hedvábným leskem do velikosti 1.5 mm (obr. 6 - 8). Beraunit, stejně jako ostatní studované fosfáty, nasedá na pukliny v silně rozložené břidlici s povlaky rezavého *limonitu* a amorfního červenohnědého fosfátu Fe.

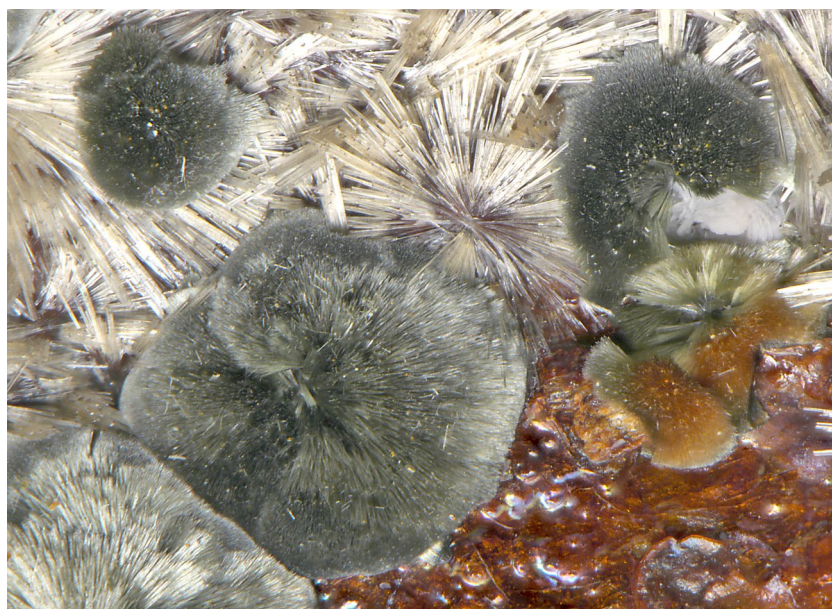
Rentgenová prášková data (tab. 2) studovaného vzorku odpovídají datům, která pro beraunit uvádějí Fanfani, Zanazzi (1967). Jeho zpřesněné mřížkové parametry jsou v tabulce 3 porovnány s publikovanými daty pro beraunit.

Při studiu chemického složení beraunitu z Morašic (tab. 4) byly při přepočtu za teoretického předpokladu plného obsazení M2-pozice Fe³⁺ a Al³⁺ zjištěny obsahy Fe³⁺ v rozsahu 4.96 - 5.00 *apfu* a minoritní obsahy Al³⁺ v rozsahu 0.01 - 0.03 *apfu*. M1-pozice je pak dominantně obsazena Fe²⁺ v rozsahu 0.58 - 0.88 *apfu*. V této pozici byly dále zjištěny zvýšené obsahy Mn²⁺ v rozsahu 0.12 - 0.21 *apfu*. Vyšší obsahy Mn v minerálech beraunitové skupiny pozorovali Fe-

cia di Cossato et al. (1989) z lokality Mangualde v Portugalsku. Tito autoři popisují „červený manganem bohatý Fe-oxidovaný beraunit“ s obsahem MnO 4.23 hm. % (0.54 *apfu* Mn²⁺), Fe₂O₃ 49.49 hm. % (5.65 *apfu* Fe³⁺) a pouze minoritním obsahem FeO (0.01 hm. %). Dle současné nomenklatury se tak jedná spíše o Mn bohatý eleonorit (eleonorit nebyl v té době platný minerální druh; Chukanov et al. 2017). Mn bohatý eleonorit pak nově uvádějí také Aksenov et al. (2018) z pegmatitu Hagendorf v Německu s obsahy MnO v rozsahu 4.07 - 5.27 hm. % (0.58 *apfu* Mn²⁺).

Ve studovaném beraunitu z Morašic se dále v M1-pozici minoritně uplatňuje Na (do 0.15 *apfu*), Mg (do 0.02 *apfu*) a Ca (do 0.01 *apfu*). V této pozici lze také na základě stechiometrie předpokládat přítomnost vakance do 0.21 *apfu*. V aniontové pozici se vedle P minoritně uplatňuje As (do 0.06 *apfu*) a S (do 0.02 *apfu*).

