

Studium sekundárních fosfátů s allanpringitem a tvrdýitem z opuštěného ložiska železných rud Krušná hora u Berouna (Česká republika)

A study of secondary phosphates with allanpringite and tvrdýite from the abandoned iron deposit Krušná hora near Beroun (Czech Republic)

LUBOŠ VRTIŠKA^{1,2)*}, JIŘÍ SEJKORA²⁾ A RADANA MALÍKOVÁ²⁾

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, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R (2019) Studium sekundárních fosfátů s allanpringitem a tvrdýitem z opuštěného ložiska železných rud Krušná hora u Berouna (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 27(2): 231-246 ISSN 2570-7337

Abstract

During the revision of old localities represented by historical samples in the mineralogical collection of the National Museum in Prague an interesting association of phosphate minerals in iron ores from abandoned iron deposit Krušná hora in Central Bohemia was discovered. The locality Krušná hora is situated about 12 km NW of Beroun (30 km WSW of Prague, Czech Republic) in an area of the Ordovician sedimentary rocks of the Teplá-Barrandian unit. Phosphates are bound to cracks and cavities in iron ores (mainly hematite). Most frequently observed phosphate minerals are: variscite and strengite, which occur there as white to transparent concentric aggregates up to 2 mm in size; fluorwavellite which forms white needle crystals up to 4 mm with contents of F up to 1.33 *apfu* and yellow to orange cacoxenite which occurs there as radial and concentric aggregates up to 1.5 mm in size with content of Al up to 5.80 *apfu*. Rarer phosphosiderite forms white to creamy altered radial aggregates up to 15 mm in size and spherical aggregates up to 1 mm in size, with content of Al (metavariscite component) up to 0.18 *apfu*. An extremely rare allanpringite forms there yellow powder and earthy aggregates in association with fluorwavellite; its empirical formula is $(\text{Fe}_{2.80}\text{Al}_{0.08})_{\Sigma 2.88}(\text{PO}_4)_{2.67}(\text{OH})_{2.67} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ and refined unit-cell parameters are a 9.778(2), b 7.352(3), c 17.883(4) Å, β 92.17(4)° and V 1281.1(7) Å³. Tvrdýite - a rare phosphate from beraunite group - was identified there, it forms green to yellow-green radial aggregates up to 4 mm in size in association with younger earthy yellow-orange jarosite; its empirical formula is $(\text{Fe}^{2+}_{0.99}\text{Mg}^{2+}_{0.01})_{\Sigma 1.00}(\text{Fe}^{3+})_{\Sigma 2.00}(\text{Al}_{2.18}\text{Fe}^{3+}_{0.68})_{\Sigma 2.86}(\text{PO}_4)_{4.00}(\text{OH})_{4.57}(\text{OH}_2)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Phosphate minerals assemblage of the iron sedimentary deposit Krušná hora near Beroun is unique due to occurrence of rare allanpringite and tvrdýite; increased Al contents in phosphate minerals from iron deposits are also remarkable.

Key words: *allanpringite, tvrdýite, cacoxenite, fluorwavellite, phosphosiderite, strengite, variscite, jarosite, phosphate occurrence, unit-cell parameters, chemical composition, Krušná hora, Nový Jáchymov, Beroun, Czech Republic*

Obdrženo 17. 8. 2019; přijato 7. 11. 2019

Úvod

Historický železnorudný důl na Krušné hoře u Nového Jáchymova je spolu se známější Dědovou horou či Hrbkem jedním z nalezišť minerálů vázaných na železnou rudu Barrandienu. Z mineralogického hlediska jsou od sud známy vzorky výrazných krystalů barytu, často s kalcitem, ankeritem a pyritem (Velebil 2017). Ze sulfidů se zde vyskytly galenit, sfalerit, chalkopyrit a cinabarit. Mineralogické poměry této lokality studovali Bořický (1869a, 1869b, 1971); Slavíková, Slavík (1917-1918); Vtělenský (1959) apod. Tato práce přináší výsledky aktuálního výzkumu z Krušné hory nepříliš známé fosfátové mineralizace vázané na trhliny zdejších hornin, převážně Fe rud. Velice vzácné ukázky těchto minerálů pocházejí z dob těžby, převážně z 19. století. O jejich výskytu se již v průběhu 19. a první polovině 20. století zmiňují různí autoři (Feistmantel 1852, 1853; Bořický 1869a, 1869b, 1871; Orlov 1929). V této práci jsou uvedena analytická data jak

pro fosfáty z lokality popsané, tak i nově objevené. Vedle v historické literatuře zmiňovaných fosfátů *barranditu* (dnes strengit), *wavellitu* a *zephyrovichitu* (dnes wavellit) byly nově identifikovány variscit, fosfosiderit, kakoxen, velmi vzácný tvrdýit a obdobně vzácný allanpringit, pro který je Krušná hora druhou dokumentovanou lokalitou na světě.

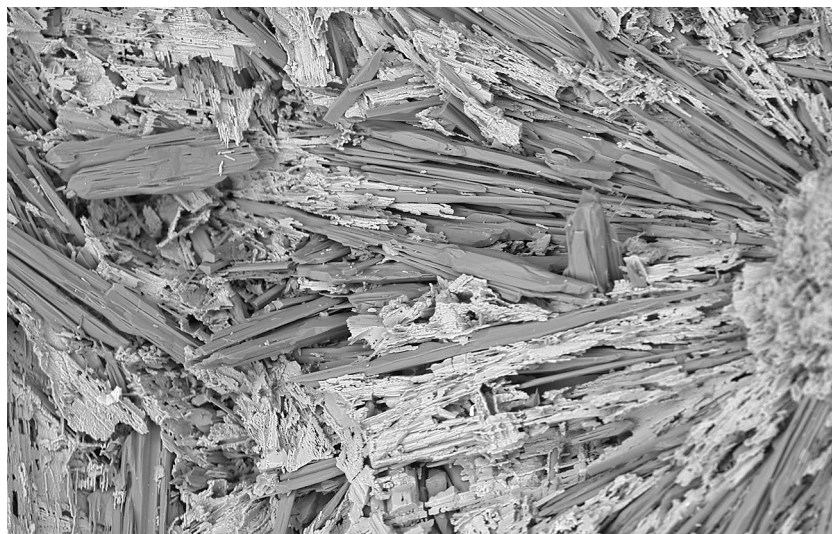
Geologie ložiska a historie těžby

Doly na Krušné hoře u Nového Jáchymova (cca 10 km z. až zsz. od Berouna) patřily mezi nejvýznamnější doly na železnou rudu v oblasti Barrandienu. Po roce 1945 to byl největší hlubinný železnorudný důl v českých zemích. Důlní revír se rozkládá na katastrálních územích obcí Hudlice, Otročiněves a Nový Jáchymov. Krušnohorský revír byl součástí pásma známých dolů, dobývajících chamosity a hematit, začínajících nučickými závody a pokračujícími Chrutenicemi, Krušnou horou, Zdicemi a končícím

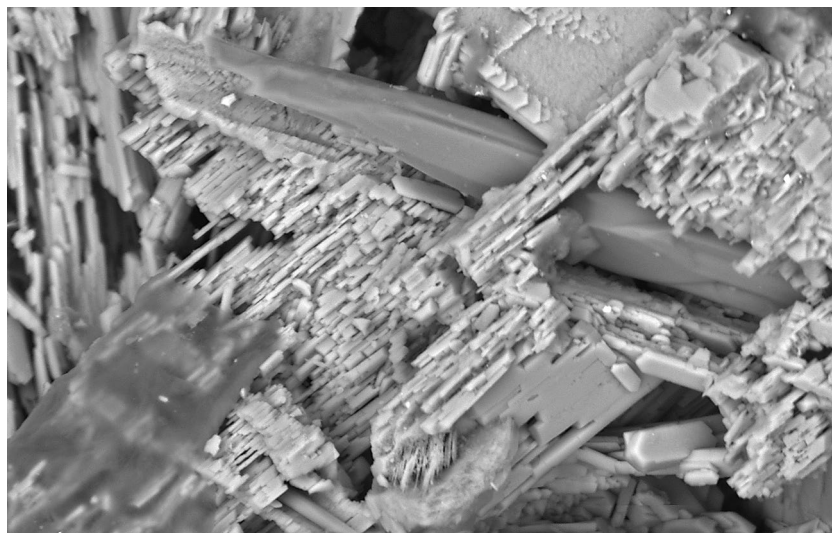
tvorených oxidy a hydroxidy železa. Nejvýznamnější jsou dvě rudní polohy hematitových rud označované jako Velké a Malé ložisko. Velké ložisko je vyvinuto v celé oblasti Krušné hory. Jeho nepravá mocnost je průměrně 15 m při úklonu vrstev pod úhlem 40°. Malé ložisko je vyvinuto spíše v čočkovité podobě. Ložiska jsou rozdělena řadou tektonických zlomů na samostatné kry. Ruda je v ložiskách zastoupena v několika mikroskopicky odlišných typech. Nejčastěji se vyskytuje v podobě drobných ooidů (oolitický krevet), dalšími typy jsou hematitová ruda páskovaná a břidličná. Svrchní část šáreckého souvrství je vyvinuta převážně ve faciích břidlic a pískovců. Na styku šáreckého souvrství a nadložních dobrotivských křemenných pískovců je ještě vyvinuta několik metrů mocná poloha pelosideritového zrudnění (Nič 2011).

Na Krušné hoře se železná ruda dobývala pravděpodobně již od 14. století, první písemná zmínka o dolování však pochází až z roku 1652 (Lipold 1863; Mencl et al. 1988). Rozsah těžby železné rudy na Krušné hoře v období 14. až 18. století dokumentují pouze kusé zprávy, které se nám dochovaly o jednotlivých železárnách, v nichž byla krušnohorská ruda zpracovávána. Krušnohorské ložisko bylo jednou ze surovinových základů celé podbrdské železářské oblasti, která patřila k nejvýznamnějším v celých Čechách (Mencl et al. 1988).

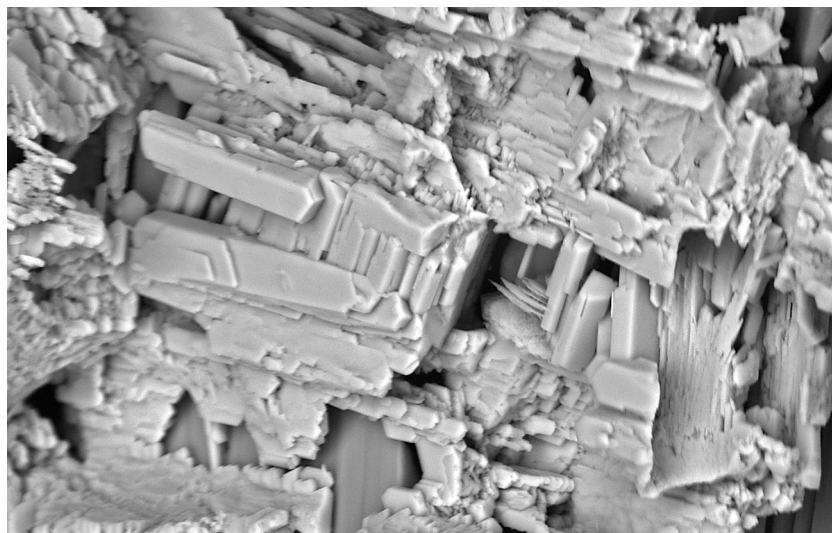
V roce 1731 přešla oblast Krušné hory do majetku Fürstenberků. Pro Krušnou horu to byl počátek velkého rozmachu těžby a zahájení dobývání hlubších poloh ložiska pod hranicí spodní vody. V roce 1772 byla na ložisku založena první dědičná štola (dnešní štola Josef v Novém Jáchymově; obr. 1). Základním mezníkem novodobých dějin dolování na Krušné hoře byla propůjčka horního soudu v Příbrami ze dne 22. září 1794, udělená komornímu panství zbirožskému, na náleznou jámu, čtyřřadvacet dolových děl a dědičnou stolu. V letech 1842-46 bylo ložisko postupně otevřeno dvěma dědičnými štolami Josef a František, čtyřmi jámami Hlavní těžnou, Josef, Anna a Nová větrací, dvěma svážnými Anna a Prokop a průzkumnými šachticemi František I. a II. Hlavní těžní jáma byla situována v prostoru tzv. „Kučerovny“ na severním svahu, západně od dnešního závodu, a otvírala nejmocnější a také nej kvalitnější zásoby hlavního ložiska (později ložisko Vojtěšské; obr. 2) (Mencl et al. 1988).



Obr. 4 Agregáty allanpringitu (světlejší) mezi jehlicemi fluorwacchellitu; šířka záběru 0.75 mm, foto L. Váchová.



Obr. 5 Krystaly allanpringitu (světlejší) mezi jehlicemi fluorwacchellitu; šířka záběru 0.1 mm, foto L. Váchová.



Obr. 6 Srostlice krystalů allanpringitu; šířka záběru 0.1 mm, foto L. Váchová.

Historie dlouholetého fürstenberského dolování na Krušné hoře skončila současně se zastavením celého železářského podnikání během světové hospodářské krize v letech 1873-76. Fürstenberkové prodali celý důlní a hutní majetek vídeňské bance „Wiener Bankgesellschaft“. Tak skončila v osmdesátých letech 19. století historie erárního i fürstenberského podnikání na Krušné hoře, rozmnoženého ještě v 60. letech Strousbergem. V souladu s tendencemi soustředování kapitálu, kdy v době krizí byli menší podnikatelé pohlcováni velkými bankami, získala akciová společnost „Česká montánní společnost“ dřívější majetek zbirožský a strousberský od jeho pozdějšího neúspěšného držitele Hopfengertnera a dřívější majetek fürstenberský od uvedené vídeňské banky. Tyto finanční transakce nepřinesly nic nového do naplňujícího

se osudu dolování na Krušné hoře. To se již nevzpamatovalo z důsledků hospodářské krize i přírodních katastrof, provoz byl neustále omezován a nakonec v roce 1889 úplně zastaven (Mencel et al. 1988).

Po sloučení České montánní společnosti s Pražskou železářskou společností v roce 1909 byly obnoveny těžební práce na Krušné hoře a od tohoto roku začíná novodobá historie závodu. V roce 1910 byly zahájeny báňské práce vyčištěním a úpravou dědičné štol František a položením koleje na nové pražce po celé její délce. Ještě v témže roce bylo dosaženo starých důlních děl ve Františském ložisku, vyraženy komíny v Malém i Velkém ložisku a zahájena těžba. Tato těžba probíhala s různou intenzitou až do roku 1967 (Mencel et al. 1988). Podrobněji je historie těžby, geologických poměrů a výzkumů ložiska

Tabulka 1 Rentgenová prášková data allanpringitu z Krušné hory

<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	8.904	100	8.910	-3	0	1	3.225	19	3.226	-4	0	4	2.1774	3	2.1773
-1	0	1	8.707	29	8.709	1	2	2	3.195	2	3.195	-1	3	4	2.1052	2	2.1054
1	0	1	8.420	26	8.433	-1	1	5	3.085	6	3.079	-2	0	8	2.0564	1	2.0566
1	1	0	5.870	3	5.875	0	0	6	2.971	1	2.970	4	3	1	1.7177	1	1.7175
-1	0	3	5.163	8	5.164	-3	0	3	2.903	5	2.903	-4	0	8	1.6774	1	1.6782
1	0	3	4.984	10	4.992	3	0	3	2.807	2	2.811	2	2	9	1.6247	1	1.6246
0	0	4	4.453	17	4.455	-1	1	6	2.671	1	2.675	-1	0	11	1.6087	1	1.6081
2	0	2	4.207	3	4.216	-2	2	5	2.2926	3	2.2927	6	0	4	1.5122	1	1.5110
0	2	1	3.600	3	3.600	4	1	2	2.2236	1	2.2239	-2	3	9	1.4814	1	1.4816
-2	0	4	3.358	3	3.356												

Tabulka 2 Parametry základní cely allanpringitu pro monoklinickou prostorovou grupu $P2_1/n$

	tato práce	Kolitsch et al. (2006)
<i>a</i> [Å]	9.778(2)	9.777(3)
<i>b</i> [Å]	7.352(3)	7.358(2)
<i>c</i> [Å]	17.833(4)	17.830(5)
β [°]	92.17(4)	92.19(4)
<i>V</i> [Å ³]	1281.1(7)	1281.7(6)

Tabulka 3 Chemické složení allanpringitu z Krušné hory (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7
CaO	0.03	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00
Fe ₂ O ₃	52.60	53.35	52.74	51.33	53.59	51.86	52.18	53.15
Al ₂ O ₃	1.03	0.78	0.93	1.84	0.53	1.61	1.07	0.45
SiO ₂	0.03	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08	0.00	0.08
P ₂ O ₅	33.32	33.04	33.08	33.42	33.51	33.50	33.50	33.22
H ₂ O*	26.83	26.88	26.76	26.86	26.93	26.94	26.75	26.70
total	113.85	114.12	113.58	113.52	114.56	113.99	113.56	113.60
Ca ²⁺	0.002	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000
Fe ³⁺	2.803	2.870	2.834	2.723	2.844	2.744	2.769	2.836
Al ³⁺	0.086	0.066	0.078	0.152	0.044	0.133	0.089	0.037
Σ	2.891	2.941	2.918	2.876	2.888	2.877	2.862	2.874
Si ⁴⁺	0.002	0.000	0.000	0.005	0.000	0.005	0.000	0.006
P ⁵⁺	1.998	2.000	2.000	1.995	2.000	1.995	2.000	1.994
Σ	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
OH ⁻	2.673	2.819	2.749	2.632	2.664	2.638	2.581	2.627
H ₂ O	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000

Mean - průměr 7 bodových analýz; koeficienty empirických vzorců byly vypočteny na bázi (P+Si) = 2 apfu; H₂O* počítáno na bázi vyrovnání nábojové bilance a teoretického obsahu 5 molekul H₂O.

uvedena v knize Mencla et al. (1988), ze které byla ve stručnosti zpracována i tato kapitola. Novodobě vypracoval souhrn informací o železných rudách a těžbě na Krušné hoře ve své bakalářské práci Nič (2011).

Metodika výzkumu

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. Fotografie allanpringitu a fluorwavelitu ve zpětně rozptýlených elektronech (BSE) byly pořízeny na elektronovém skenovacím mikroskopu Hitachi S3700-N (Národní muzeum, Praha).

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 pak byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.01°, načítací čas 8 s/krok detektoru, celkový čas experimentu cca 15 hod.). Pozice jednotlivých difrakčních maxim byly popsány profilovou funkcí Pseudo-Voigt a zpřesněny profilovým fitováním v programu HighScore Plus. Mřížkové parametry byly zpřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Celref (Laugier, Bochu 2011).