Empirický vzorec beraunitu z Morašic lze na bázi P+S+As = 4 *apfu* (průměr sedmi bodových analýz) vyjádřit jako $(\text{Na}^+_{0.02}\text{Fe}^{2+}_{0.72}\text{Mn}^{2+}_{0.16})_{\Sigma 0.90}(\text{Fe}^{3+}_{4.98}\text{Al}^{3+}_{0.02})_{\Sigma 5.00}[(\text{SO}_4)_{0.01}(\text{PO}_4)_{3.96}(\text{AsO}_4)_{0.03}]_{\Sigma 4.00}(\text{OH})_{4.80} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.



Obr. 6 Polokulovité agregáty hedvábně lesklého zeleného beraunitu se žlutými snopkovitými agregáty strunzitu a bílým kulovitým fosfosideritem. P1N77.043. Šířka záběru 5 mm. Foto L. Vrtiška.

Obr. 7 Polokulovité agregáty hedvábně lesklého žlutozeleného beraunitu se žlutými radiálně paprscitými agregáty strunzitu a bílým kulovitým fosfosideritem. P1N77.043. Šířka záběru 2 mm. Foto L. Vrtiška.

Obr. 8 Žluté radiálně paprscité agregáty strunzitu se žlutozelenými polokulovitými agregáty sametově lesklého beraunitu a bílým kulovitým fosfosideritem. P1N77.043. Šířka záběru 6 mm. Foto L. Vrtiška.



Strunzit

Sekundární fosfát manganu a železa strunzit s ideálním vzorcem $\text{Mn}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ patří spolu s ferristrunzitem, ferrostrunzitem a zincostrunzitem do skupiny strunzitu. Pojmenován byl v roce 1957 na počest Karla Huga Strunze, profesora mineralogie na Technické univerzitě v Berlíně. Typovou lokalitou je Hagendorf v Německu (Frondele 1957). V rámci České republiky se jedná o velmi vzácný minerál. Zjištěn byl pouze na několika málo lokalitách. Ve studované oblasti byl pozorován ve Chvaleticích (Prachař 1981) a Litošicích (Jirásek 2005). V mineralogické sbírce Národního muzea je uložena bohatá ukázka strunzitu (v minulosti nesprávně určená jako kakoxen) z nedalekého naleziště Zdechovice. Dále se vyskytl v Příbyslavicích (Povondra et al. 1987) a v pegmatitech u Otova (Čech et al. 1981) a Dolních Borů (Staněk 1997, 2000).

Z lokality Morašice strunzit poprvé správně uvádějí Čech a Slánský (1959), před nimi ho popisuje Slavík (1928), avšak nazývá ho na základě optického studia z pochopitelných důvodů kakoxenem (strunzit v té době ještě nebyl znám). Také všechny vzorky z chvaletického

revíru evidované ve sbírce Národního muzea jako kakoxen byly nově redefinovány jako strunzit (kakoxen na nich zjištěn nebyl).

Strunzit z Morašic pokrývá plochy puklin alterovaných břidlic v podobě radiálně paprskovitých či snopkovitých agregátů nebo samostatných jehlicovitých krystalů oranžovožluté, slámově žluté až světle žluté barvy (obr. 4 - 10). Délka jednotlivých krystalů dosahuje výjimečně až 5 mm, nejčastější velikost agregátů je pak 2 - 5 mm.

Rentgenová prášková data strunzitu (tab. 5) odpovídají údajům publikovaným Fanfanim et al. (1978). Jeho přesnější mřížkové parametry jsou v tabulce 6 porovnány s publikovanými daty.

Při chemickém studiu strunzitu z Morašic (tab. 7) bylo za teoretického předpokladu plného obsazení M2-pozice Fe^{3+} a Al^{3+} zjištěno v této pozici obsahy Fe^{3+} v rozsahu 1.97 - 1.99 apfu a Al^{3+} v rozsahu 0.01 - 0.03 apfu. M1-pozice je dominantně obsazena Mn^{2+} v rozsahu 0.57 - 0.63 apfu a Fe^{2+} (ferrostrunzitová komponenta; 0.23 - 0.30 apfu). Minoritní je zastoupení Na (do 0.08 apfu), Mg (do 0.03 apfu) a Ca (do 0.003 apfu). V této pozici lze také na základě stechiometrie předpokládat přítomnost vakance

do 0.47 apfu. V aniontové pozici se vedle P minoritně uplatňuje Si (do 0.16 apfu) a V (do 0.01 apfu).