Tabulka 4 Rentgenová prášková data fluorwavelitu z Krušné hory

<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	2	0	8.672	16	8.684	3	1	0	3.153	4	3.155	2	0	3	2.0984	<1	2.0990
1	1	0	8.397	100	8.418	0	6	0	2.893	<1	2.895	2	3	3	1.9731	<1	1.9733
1	0	1	5.655	1	5.660	3	3	0	2.804	31	2.806	3	7	0	1.9621	<1	1.9626
1	1	1	5.374	<1	5.381	0	4	2	2.725	<1	2.724	4	8	0	1.6114	<1	1.6118
1	3	0	4.951	2	4.961	2	5	1	2.614	<1	2.613	6	0	0	1.6042	<1	1.6041
2	0	0	4.811	8	4.812	1	6	1	2.575	<1	2.577	6	2	0	1.5770	<1	1.5774
0	4	0	4.336	1	4.342	4	0	0	2.4078	<1	2.4061	5	4	2	1.5734	<1	1.5721
0	1	2	3.427	2	3.430	1	7	1	2.2730	<1	2.2723	0	10	2	1.5568	<1	1.5556
2	4	0	3.221	21	3.224	2	7	1	2.1035	21	2.1032						

Tabulka 5 Parametry základní cely fluorwavelitu pro ortorombickou prostorovou grupu

	<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
Krušná hora - tato práce	9.625(2)	17.367(4)	6.998(3)	1169.7(6)
Kampf et al. (2015)	9.6311(4)	17.3731(12)	6.9946(3)	1170.35
Počepice - Vrtiška et al. (2016a)	9.614(1)	17.360(2)	6.9916(9)	1166.9(3)
Líštěnec - Vrtiška et al. (2016b)	9.6259(8)	17.381(2)	6.9946(6)	1170.3(2)
Černovice - Vrtiška et al. (2017)	9.6285(13)	17.374(3)	6.9953(8)	1170.2(3)

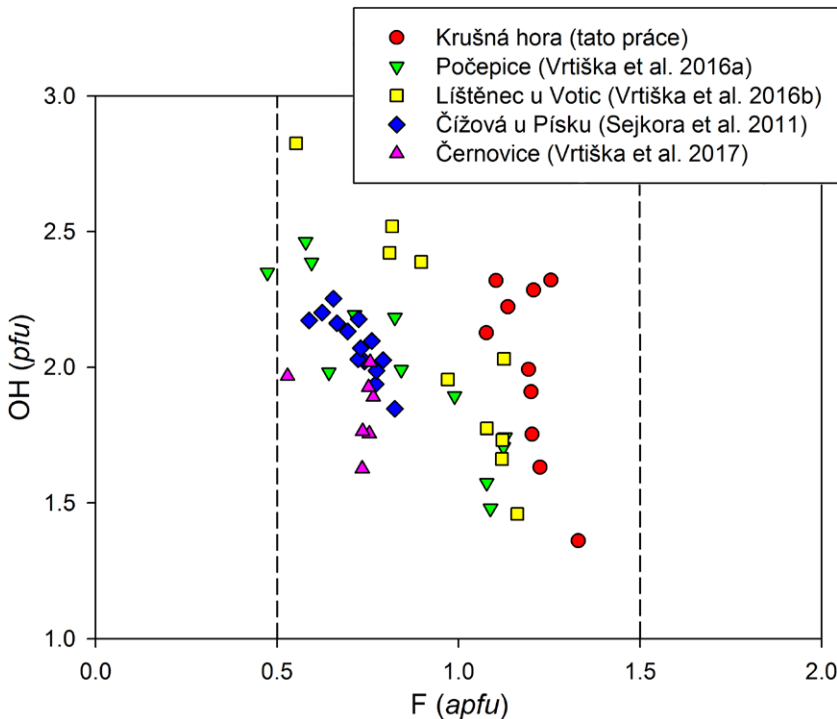
Tabulka 6 Chemické složení fluorwavelitu z Krušné hory (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K ₂ O	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.07	0.00	0.08	0.08
Fe ₂ O ₃	1.31	1.13	1.26	1.17	1.27	1.19	1.63	1.78	1.27	1.04
Al ₂ O ₃	39.34	37.62	39.98	39.97	38.60	41.61	38.69	39.76	38.37	39.48
SiO ₂	0.03	0.07	0.07	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	36.55	36.13	35.86	36.28	37.92	37.00	36.08	37.50	36.57	35.61
F	5.84	5.94	5.80	5.53	6.75	6.21	5.20	6.02	5.89	5.26
H ₂ O*	27.83	26.73	28.02	28.23	27.34	28.93	27.77	28.34	27.28	27.84
F=-O	-2.46	-2.50	-2.44	-2.33	-2.84	-2.61	-2.19	-2.53	-2.48	-2.21
total	108.52	105.23	108.67	109.05	109.13	112.44	107.26	110.86	106.97	107.10
K ⁺	0.007	0.009	0.009	0.008	0.008	0.009	0.006	0.000	0.007	0.007
Fe ³⁺	0.063	0.056	0.063	0.057	0.060	0.057	0.080	0.084	0.062	0.052
Al ³⁺	2.995	2.892	3.097	3.057	2.835	3.131	2.986	2.952	2.921	3.087
Σ	3.066	2.956	3.168	3.122	2.902	3.198	3.072	3.036	2.990	3.145
Si ⁴⁺	0.002	0.005	0.005	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P ⁵⁺	1.998	1.995	1.995	1.993	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Σ	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F ⁻	1.192	1.225	1.206	1.136	1.330	1.254	1.077	1.199	1.202	1.103
OH ⁻	1.992	1.631	2.285	2.223	1.360	2.321	2.128	1.910	1.754	2.319
F+OH	3.185	2.856	3.491	3.358	2.690	3.575	3.204	3.109	2.956	3.422
H ₂ O	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000

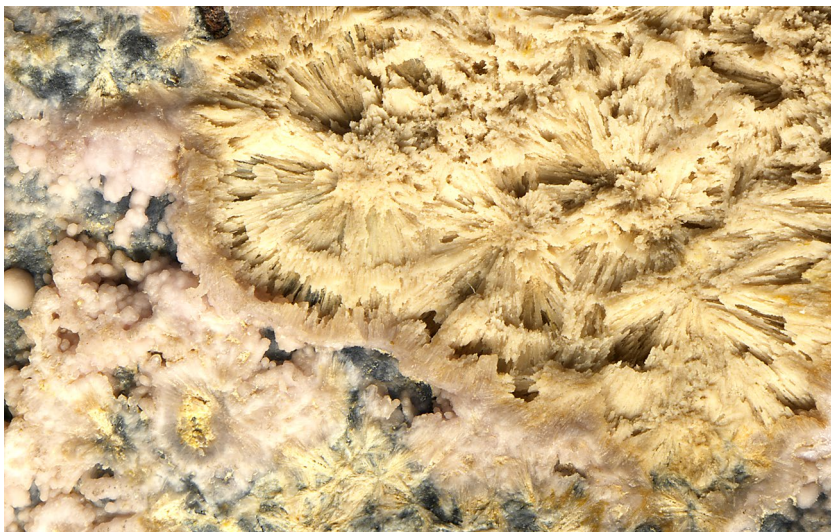
Mean - průměr devíti bodových analýz; koeficienty empirických vzorců byly vypočteny na bázi (P+Si) = 2 apfu; H₂O* počítáno na bázi vyrovnání nábojové bilance a teoretického obsahu 5 molekul H₂O ve fluorwavelitu.

Chemické složení tvrdýtu bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum Praha, analytik Z. Dolníček a L. Vrtiška). Podmínky měření: WD analýza 15 kV, 10 nA, průměr svazku elektronů 3 μm . Použité standardy: sanidin (SiK α , AlK α , KK α), albit (NaK α), diopsid (MgK α), apatit (PK α , CaK α), hematit (FeK α), ZnO (ZnK α), celestin (SK α , SrL β), halit (ClK α), cpx (CuK α), LiF (FK α), rodonit (MnK α), Cr₂O₃ (CrK α), U-kov SPI (UM α), baryt (BaL β), klinoklas (AsL α), GaAs (GaL α), Ge (GeL α), vanadinit (PbM α), Bi (BiM α), Sn (SnL α), Co (CoK α), BN (NK α), YVO₄ (YL α). Chemické složení zbývajících minerálních fází bylo kvan-

titativně studováno pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta, MU Brno, analytik R. Škoda a J. Sejkora). Podmínky měření: WD analýza, 15 kV, 10 nA, průměr svazku elektronů 6 μm , použité standardy: almandin (FeK α), baryt (BaL β), albit (NaK α), sanidin (AlK α , SiK α , KK α), MgAl₂O₄ (MgK α), spessartin (MnK α), fluorapatit (PK α), topaz (FK α), SrSO₄ (SrL α , SK α), gahnit (ZnK α), vanadinit (PbM α , VK α), lammerit (AsL α , CuK α), titanit (TiK α), wollastonit (CaK α). 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.



Obr. 7 Graf obsahů F (apfu) vs. OH (pfu) při bázi přepočtů na 2 apfu P + Si pro fluorwavellit z Krušné hory (tato práce), Černovice (Vrtiška et al. 2017), Počepic (Vrtiška et al. 2016a), Líštěnc u Votic (Vrtiška et al. 2016b) a Čížové u Písku (Sejkora et al. 2011); čárkovanou linií vyznačeny formální hranice pro wavellit/fluorwavellit.



Obr. 8 Smetanové radiální agregáty po alterovaném fluorwavellitu a kulovité narůžovělé agregáty a kůry fosfosideritu, Krušná hora; šířka záběru 17 mm, foto L. Vrtiška.

% pro jednotlivé prvky). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Charakteristika studované mineralizace s fosfáty

Veškerý zkoumaný materiál pochází z mineralogické sbírky Národního muzea v Praze. Většinu popisovaných vzorků fosfátů z Krušné hory údajně získal E. Bořický od J. Grosse, hormistra na Krušné hoře. U těchto vzorků je uveden letopočet 1867. Část těchto ukázek byla v minulosti součástí sbírky bývalé Německé univerzity. Fosfátová mineralizace se zpravidla vyskytuje na sevřených nepravidelných trhlinách v jemnozrnném červenohnědém hematitu. Při jejich studiu byly zjištěny dále v textu popisované minerály.

Allanpringit

Allanpringit, sekundární monoklinický fosfát trojmocného železa s ideálním vzorcem Fe³⁺₃(PO₄)₂(OH)₃·5H₂O, byl jako nový minerální druh popsán Kolitschem et al. (2006) z haldového materiálu opuštěného železnorudného dolu Mark u Essershausenu v Německu. Tato lokalita byla doposud také jediným publikovaným výskytem na světě. Minerál nese jméno po australském mineralogovi Allanu Pringovi.

Na lokalitě Krušná hora tvoří allanpringit žluté práškovité agregáty, které vyplňují prostory mezi alterovanými jehlicemi bílého fluorwavellitu (obr. 3). Při bližším pozorování za pomoci zpětně odražených elektronů (BSE) je patrné, že allanpringit tvoří kůry s negativy alterovaných jehlic wavellitu (obr. 4) a v menší míře idiomorfni tyčinkovité, sloupcovité a kostrovité krystaly do velikosti 50 μm (obr. 5 a 6). Orlov (1929) popisuje žlutavý zemité fosfát z asociace s wavelitem s indexem lomu přibližně 1.680 a považuje jej za *zephrovichit*. Při mikroskopickém pozorování ho charakterizuje jako kryptokrystalický, místy se slabě dvojlomnými destičkami. Je pravděpodobné, že se jedná právě o nově studovaný allanpringit.

Rentgenová prášková data allanpringitu z Krušné hory (tab. 1) odpovídají publikovaným údajům pro tento minerální druh (Kolitsch et al. 2006). Jeho zpřesněné parametry se dobře shodují s publikovanými údaji pro tuto minerální fázi (tab. 2).

Při podrobném studiu chemického složení allanpringi-

tu z Krušné hory (tab. 3) byly v kationtové pozici zjištěny vedle dominantního Fe (2.72 - 2.87 *apfu*), také obsahy Al (0.04 - 0.15 *apfu*) a minoritní obsahy Ca (do 0.01 *apfu*). V aniontové pozici zcela dominuje P jen s minimální příměsí Si (do 0.01 *apfu*). Na rozdíl od fluorwavellitu zjištěného v blízké asociaci, allanpringit neobsahuje fluor

Tabulka 7 Rentgenová prášková data fosfosideritu z Krušné hory

<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	1	1	6.498	14	6.514	-1	0	3	2.551	18	2.558	-2	4	1	1.767	13	1.769
0	2	0	4.910	16	4.906	0	4	0	2.453	13	2.453	1	4	3	1.763	2	1.764
1	1	0	4.666	29	4.681	1	3	2	2.343	7	2.343	-1	0	5	1.660	7	1.660
-1	0	1	4.549	5	4.562	1	2	3	2.251	2	2.256	-2	2	4	1.601	4	1.600
1	0	1	4.520	3	4.527	0	3	3	2.172	1	2.171	-2	5	1	1.556	3	1.556
0	0	2	4.405	100	4.355	0	1	4	2.123	5	2.126	0	6	2	1.531	2	1.531
0	1	2	4.010	15	3.980	2	2	2	2.059	4	2.055	-1	6	2	1.4729	1	1.4726
1	2	0	3.601	17	3.609	1	3	3	2.006	10	2.006	-2	1	5	1.4474	6	1.4475
0	1	3	2.779	13	2.784	1	5	0	1.843	3	1.841	3	4	0	1.4394	1	1.4383
1	2	2	2.773	5	2.771	-1	5	1	1.803	2	1.803	2	4	4	1.3851	4	1.3853
1	3	1	2.645	3	2.651												

Tabulka 8 Parametry základní cely fosfosideritu pro monoklinickou prostorovou grupu $P2_1/n$

	<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	β [°]	<i>V</i> [Å ³]
Krušná hora - tato práce	5.327(6)	9.812(5)	8.710(5)	90.5(1)	455.2(6)
Fanfani, Zanazzi (1966)	5.330(3)	9.809(4)	8.714(5)	90.60(12)	455.56
Krásno - (Sejkora et al. 2006)	5.317(8)	9.84(9)	8.673(4)	90.1(1)	453.8
Zdechovice - Pauliš et al. (2015)	5.330(3)	9.807(7)	8.706(4)	90.60(5)	455.1(5)
Černovice u Tábora - Vrtiška et al. (2017)	5.324(14)	9.83(2)	8.722(19)	90.6(3)	456(1)
Morašice u Přelouče - Vrtiška et al. (2019)	5.325(4)	9.804(5)	8.709(8)	90.5(6)	454.6(6)

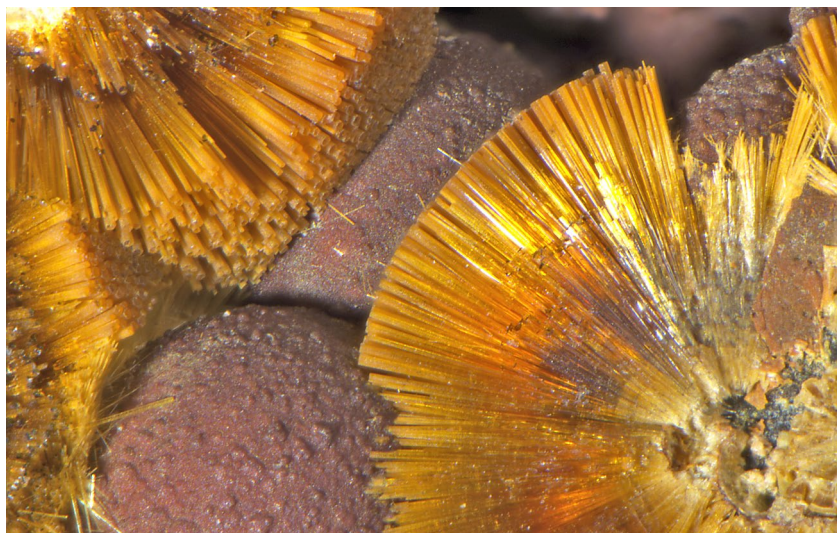
Tabulka 9 Chemické složení fosfosideritu z Krušné hory (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K ₂ O	0.02	0.00	0.05	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.01	0.00	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	35.42	36.83	35.35	35.40	35.24	34.65	35.26	36.84	34.32	34.87
Al ₂ O ₃	3.86	3.06	3.79	3.81	3.53	4.63	3.93	3.13	4.60	4.29
SiO ₂	0.19	0.39	0.20	0.31	0.32	0.10	0.09	0.10	0.11	0.07
As ₂ O ₅	0.74	0.62	1.42	1.28	0.99	0.34	0.00	0.26	0.37	1.41
P ₂ O ₅	35.81	35.09	35.32	35.06	35.00	35.75	36.10	36.49	37.05	36.41
SO ₃	0.11	0.21	0.19	0.15	0.17	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00
F	0.02	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
H ₂ O*	18.57	18.34	18.58	18.45	18.35	18.31	18.38	18.78	18.99	18.97
F=O	-0.01	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00
total	94.74	94.54	94.96	94.59	93.64	93.78	93.76	95.90	95.44	96.03
K	0.001	0.000	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.861	0.906	0.859	0.866	0.867	0.854	0.866	0.885	0.815	0.829
Al	0.147	0.118	0.144	0.146	0.136	0.179	0.151	0.118	0.171	0.160
Σ	1.009	1.024	1.007	1.015	1.004	1.032	1.017	1.003	0.987	0.989
Si	0.006	0.013	0.006	0.010	0.011	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
As	0.013	0.011	0.024	0.022	0.017	0.006	0.000	0.004	0.006	0.023
P	0.979	0.971	0.965	0.965	0.968	0.991	0.997	0.986	0.991	0.974
S	0.003	0.005	0.004	0.004	0.004	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000
Σ	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
F	0.002	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000
H ₂ O	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

Mean - průměr 9 bodových analýz; *H₂O - počítáno na bázi teoretického obsahu 2 molekul ve fosfosideritu; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi Si+As+P+S = 1 *apfu*



Obr. 9 Radiálně paprscité agregáty oranžového kakoxenu s šedavým strengitem, Krušná hora; šířka záběru 5.5 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 10 Radiálně paprscité agregáty oranžového kakoxenu, Krušná hora; šířka záběru 2 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 11 Radiálně paprscité agregáty oranžového kakoxenu prorůstající šedavým strengitem, Krušná hora; šířka záběru 3.5 mm, foto L. Vrtiška.

ani v minoritním množství. Empirický vzorec allanpringitu z Krušné hory lze na bázi P+Si = 2 *apfu* (průměr sedmi bodových analýz) vyjádřit jako $(\text{Fe}_{2.80}\text{Al}_{0.09})_{\Sigma 2.89}(\text{PO}_4)_{2.00}(\text{OH})_{2.67} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Fluorwavellit

V historické literatuře uváděný wavellit (Feistmantel 1852, 1853) byl na základě studia chemického složení identifikován jako nově definovaný druh fluorwavellit (Kampf et al. 2015, 2017). Ten byl v rámci krátké doby zjištěn v České republice na lokalitách Počepice u Sedlčan (Vrtiška et al. 2016a), Lištěnec u Votic (Vrtiška et al. 2016b) a Černovice u Tábora (Vrtiška et al. 2017).

Fluorwavellit z Krušné hory tvoří bílé, jehlicovité, radiálně paprscité agregáty do velikosti 4 mm, místy alterované na zmíněný allanpringit, na trhlíně horniny tvořené z velké části červeným hematitem (obr. 3-5).

Rentgenová prášková data fluorwavellitu z Krušné hory (tab. 4) odpovídají publikovaným údajům (Kampf et al. 2015, 2017). Jeho zpřesněné parametry základní cely se dobře shodují s údaji uváděnými pro tento minerální druh (tab. 5).