Empirický vzorec strunzitu z Morašic lze na bázi S+P+As = 2 apfu (průměr sedmi bodových analýz) vyjádřit jako $(\text{Na}^{+}_{0.01}\text{Fe}^{2+}_{0.27}\text{Mn}^{2+}_{0.60}\text{Mg}^{2+}_{0.01})_{\Sigma 0.89}(\text{Fe}^{3+}_{1.98}\text{Al}^{3+}_{0.02})_{\Sigma 2.00}[(\text{SO}_4)_{4/0.01}\text{PO}_4]_{1.98}(\text{AsO}_4)_{0.01}\text{I}_{\Sigma 2.00}(\text{OH})_{1.78} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.



Obr. 9 Oranžovožluté snopkovité agregáty jehlicovitých krystalů strunzitu. P1N77.044. Šířka záběru 3 mm. Foto L. Vrtiška.

Obr. 10 Oranžové nepravidelné agregáty fosfosideritu s tmavě olivově zelenými snopkovitými agregáty jehlicovitých krystalů beraunitu a žlutými jehlicemi strunzitu. P1N111.948. Šířka záběru 2 mm. Foto L. Vrtiška.

Tabulka 2 Rentgenová prášková data beraunitu z Morašic

<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>
2	0	0	10.433	100	10.358	-6	0	4	2.893	1	2.880	11	1	0	1.7604	<1	1.7600
0	0	2	9.611	2	9.597	6	0	4	2.722	<1	2.714	5	1	9	1.7380	<1	1.7381
-2	0	2	7.277	3	7.254	5	1	4	2.606	4	2.611	-11	1	3	1.7226	<1	1.7230
-1	1	1	4.831	<1	4.830	7	1	0	2.551	<1	2.553	-11	1	4	1.6869	1	1.6847
-2	0	4	4.461	1	4.458	3	1	6	2.4805	<1	2.4792	-8	2	5	1.6700	<1	1.6707
-1	1	4	3.475	11	3.479	-4	0	8	2.2283	<1	2.2292	9	1	7	1.6193	<1	1.6187
5	1	0	3.206	2	3.212	-3	1	8	2.1081	<1	2.1062	3	3	3	1.6000	<1	1.5982
0	0	6	3.200	1	3.199	9	1	0	2.0844	1	2.0910	5	3	4	1.4890	<1	1.4880
-2	0	6	3.111	1	3.111	-3	1	9	1.9213	<1	1.9223	-6	0	12	1.4851	<1	1.4861
-5	1	2	3.083	1	3.091	0	2	7	1.8712	<1	1.8716	5	3	5	1.4458	<1	1.4469

Tabulka 3 Parametry základní cely beraunitu pro monoklinickou prostorovou grupu C2/c

	tato práce	Fanfani, Zanazzi (1967)	Vrtiška et al. (2017)
<i>a</i> [Å]	20.656(7)	20.646(5)	20.647(4)
<i>b</i> [Å]	5.122(3)	5.129(7)	5.1332(15)
<i>c</i> [Å]	19.232(8)	19.213(5)	19.214(4)
β [°]	93.6(1)	93.62(7)	93.6(3)
<i>V</i> [Å ³]	2030.7(6)	2030.47	2032.3