Při kvantitativním studiu chemického složení fluorwavellitu z Krušné hory (tab. 6) byly v kationtové pozici zjištěny vedle dominantního Al (2.83 - 3.13 *apfu*) také obsahy Fe (0.05 - 0.08 *apfu*) a minoritní obsahy K (do 0.01 *apfu*); obsahy F se pohybují v rozmezí 1.08 - 1.33 *apfu*. Na grafu obsahů F (*apfu*) vs. OH (*pfu*) při bázi přepočtů na 2 *apfu* P+Si (obr. 7) je zřejmé, že všechny studované vzorky z Krušné hory splňují podmínky definované pro fluorwavellit a vykazují zatím nejvyšší známé obsahy F v tomto minerálu z českých lokalit. Empirický vzorec fluorwavellitu z Krušné hory lze na bázi P+Si = 2 *apfu* (průměr devíti bodových analýz) vyjádřit jako $(\text{Al}_{2.99}\text{Fe}_{0.06}\text{K}_{0.01})_{\Sigma 3.06}(\text{PO}_4)_{2.00}\text{F}_{1.19}(\text{OH})_{1.99} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Fosfosiderit

Na již tak vzácném materiálu s fosfáty z Krušné hory patří fosfosiderit mezi vzácněji zastoupené minerály. Tvoří smetanové radiální agregáty po alterovaném fluorwavellitu do velikosti 15 mm a kulovité narůžovělé agregáty do velikosti 1 mm (obr. 8). Zjištěn byl pouze na jednom vzorku s inventárním číslem P1N 18992, evidovaném původně jako wavellit. Bořický (1869b, 1871) zmiňuje wavellit, který zvětrává na šedobílou nebo načervenalou zemitou hmotu

s udržení paprskovitosti agregátů, kterou považuje za gibbsit; dle popisu se pravděpodobně jedná o zde popsaný fosfosiderit.

Rentgenová prášková data (tab. 7) studovaného vzorku odpovídají datům, která pro fosfosiderit publikovali Fanfani, Zanazzi (1966). Zpřesněné mřížkové parametry fosfosideritu z Krušné hory jsou v tabulce 8 porovnány s publikovanými daty pro tento minerální druh.

Při studiu chemického složení fosfosideritu (tab. 9) byla v kationtové pozici zjištěna převaha Fe (0.81-0.91 *apfu*) nad Al (0.12 - 0.18 *apfu*; metavariscitová komponenta). Zjištěny byly také zcela minoritní obsahy Ca a K (do 0.002 *apfu*). V aniontové pozici pak bylo vedle dominantního P zjištěno jen minoritní zastoupení As (do 0.02 *apfu*), Si a S (do 0.01 *apfu*). Zjištěny byly také nevelké obsahy F (do 0.01 *apfu*). Empirický vzorec fosfosideritu lze na bázi Si+As+P+S = 1 *apfu* (průměr devíti bodových analýz) vyjádřit jako $(\text{Fe}_{0.86}\text{Al}_{0.15})_{\Sigma 1.01}[(\text{PO}_4)_{0.98}(\text{SiO}_4)_{0.01}(\text{AsO}_4)_{0.01}]_{\Sigma 2.00}\text{F}_{0.01}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Kakoxen

Dalším nově zjištěným fosfátem z Krušné hory je kakoxen, který zde tvoří radiálně paprscité a koncentrické, slámově žluté až oranžové agregáty do velikosti 1.5 mm (obr. 9 a 10) vystupující v asociaci se strengitem (obr. 11).

Rentgenová prášková data kakoxenu z Krušné hory (tab. 10) se dobře shodují s publikovanými údaji (Moore, Shen 1983). Zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 11 porovnány s daty publikovanými pro tento minerální druh.

V kationtové pozici kakoxenu z Krušné hory byly vedle dominantních obsahů Fe^{3+} (19.10 - 21.97 *apfu*), zjištěny zvýšené obsahy Al (3.81 - 5.80 *apfu*) oproti ideálnímu obsahu 1 *apfu* Al ve vzorci kakoxenu (tab. 12). Podobně zvýšené obsahy byly zjištěny v Černovicích u Tábora (3.77 - 4.02 *apfu*; Vrtiška et al. 2017). V kationtové pozici byly dále zjištěny minoritní obsahy Na (do 0.42 *apfu*), Ca (do 0.11 *apfu*) a K (do 0.32 *apfu*). V aniontové pozici vy-

Tabulka 10 Rentgenová prášková data kakoxenu z Krušné hory

<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}
1	1	0	13.803	12	13.784	1	7	0	3.163	27	3.162	6	7	0	2.1182	1	2.1185
0	2	0	11.949	100	11.937	2	5	2	3.097	6	3.095	5	7	2	2.0987	1	2.0980
0	1	1	9.663	2	9.650	4	5	0	3.058	7	3.057	5	8	1	2.0612	1	2.0615
1	2	0	9.035	21	9.023	1	6	2	2.998	4	2.996	0	3	5	2.0391	1	2.0395
1	1	1	8.407	<1	8.377	4	5	1	2.937	4	2.936	1	7	4	2.0263	2	2.0254
0	3	0	7.969	7	7.958	2	7	0	2.918	8	2.917	7	7	0	1.9686	1	1.9691
1	2	1	6.864	6	6.857	3	6	1	2.893	1	2.893	6	8	0	1.9623	2	1.9624
1	3	0	6.634	1	6.621	0	8	1	2.872	2	2.872	2	7	4	1.9571	1	1.9562
0	3	1	6.359	2	6.353	3	5	2	2.864	1	2.864	7	7	1	1.9354	1	1.9357
0	4	0	5.974	4	5.968	0	5	3	2.832	1	2.832	6	8	1	1.9294	2	1.9293
2	2	1	5.778	2	5.770	2	6	2	2.805	2	2.804	6	6	3	1.9235	1	1.9232
1	3	1	5.616	1	5.608	1	8	0	2.795	6	2.794	5	5	4	1.9059	1	1.9057
2	3	0	5.482	6	5.477	2	4	3	2.776	3	2.774	3	9	3	1.8686	1	1.8694
2	3	1	4.866	9	4.861	5	5	0	2.757	11	2.757	3	11	1	1.8411	1	1.8413
0	5	0	4.784	1	4.775	1	5	3	2.720	1	2.719	7	8	1	1.8093	1	1.8093
1	4	1	4.676	1	4.671	1	8	1	2.701	3	2.701	3	8	4	1.7844	1	1.7847
3	3	0	4.598	4	4.595	3	7	0	2.687	6	2.686	1	13	0	1.7649	1	1.7648
1	2	2	4.559	1	4.554	5	5	1	2.669	2	2.667	4	11	1	1.7503	1	1.7500
0	5	1	4.352	1	4.350	0	9	0	2.653	3	2.653	7	9	0	1.7181	1	1.7185
1	5	0	4.291	1	4.288	2	8	0	2.606	3	2.605	5	10	2	1.7064	1	1.7075
3	3	1	4.216	1	4.212	1	1	4	2.5892	1	2.5904	6	10	1	1.6832	1	1.6834
2	4	1	4.152	3	4.148	2	7	2	2.5506	1	2.5525	2	13	1	1.6710	1	1.6710
0	6	0	3.975	4	3.979	0	3	4	2.5045	3	2.5035	1	14	0	1.6427	1	1.6436
3	4	0	3.927	3	3.925	5	6	0	2.5017	2	2.5027	1	14	1	1.6244	1	1.6240
2	5	0	3.823	8	3.823	3	8	0	2.4250	4	2.4240	8	9	1	1.6025	1	1.6019
1	4	2	3.707	3	3.707	0	10	0	2.3881	1	2.3874	6	8	4	1.5742	2	1.5744
1	6	0	3.641	2	3.641	1	4	4	2.3531	2	2.3531	5	10	4	1.4889	1	1.4894
2	5	1	3.595	3	3.594	0	10	1	2.3283	2	2.3285	3	12	4	1.4500	1	1.4504
0	5	2	3.541	1	3.540	0	5	4	2.3083	1	2.3086	8	11	0	1.4448	1	1.4449
3	5	0	3.412	8	3.411	6	6	0	2.2974	3	2.2973	8	11	1	1.4310	<1	1.4316
1	1	3	3.405	1	3.407	3	3	4	2.2876	1	2.2873	5	14	0	1.3990	<1	1.3995
2	6	0	3.311	14	3.311	4	8	0	2.2551	2	2.2559	7	10	4	1.3765	<1	1.3762
1	2	3	3.276	1	3.277	0	6	4	2.1979	<1	2.1983	2	10	6	1.3590	<1	1.3595
3	5	1	3.245	1	3.245	2	10	0	2.1444	2	2.1439						

Tabulka 11 Parametry základní cely kakoxenu pro hexagonální prostorovou grupu $P6_3/m$

	tato práce	Moore, Shen (1983)	Vrtiška et al. (2017)
<i>a</i> [Å]	27.567(4)	27.5590(10)	27.556(9)
<i>c</i> [Å]	10.5496(1)	10.550(1)	10.5570(3)
<i>V</i> [Å ³]	6943.1(8)	6939.21	6942.4(8)

Tabulka 12 Chemické složení kakoxenu z Krušné hory (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Na ₂ O	0.05	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.07	0.07	0.07	0.00	0.00	0.07	0.36	0.00	0.00	0.05
CaO	0.02	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
Fe ₂ O ₃	39.54	43.44	40.76	39.65	40.58	35.95	36.44	37.95	40.93	40.14
Al ₂ O ₃	6.28	4.81	4.63	7.15	7.50	6.73	6.82	6.76	7.39	4.70
SiO ₂	0.09	0.11	0.15	0.00	0.08	0.07	0.13	0.06	0.12	0.12
P ₂ O ₅	29.36	29.74	28.26	30.78	31.24	27.35	28.67	29.46	30.61	28.13
H ₂ O*	35.90	36.68	34.78	37.24	38.07	33.57	34.85	35.61	37.76	34.51
total	111.30	114.85	108.72	114.94	117.46	103.73	107.58	109.84	116.80	107.79
Na	0.062	0.000	0.000	0.138	0.000	0.000	0.419	0.000	0.000	0.000
K	0.060	0.057	0.060	0.000	0.000	0.062	0.322	0.000	0.000	0.042
Ca	0.018	0.000	0.053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111
Fe	20.284	21.973	21.654	19.466	19.569	19.798	19.101	19.417	20.113	21.461
Al	5.031	3.812	3.851	5.500	5.665	5.801	5.603	5.414	5.691	3.938
Σ	25.454	25.841	25.618	25.104	25.234	25.661	25.445	24.831	25.805	25.552
Si	0.064	0.075	0.108	0.000	0.049	0.054	0.093	0.040	0.077	0.083
P	16.936	16.925	16.892	17.000	16.951	16.946	16.907	16.960	16.923	16.917
Σ	17.000	17.000	17.000	17.000	17.000	17.000	17.000	17.000	17.000	17.000
OH	13.165	14.484	13.788	12.036	12.751	13.914	11.946	11.534	14.491	13.543
H ₂ O	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000

Mean - průměr 9 bodových analýz; koeficienty empirických vzorců byly vypočteny na bázi (P+Si) = 17 apfu; H₂O* počítáno na bázi vyrovnání nábojové bilance a teoretického obsahu 75 molekul H₂O.



Obr. 12 Šedobílé perleťově lesklé kulovité agregáty strengitu, Krušná hora; šířka záběru 6 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 13 Radiální koncentrický zonální světlé až tmavozelený tvrdýit s kulovitým rezavě hnědým jarositem, Krušná hora; šířka záběru 12 mm, foto L. Vrtiška.

Tabulka 13 Rentgenová prášková data strengitu z Krušné hory

<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}
1	1	1	5.470	46	5.490	1	3	1	2.939	14	2.946	2	4	2	1.975	2	1.977
0	2	0	4.923	21	4.937	0	2	3	2.787	<1	2.787	1	3	4	1.956	3	1.956
1	0	2	4.362	88	4.378	3	1	1	2.685	8	2.687	1	5	1	1.893	3	1.892
2	0	0	4.344	100	4.352	0	0	4	2.537	12	2.532	4	2	3	1.718	5	1.716
2	1	0	3.980	30	3.986	3	0	2	2.523	16	2.520	3	4	3	1.643	3	1.643
1	2	1	3.969	32	3.954	1	0	4	2.431	12	2.431	3	5	1	1.613	3	1.612
2	1	1	3.697	19	3.709	0	2	4	2.258	1	2.253	4	4	3	1.4708	3	1.4704
2	2	0	3.271	4	3.267	1	2	4	2.177	3	2.181	4	5	1	1.4478	4	1.4481
2	2	1	3.103	32	3.109	4	1	0	2.126	5	2.128	5	4	2	1.3721	1	1.3706
1	1	3	2.988	17	2.999	0	4	3	1.993	8	1.993						

Tabulka 14 Parametry základní cely strengitu pro ortorombickou prostorovou grupu Pbca

	tato práce	Taxer, Bartl (2004)	Vrtiška et al. (2017)
<i>a</i> [Å]	8.715(5)	8.722(3)	8.720(4)
<i>b</i> [Å]	9.873(6)	9.878(2)	9.877(5)
<i>c</i> [Å]	10.127(7)	10.1187(14)	10.115(5)
<i>V</i> [Å ³]	871.4(5)	871.79	871.1(7)

Tabulka 15 Chemické složení strengitu z Krušné hory (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8
K ₂ O	0.01	0.03	0.00	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	28.48	26.26	24.72	24.11	24.13	23.66	36.68	35.44	32.81
Al ₂ O ₃	9.77	12.12	13.13	13.02	12.93	13.68	3.45	4.01	5.82
SiO ₂	0.09	0.07	0.05	0.05	0.06	0.06	0.08	0.08	0.25
P ₂ O ₅	37.35	38.42	38.90	38.29	38.41	38.78	35.21	34.81	35.99
F	0.10	0.15	0.18	0.13	0.21	0.16	0.00	0.00	0.00
H ₂ O*	19.02	19.55	19.78	19.47	19.54	19.72	17.92	17.72	18.42
F=-O	-0.04	-0.06	-0.07	-0.05	-0.09	-0.07	0.00	0.00	0.00
total	94.77	96.54	96.68	95.01	95.22	96.04	93.34	92.06	93.29
K	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000
Fe	0.682	0.606	0.564	0.559	0.557	0.541	0.923	0.902	0.803
Al	0.357	0.438	0.469	0.473	0.468	0.490	0.136	0.160	0.223
Σ	1.040	1.046	1.033	1.032	1.026	1.034	1.060	1.062	1.027
Si	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.008
P	0.997	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.997	0.997	0.992
Σ	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
F	0.010	0.015	0.017	0.012	0.020	0.015	0.000	0.000	0.000
H ₂ O	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

Mean - průměr 8 bodových analýz; obsahy H₂O* byly vypočteny na základě teoretického obsahu H₂O = 2; koeficienty empirických vzorců byly vypočteny na bázi (P+Si) = 1 apfu.



Obr. 14 Radiální koncentrický zonální světle až tmavozelený tvrdýit s kulovitým rezavě hnědým jarositem, Krušná hora; šířka záběru 4.2 mm, foto L. Vrtiška.

stupuje vedle dominantního P (16.89 - 17.00 *apfu*) také minoritní Si (do 0.11 *apfu*). Empirický vzorec kakoxenu z Krušné hory lze na bázi P+Si = 17 *apfu* (průměr devíti bodových analýz) vyjádřit jako $\text{Na}_{0.06}\text{K}_{0.06}\text{Ca}_{0.02}\text{Fe}^{3+}_{20.28}\text{Al}_{5.03}\text{O}_{6.00}[(\text{PO}_4)_{16.94}(\text{SiO}_4)_{0.06}]_{\Sigma 17.00}(\text{OH})_{13.16} \cdot 75\text{H}_2\text{O}$.

Strengit

Strengit, původně popisovaný jako dnes již neplatný minerální druh *barrandit* (Bořický 1869a, 1869b; Orlov 1929), se na lokalitě vyskytuje v podobě šedobílých, bílých až čirých, perleťově lesklých koncentrických agregátů.

Tabulka 16 Rentgenová prášková data tvrdýtu z Krušné hory

<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}
2	0	0	10.226	100	10.256	5	1	2	2.987	2	2.983	-6	2	5	1.8279	<1	1.8269
0	0	2	9.514	9	9.430	-6	0	4	2.854	<1	2.856	7	1	7	1.7962	<1	1.7992
-2	0	2	7.177	7	7.175	6	0	4	2.685	1	2.687	-8	2	2	1.7907	<1	1.7909
2	0	2	6.748	3	6.730	7	1	0	2.541	4	2.541	-6	0	10	1.6980	<1	1.6982
4	0	0	5.093	6	5.128	-2	2	1	2.4562	1	2.4590	1	3	1	1.6859	<1	1.6869
1	1	0	4.935	1	4.950	-6	0	6	2.3908	<1	2.3917	12	0	2	1.6642	<1	1.6632
1	1	1	4.780	1	4.770	-7	1	4	2.2902	<1	2.2906	3	3	0	1.6502	<1	1.6500
1	1	2	4.361	9	4.355	0	2	4	2.2443	<1	2.2433	8	2	5	1.6037	<1	1.6025
3	1	1	3.982	2	3.964	-2	2	4	2.2021	<1	2.2056	-7	1	10	1.5572	<1	1.5565
3	1	2	3.703	2	3.700	4	2	3	2.1249	1	2.1270	-3	3	5	1.5194	1	1.5204
1	1	4	3.391	9	3.388	9	1	0	2.0811	1	2.0808	7	3	0	1.4711	<1	1.4706
-5	1	2	3.072	2	3.075	6	2	2	1.9818	<1	1.9821	3	3	6	1.4526	<1	1.4518
3	1	4	3.039	3	3.032	-4	2	5	1.9770	<1	1.9787	-13	1	5	1.4301	<1	1.4303
-1	1	5	3.025	1	3.023	-7	1	7	1.9011	1	1.9021	-9	3	2	1.3570	<1	1.3562

Tabulka 17 Parametry základní cely tvrdýtu pro monoklinickou prostorovou grupu C2/c

	tato práce	Sejkora et al. (2016)
<i>a</i> [Å]	20.554(8)	20.564(4)
<i>b</i> [Å]	5.101(2)	5.101(1)
<i>c</i> [Å]	18.900(9)	18.883(4)
β [°]	92.69(5)	92.68(3)
<i>V</i> [Å ³]	1977.4(8)	1976.7(7)

Tabulka 18 Chemické složení tvrdýtu z Krušné hory (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CaO	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.08	0.00
MgO	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.12	0.00	0.00
FeO*	8.39	8.18	8.16	8.44	8.69	8.16	8.35	8.84	8.27	8.45
Fe ₂ O ₃ *	25.19	23.64	23.82	28.08	25.88	26.94	25.48	20.46	26.95	25.44
Al ₂ O ₃	13.18	13.14	12.86	10.86	12.71	12.13	13.57	18.23	12.43	12.70
P ₂ O ₅	33.55	32.61	32.23	33.36	34.33	32.58	34.67	35.76	33.08	33.37
H ₂ O**	17.64	17.03	16.92	17.38	17.68	17.62	18.02	18.86	17.81	17.46
total	98.02	94.66	94.00	98.13	99.29	97.50	100.33	102.26	98.61	97.42
Ca ²⁺	0.004	0.009	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.012	0.000
Mg ²⁺	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049	0.024	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.988	0.991	1.000	1.000	1.000	0.989	0.951	0.976	0.988	1.000
$\Sigma M1$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Al ³⁺	2.183	2.244	2.222	1.813	2.062	2.073	2.180	2.839	2.092	2.119
Fe ³⁺	0.675	0.577	0.628	0.993	0.681	0.940	0.613	0.034	0.896	0.711
$\Sigma M2+M3$	2.857	2.821	2.849	2.806	2.742	3.014	2.793	2.873	2.989	2.830
Fe ³⁺	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Al ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\Sigma M4$	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
P ⁵⁺	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
OH ⁻	4.572	4.464	4.548	4.418	4.227	5.041	4.378	4.619	4.966	4.490
H ₂ O	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000

Mean - průměr 9 bodových analýz; **H₂O - počítáno na bázi teoretického obsahu 6 molekul ve vzorci tvrdýtu a vyrovnání nábojových bilancí; uvedené obsahy FeO* a Fe₂O₃* byly rozpočteny z celkového stanoveného Fe na základě předpokladu výhradního zastoupení Fe²⁺, Mg²⁺ a Ca²⁺ v M1-pozici a Fe³⁺ v M4-pozici obecného vzorce; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi P = 4 *apfu*.

tů do velikosti 2 mm. Na studovaných vzorcích je velmi podobný variscitu, tvoří však menší agregáty „celistvějšího“ charakteru a na vzorcích je vzácnější (obr. 9, 11 a 12).