Tabulka 4 Chemické složení beraunitu z Morašic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7
Na ₂ O	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00
FeO	5.70	5.66	4.63	6.85	6.54	5.05	5.23	5.92
MnO	1.21	1.13	1.64	0.91	1.04	0.97	1.49	1.28
CaO	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.07	0.00
Fe ₂ O ₃	43.59	43.25	44.50	42.82	43.27	44.52	42.61	44.14
Al ₂ O ₃	0.13	0.08	0.00	0.17	0.23	0.11	0.19	0.11
SO ₃	0.09	0.08	0.10	0.08	0.07	0.07	0.09	0.17
P ₂ O ₅	30.83	30.55	31.11	30.57	30.74	31.27	30.43	31.14
As ₂ O ₅	0.30	0.36	0.72	0.00	0.00	0.55	0.00	0.45
H ₂ O*	16.60	16.40	16.65	16.56	16.71	16.80	16.25	16.83
total	98.54	97.51	99.35	98.03	98.66	99.87	96.36	100.04
Na ⁺	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.153	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.724	0.725	0.579	0.884	0.833	0.628	0.677	0.742
Mn ²⁺	0.155	0.147	0.207	0.119	0.134	0.122	0.195	0.163
Ca ²⁺	0.001	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg ²⁺	0.004	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.016	0.000
Σ M1-site	0.907	0.872	0.786	1.013	0.981	0.903	0.889	0.905
Fe ³⁺	4.977	4.986	5.000	4.969	4.959	4.981	4.965	4.981
Al ³⁺	0.023	0.014	0.000	0.031	0.041	0.019	0.035	0.019
Σ M2-site	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
S	0.011	0.009	0.011	0.009	0.008	0.008	0.010	0.019
P	3.961	3.962	3.933	3.991	3.963	3.936	3.990	3.953
As	0.028	0.029	0.056	0.000	0.029	0.056	0.000	0.028
Σ T-site	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
OH ⁻	4.803	4.753	4.583	5.034	4.970	4.661	4.788	4.828
H ₂ O	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000

Mean - průměr sedmi bodových analýz; *H₂O - počítáno na bázi teoretického obsahu šesti molekul v beraunitu a vyrovnání nábojových bilancí; uvedené obsahy FeO a Fe₂O₃ byly rozpočteny z celkového stanoveného Fe na základě předpokladu výhradního zastoupení Fe³⁺ a Al³⁺ v M2-pozici a Fe²⁺ v M1-pozici obecného vzorce; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi Si+P+As = 4 *apfu*

Tabulka 5 Rentgenová prášková data strunzitu z Morašic

<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>
-1	0	0	8.981	100	8.962	-2	2	0	4.269	2	4.271	2	-4	0	2.4583	1	2.4578
0	1	0	8.706	4	8.700	1	2	0	3.347	2	3.348	1	-4	0	2.3808	1	2.3835
1	-1	0	8.562	3	8.542	3	-2	0	3.277	2	3.276	1	3	1	2.2390	<1	2.2387
0	0	1	7.131	1	7.172	-1	3	0	3.234	2	3.236	0	2	3	2.0295	<1	2.0272
0	1	1	5.317	5	5.327	2	-3	0	3.210	2	3.211	-5	1	0	1.9440	<1	1.9438
-1	-1	0	5.157	1	5.156	1	-3	1	2.988	1	2.984	1	3	2	1.9221	<1	1.9219
-2	1	0	5.061	1	5.057	1	1	2	2.762	1	2.765	-6	2	2	1.6129	1	1.6130
-1	2	0	4.927	<1	4.916	2	2	0	2.5786	<1	2.5779	2	-3	4	1.5469	1	1.5470
-2	0	0	4.479	13	4.481	-4	2	0	2.5277	1	2.5287	2	-6	2	1.4923	1	1.4922
0	-2	0	4.348	3	4.350	-4	2	1	2.4957	<1	2.4956						

Tabulka 6 Parametry základní cely strunzitu pro triklinickou prostorovou grupu P-1

	tato práce	Fanfani et al. (1978)
<i>a</i> [Å]	10.236(9)	10.228(5)
<i>b</i> [Å]	9.834(6)	9.837(5)
<i>c</i> [Å]	7.279(5)	7.284(5)
α [°]	90.27(8)	90.17(5)
β [°]	98.25(7)	98.44(5)
γ [°]	117.43(7)	117.44(5)
<i>V</i> [Å ³]	640.8(5)	641.3

Tabulka 7 Chemické složení strunzitu z Morašic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7
Na ₂ O	0.08	0.00	0.00	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00
FeO [*]	4.26	4.61	3.91	4.27	4.36	4.38	4.58	3.69
MnO	9.53	9.61	9.46	9.48	9.37	9.59	9.04	10.18
CaO	0.02	0.00	0.03	0.03	0.00	0.04	0.00	0.03
MgO	0.08	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00
Fe ₂ O ₃ [*]	35.19	34.02	35.53	34.49	36.38	35.33	35.02	35.59
Al ₂ O ₃	0.23	0.12	0.19	0.26	0.30	0.26	0.21	0.30
SO ₃	0.23	0.05	0.26	0.47	0.20	0.26	0.25	0.15
P ₂ O ₅	31.21	30.36	31.34	30.32	32.33	31.06	31.20	31.84
As ₂ O ₅	0.34	0.40	0.77	0.00	0.13	0.48	0.58	0.00
H ₂ O [*]	27.65	26.76	27.78	27.16	28.61	27.77	27.53	27.95
total	108.83	105.92	109.50	106.47	112.28	109.17	108.71	109.73
Na ⁺	0.012	0.000	0.000	0.000	0.083	0.000	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.266	0.300	0.243	0.272	0.263	0.273	0.288	0.227
Mn ²⁺	0.604	0.632	0.594	0.612	0.572	0.604	0.576	0.635
Ca ²⁺	0.001	0.000	0.002	0.002	0.000	0.003	0.000	0.002
Mg ²⁺	0.008	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000	0.034	0.000
Σ M1-site	0.892	0.932	0.865	0.886	0.918	0.880	0.897	0.865
Fe ³⁺	1.979	1.989	1.983	1.977	1.974	1.977	1.981	1.974
Al ³⁺	0.021	0.011	0.017	0.023	0.026	0.023	0.019	0.026
Σ M2-site	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
S	0.013	0.003	0.014	0.027	0.011	0.015	0.014	0.008
P	1.975	1.997	1.968	1.955	1.974	1.956	1.986	1.987
As	0.012	0.000	0.017	0.018	0.015	0.030	0.000	0.005
Σ T-site	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
OH ⁻	1.785	1.867	1.744	1.799	1.765	1.774	1.809	1.739
H ₂ O	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000

Mean - průměr sedmi bodových analýz; *H₂O - počítáno na bázi teoretického obsahu šesti molekul v beraunitu a vyrovnání nábojových bilancí; uvedené obsahy FeO^{*} a Fe₂O₃^{*} byly rozpočteny z celkového stanoveného Fe na základě předpokladu výhradního zastoupení Fe³⁺ a Al³⁺ v M2-pozici a Fe²⁺ v M1-pozici obecného vzorce; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi S+P+As = 2 apfu

Závěr

Studium historických vzorků fosfátové mineralizace z drobného ložiska Fe-Mn-rud Morašice přispělo k redefinici beraunitu (dříve považovaného za dufrénit) a fosfosideritu (již dříve pozorovaného bez bližšího určení). Dále přináší nová analytická data pro v minulosti známý avšak moderními metodami nezkoumaný strunzit. U beraunitu z Morašic byly zjištěny zvýšené obsahy Mn ve struktuře, které jsou v beraunitové skupině známé například z lokalit Mangualde v Portugalsku (Fecia di Cossato et al. 1989) a Hagendorf v Německu (Aksenov et al. 2018).

Poděkování

Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2019-2023/1.II.a, 00023272).