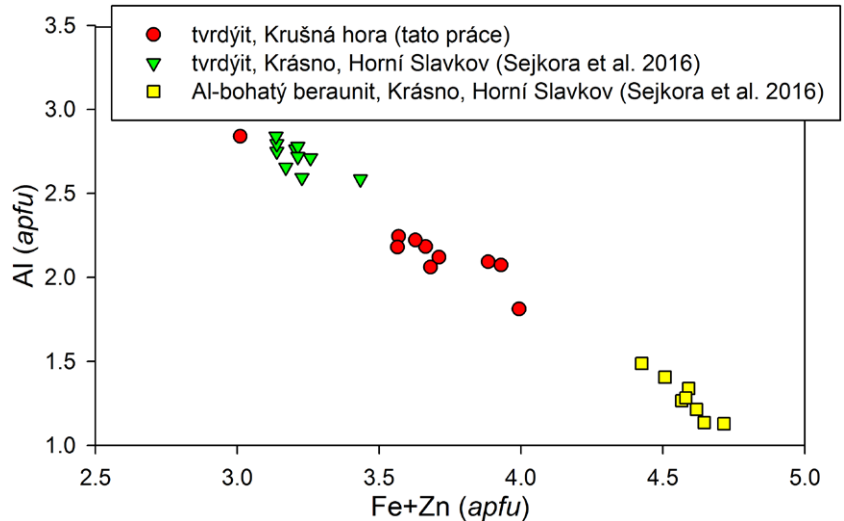
Rentgenová prášková data strengitu z Krušné hory (tab. 13) odpovídají údajům publikovaným Taxerem a Bartlem (2004). Zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 14 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerální druh.

Chemickým studiem koncentrických agregátů strengitu z Krušné hory (tab. 15) byla zjištěna jeho výrazná nehomogenita. Zastoupení Fe v kationtové pozici bylo zjištěno v rozmezí 0.54 - 0.92 *apfu*. Vedle Fe byly zjištěny významné obsahy Al (variscitové komponenty) v rozsahu 0.14 - 0.49 *apfu*, část analýz tedy spadá do těsné blízkosti hranice strengit-variscit. V kationtové pozici byly dále zjištěny velmi malé obsahy K (do 0.002 *apfu*). V aniontové pozici strengitu byly vedle P zjištěny jen minoritní obsahy Si (do 0.008 *apfu*). Empirický vzorec strengitu lze na základě (Si+P) = 1 *apfu* vyjádřit jako: $\text{Fe}_{0.68}\text{Al}_{0.36}(\text{PO}_4)_{1.00} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (průměr osmi bodových analýz).

Tvrdýit

Tvrdýit je velmi vzácný monoklinický fosfát železa a hliníku s ideálním vzorcem $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{Al}_3(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_5(\text{H}_2\text{O})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, patřící do beraunitové skupiny, spolu s beraunitem ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_5(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_5 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; Breithaupt 1841), zinkoberaunitem ($\text{ZnFe}^{3+}_5(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_5 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; Chukanov et al. 2017b) a eleonoritem ($\text{Fe}^{3+}_6(\text{PO}_4)_2\text{O}(\text{OH})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; Chukanov et al. 2017a). Ve struktuře tvrdýitu byly definovány čtyři kationtové pozice; M1 $\text{Fe}^{2+} \gg \text{Fe}^{3+}$, Zn; M2 Al $\gg \text{Fe}^{3+}$; M3 Al > Fe^{3+} , Zn a M4 $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}$, Zn. Zjednodušený vzorec (M1-M4₂-M2-M3₂) tak lze vyjádřit jako $(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Zn})(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Zn})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_5(\text{H}_2\text{O})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Sejkora et al. 2016). Tvrdýit byl popsán Sejkorou et al. (2016) z Krásna u Horního Slavkova a pojmenován na počest českého geologa Jaromíra Tvrdého. Krušná hora je po Hagedorfu v Německu (Weiss, Hochleitner 2017) třetím zdokumentovaným nalezištěm tohoto minerálu na světě.

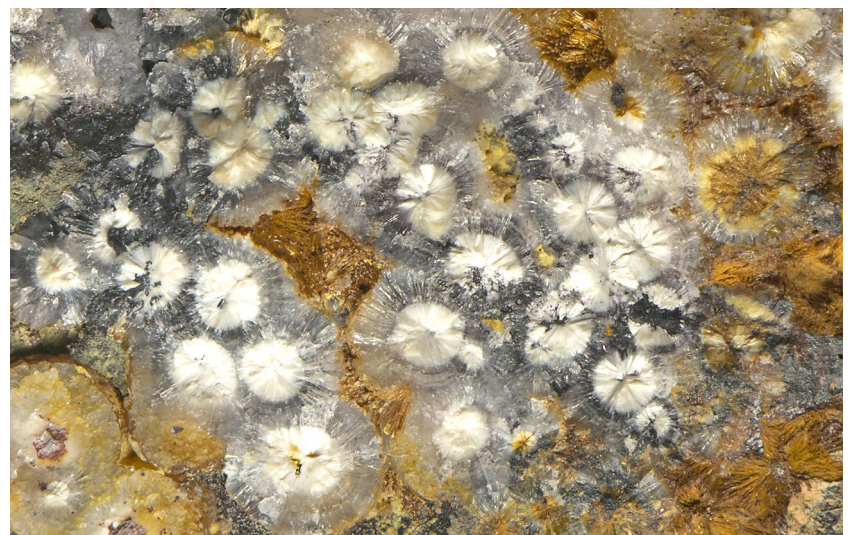
Tvrdýit z Krušné hory tvoří zelené až žlutozelené, radiálně paprscité koncentrické agregáty do velikosti 4 mm v průměru, na které nasedají mladší drobné kulovité agregáty jarositu (obr. 13 a 14). Doposud byl zjištěn pouze na jednom vzorku s inventárním číslem P1N 18 834,



Obr. 15 Graf obsahů Al (*apfu*) vs. Fe+Zn (*apfu*) při bázi přepočtů na 2 *apfu* P pro tvrdýit z Krušné hory (tato práce), Krásna (Sejkora et al. 2016) a Al-bohatý beraunit z Krásna (Sejkora et al. 2016).



Obr. 16 Koncentrické agregáty variscitu s bílou centrální částí a čířým až světle šedým průhledným okrajem, Krušná hora; šířka záběru 32 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 17 Koncentrické agregáty variscitu s bílou centrální částí a čířým až světle šedým průhledným okrajem, Krušná hora; šířka záběru 10 mm, foto L. Vrtiška.

Tabulka 19 Rentgenová prášková data variscitu z Krušné hory

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>l_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>l_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>l_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>
1	1	2	5.390	61	5.386	3	2	2	2.592	4	2.597	3	3	6	1.7942	1	1.7953
2	0	0	4.947	11	4.947	0	3	4	2.579	4	2.578	3	4	4	1.7716	5	1.7752
0	2	0	4.841	33	4.834	1	3	4	2.4946	11	2.4943	0	5	4	1.7632	1	1.7631
2	0	1	4.747	9	4.754	4	0	0	2.4727	6	2.4735	4	4	0	1.7284	<1	1.7287
1	1	3	4.407	12	4.410	2	1	6	2.3997	4	2.4002	5	2	4	1.6850	1	1.6845
2	0	2	4.285	100	4.287	4	1	1	2.3711	<1	2.3734	5	2	5	1.6161	<1	1.6160
0	1	4	3.928	22	3.924	1	4	0	2.3494	3	2.3480	4	1	8	1.5995	2	1.5991
1	2	2	3.878	3	3.876	3	2	4	2.3050	<1	2.3004	1	4	8	1.5841	2	1.5845
1	1	4	3.651	20	3.648	0	0	8	2.1482	4	2.1470	6	1	3	1.5664	2	1.5637
2	0	4	3.241	6	3.243	2	3	5	2.1273	<1	2.1229	6	2	2	1.5359	1	1.5356
2	2	2	3.205	5	3.207	4	1	4	2.0941	4	2.0925	2	5	6	1.5241	2	1.5244
3	1	1	3.068	15	3.071	1	4	4	2.0612	<1	2.0601	3	1	10	1.5051	<1	1.5048
1	2	4	3.056	42	3.054	3	3	4	2.0303	2	2.0309	2	5	7	1.4524	2	1.4519
3	1	2	2.934	23	2.934	2	0	8	1.9676	1	1.9695	2	4	9	1.4337	1	1.4336
1	3	2	2.888	20	2.886	5	1	1	1.9269	4	1.9264	6	1	6	1.4138	<1	1.4135
2	0	5	2.816	1	2.822	4	0	6	1.8691	3	1.8716	3	5	7	1.3790	<1	1.3795
1	1	6	2.646	6	2.645	4	3	3	1.8536	1	1.8562						