Literatura

- AKSENOV SM, CHUKANOV NV, GÖTTLICHER J, HOCHLEITNER R, ZARUBINA ES, RASTSVETAeva RK (2018) Mn-bearing eleonorite from Hagendorf South pegmatite, Germany: crystal structure and crystal-chemical relationships with other beraunite-type phosphates. *Z Krist* 233: 469-477
- ČECH F, SLÁNSKÝ E (1959) Strunzit als Verwitterungsprodukt aus der Mn-Lagerstätte von Morašice bei Chvaleticce in Ostböhmen. *N Jahrb Mineral, Monatsh* 9: 200-203
- ČECH F, STANĚK J, DÁVIDOVÁ Š (1981): Minerály pegmatitů, 98-184. In: BERNARD JH, ČECH F, DÁVIDOVÁ Š, DUDEK A, FEDIUK F, HOVORKA D, KETTNER R, KODĚRA M, KOPECKÝ L, NĚMEC D, PADĚRA K, PETRÁNEK J, SEKANINA J, STANĚK J, ŠÍMOVÁ M: Mineralogie Československa. Academia, Praha, 488
- FANFANI L, TOMASSINI M, ZANAZZI PF, ZANZANI AR (1978) The crystal structure of strunzite, a contribution to the crystal chemistry of the basic ferric - manganous hydrated phosphates. *Tscherm Mineral Petrog Mitt* 25: 77-87
- FANFANI L, ZANAZZI PF (1966) La struttura cristallina della metastrengite. *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei, Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, Rendiconti Serie* 8(40): 889
- FANFANI L, ZANAZZI PF (1967) The crystal structure of beraunite. *Acta Cryst* 22: 173-181
- FECIA DI COSSATO YM, ORLANDI P, PASERO M (1989) Manganese-bearing beraunite from Mangualde, Portugal: mineral data and structure refinement. *Can Mineral* 27: 441-446
- FRONDEL C (1957) Strunzit, ein neues Eisen-Mangan-Phosphat. *N Jahrb Mineral, Monatsh* 10-11: 222-226
- CHLUPÁČ I, BRZBOHATÝ R, KOVANDA J, STRÁNÍK Z (2002) Geologická minulost České republiky. Academia Praha, 1-436
- CHUKANOV NV, AKSENOV SM, RASTSVETAeva RK, SCHÄFER C, PEKOV IV, BELAKOVSKIY DI, SCHOLZ R, DE OLIVEIRA LCA, BRITVIN SN (2017) Eleonorite, $\text{Fe}^{3+}_6(\text{PO}_4)_4\text{O}(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: validation as a mineral species and new data. *Mineral Mag* 81: 61-76
- JIRÁSEK J (2005) Nález koninckitu u Litošic a jeho srovnání se světovými výskyty. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 13: 132-137
- 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
- PAULÍŠ P, VENCLÍK V, MALÍKOVÁ R, POUR O, SEJKORA J (2015) Fosfosiderit ze Zdechovic a Chvaletic u Přelouče v Železných horách (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 23(2): 208-213
- POUCHOU JL, PICHOT F (1985) "PAP" ($\phi\phi Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (J. T. Armstrong, ed.) 104-106, San Francisco Press, San Francisco
- POVONDRA P, PIVEC E, ČECH F, LANG M, NOVÁK F, PRACHAŘ I, ULRYCH J (1987) Příbyslavice peraluminous granite. *Acta Univ Carol, Geol* 183-283
- PRACHAŘ I (1981) Současný stav výskytu nerostů ve Chvaleticích. *Acta Mus reginaehradec, Sér A* 16: 93-102
- SLAVÍK F (1928) Nerosty z ložisek manganových rud v Železných horách. *Čas Nár Muz, Odd přírodověd* 102(3-4): 113-127
- SLAVÍK F (1931) Gisements de manganese en Bohême orientale. *Congr internat Miner Métall Géol appl* 6: 141-145
- SLAVÍKOVÁ L (1930) Přírůstky mineralogických sbírek Národního muzea v Praze v letech 1927-1929. *Čas Nár Muz, Odd přírodověd* 104: 48-53
- STANĚK J. (1997) Asociace minerálů významnějších pegmatitových žil v Hatích u Dolních Borů na Západní Moravě. *Acta Mus Moraviae, Sci geol* 82: 3-19
- STANĚK J. (2000) Strunzit, ein aktueller Neufund aus dem Pegmatit von Dolní Bory bei Velké Meziříčí, Westmähren, Tschechische Republik. *Aufschluss* 51: 25-29
- TUČEK K (1943) Nové nálezy nerostů I. *Věst Král čes Spol Nauk, Tř matemat přírodověd* 16: 2-3
- TVRÝ J, OPEKAR L, PECHAR T, NEDVĚD J, PETRŮ M, JEČNÝ M (2017) Závěrečná zpráva. Vyhodnocení ložiskové geologických prací v průzkumném území Trnávka. Ložisko: Chvaletice - odkaliště 1, 2 (B3104804) a Řečany - odkaliště 3 (B3243700). Surovina: manganová ruda. Etapa: průzkum. MS GET Praha, archiv ČGS-Geofond FZ007289
- VRTIŠKA L, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, KADLEC T (2017) Revize a nové nálezy fosfátů na historickém nalezišti Černovice u Tábora (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 25(2): 277-305
- WELSER P, ZARUBA J, SMUTEK D, ZBYŠEK Z, MALEK O (2014) Nové sekundární fosfáty a sírany od Litošic v Železných horách. *Minerál* 22(4): 307-315
- ŽÁK L (1972) Metamorphic paragenesis of the manganese-pyrite horizon in the Železná hory Mts. (Bohemia). *Čas Mineral Geol* 17: 345-356
- ŽÁK L (1978) Mineralogie chvaletického ložiska. *Acta Univ Carol, Geol* 3-4: 457-471