Tabulka 20 Parametry základní cely variscitu z Krušné hory ve srovnání s publikovanými daty pro variscit typu Messbach (pro ortorombickou prostorovou grupu Pcab)

	<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
Krušná hora - tato práce	9.894(2)	9.668(3)	17.176(6)	1643.1(7)
Salvador, Fayos (1972)	9.902	9.659	17.18	1643.2
Čížová - Sejkora et al. (2011)	9.894(1)	9.6586(7)	17.175(2)	1641.2(3)
Líštěnec - Vrtiška et al. (2016b)	9.906(2)	9.659(2)	17.175(4)	1643.4(3)
Počepice - Vrtiška et al. (2016a)	9.903(2)	9.657(3)	17.181(4)	1642.9(7)
Černovice - Vrtiška et al. (2017)	9.904(4)	9.664(3)	17.184(6)	1645.5(6)

Tabulka 21 Chemické složení variscitu z Krušné hory (hm. %)

	mean	1	2	3
Fe ₂ O ₃	8.27	7.99	11.24	5.59
Al ₂ O ₃	29.25	30.46	28.36	28.92
P ₂ O ₅	46.84	46.93	47.41	46.20
F	0.34	0.52	0.38	0.12
H ₂ O*	23.78	23.82	24.07	23.45
F=O	-0.14	-0.22	-0.16	-0.05
total	108.34	109.50	111.29	104.23
Fe	0.157	0.151	0.211	0.107
Al	0.869	0.904	0.833	0.871
Σ	1.026	1.055	1.044	0.979
P	1.000	1.000	1.000	1.000
F	0.027	0.041	0.030	0.010
H ₂ O	2.000	2.000	2.000	2.000

Mean - průměr 3 bodových analýz; obsahy H₂O* byly vypočteny na základě teoretického obsahu H₂O = 2; koeficienty empirických vzorců byly vypočteny na bázi P = 1 *apfu*.

v minulosti evidovaným jako strengit - *barrandit*.

Rentgenová prášková data (tab. 16) studovaného tvrdýtu odpovídají datům publikovaným Sejkorou et al. (2016). Jeho zpřesněné mřížkové parametry jsou v tabulce 17 porovnány s publikovanými daty pro tvrdýt.

Chemickým studiem tvrdýtu z Krušné hory (tab 18) byly za předpokladu plného obsazení M1 pozice Fe²⁺, Mg²⁺ a Ca²⁺ zjištěny v této pozici obsahy Fe²⁺ v rozsahu 0.95 - 1.00 *apfu* a minoritní obsahy Mg (do 0.05 *apfu*) a

Ca (do 0.01 *apfu*). V pozicích M2 a M3 byly zjištěny (za předpokladu plného obsazení pozice M4 Fe³⁺) souhrnné obsahy Al v rozsahu 1.81 - 2.84 *apfu* a Fe³⁺ v rozsahu 0.03 - 0.99 *apfu*. Obsahy Al v pozicích M2 a M3 splňují podmínky přednostního zastoupení Al v těchto dvou pozicích definované pro tvrdýt v práci Sejkory et al. (2016) a odlišují ho od Al-bohatého beraunitu (obr. 15). Na rozdíl od tvrdýtu z Krásna nebyly ve studovaném vzorku z Krušné hory zjištěny obsahy Zn a As. Empirický vzorec tvrdýtu z Krušné hory lze na bázi P = 4 *apfu* (průměr devíti bodových analýz) vyjádřit jako (Fe²⁺_{0.99}Mg²⁺_{0.01})_{Σ1.00}(Fe³⁺)_{Σ2.00}(Al_{2.18}Fe³⁺_{0.68})_{Σ2.86}(PO₄)_{4.00}(OH)_{4.57}(OH₂)₄·2H₂O.

Variscit

Velká část vzorků evidovaných v mineralogické sbírce Národního muzea pod označením *barrandit*, nebo *strengit-barrandit*, odpovídá po chemické stránce variscitu. Variscit se vyskytuje na puklinách v podobě koncentrických agregátů nejčastěji s bílým středem a čířým až světle šedým průhledným okrajem. Velikost těchto agregátů dosahuje 2 - 3 mm (obr. 16 a 17). Bořický (1869b) zmiňuje Breithauptův předpoklad, že *barrandit* z Krušné hory je *peganit*. Tento předpoklad byl správný, jelikož dnes již neplatný název *peganit* je synonymem pro variscit.

Podrobným rentgenometrickým studiem variscitu z Krušné hory bylo zjištěno, že studovaný materiál odpovídá variscitu typu Messbach; variscit typu Lucin ani meta-variscit nebyly ve studovaných vzorcích zjištěny. Rentgenová prášková data variscitu (tab. 19) odpovídají údajům publikovaným v práci Salvadora, Fayose (1972). Vypočtené parametry základní cely variscitu jsou v tabulce 20 porovnány s publikovanými údaji pro variscit typu Messbach.

Tabulka 22 Rentgenová prášková data jarositu z Krušné hory

<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	1	5.939	17	5.927	0	2	4	2.543	19	2.546	3	0	6	1.694	2	1.6971
0	0	3	5.736	26	5.742	1	0	7	2.292	31	2.293	1	2	8	1.600	4	1.5985
0	1	2	5.100	48	5.091	3	0	3	1.976	26	1.976	2	2	6	1.538	12	1.5385
1	1	0	3.655	16	3.644	0	2	7	1.940	6	1.941	0	2	10	1.512	10	1.5120
1	0	4	3.558	2	3.557	0	0	9	1.913	10	1.914	0	0	12	1.4369	1	1.4355
0	2	1	3.106	53	3.104	2	2	0	1.823	28	1.822	2	3	2	1.4276	1	1.4281
1	1	3	3.081	100	3.077	2	0	8	1.779	4	1.779	3	0	9	1.4158	2	1.4158
2	0	2	2.970	11	2.963	1	3	1	1.741	3	1.742	2	0	11	1.4025	1	1.4028
0	0	6	2.867	27	2.871	3	1	2	1.715	2	1.7156	4	1	0	1.3781	1	1.3775

Tabulka 23 Parametry základní cely jarositu z Krušné hory (pro trigonální prostorovou grupu R-3m)

	tato práce	Sato et al. (2009)	Černý et al. (2015)
<i>a</i> [Å]	7.289(2)	7.2768(4)	7.286(3)
<i>c</i> [Å]	17.2258(2)	17.224(2)	17.2189(1)
<i>V</i> [Å ³]	792.5(3)	789.85	791.7(3)

Při studiu chemického složení variscitu (tab. 21) byly v kationtové pozici zjištěny vedle dominantního zastoupení Al (0.83 - 0.90 *apfu*) také zvýšené obsahy Fe (strengitové komponenty) v rozsahu 0.11 - 0.21 *apfu*. V aniontové pozici byla zjištěna pouze přítomnost P. Zjištěny byly také minoritní obsahy F do 0.04 *apfu*. Empirický vzorec variscitu je možno na bázi P = 1 *apfu* vyjádřit jako: Al_{0.87}Fe_{0.16}(PO₄)_{1.00}F_{0.05}·2H₂O (průměr tří bodových analýz).

Doprovodná mineralizace

Vedle fosfátů byl na vzorku s tvrdítem zjištěn **jarosit**, který tvoří rezavě hnědé krystalické polokulovité agregáty do velikosti 0.2 mm nasedající částečně na agregáty tvrdítu či přímo na horninu (obr. 13 a 14).

Rentgenová prášková data jarositu (tab. 22) se shodují s publikovanými údaji pro tento minerální druh. Zpřesněné parametry základní cely studovaného jarositu (tab. 23) jsou v dobré shodě s publikovanými údaji uvedenými v práci Sata et al. (2009).

Výsledky kvantitativní chemické analýzy studovaného jarositu (tab. 24) ukazují na dominantní zastoupení K (0.83 - 0.94 *apfu*) na pozici A a minoritní obsahy Na (do 0.04 *apfu*) a Ca (do 0.02 *apfu*). Pozice B je dominantně obsazena kationtem Fe³⁺ (3.01 - 3.19 *apfu*) jen s minoritním zastoupením Al (do 0.03 *apfu*). V aniontové pozici byla zjištěna dominantní přítomnost S (1.83 - 1.89 *apfu*) s minoritními obsahy P (0.10 - 0.17 *apfu*) a Si (do 0.03 *apfu*). Empirický vzorec jarositu z Krušné hory (průměr čtyř bodových analýz) lze na bázi P+S+Si = 2 *apfu* vyjádřit jako (K_{0.90}Na_{0.03})_{Σ0.93}(Fe_{3.10}Al_{0.01})_{Σ3.11}[(SO₄)_{1.86}(PO₄)_{0.12}(SiO₄)_{0.01}]_{Σ1.99}(OH)_{6.17}.

Závěr

Výzkumem málo známých a dosud moderními metodami blíže nezkoumaných sekundárních fosfátů na tržlinách Fe rud z lokality Krušná hora u Berouna byly, i přes omezené množství studijního materiálu, objeveny z této lokality dosud neznámé minerály. Mezi ně patří velmi vzácný allanpringit, který vznikl pravděpodobně jako produkt alterace fluorwavellitu, a jehož je Krušná hora teprve druhou dokumentovanou lokalitou na světě. Dále byl zjištěn obdobně vzácný tvrdít, kakoxen a fosfosiderit. Studium historicky zmiňovaného *barranditu* byl zjištěn variscit

Tabulka 24 Chemické složení jarositu z Krušné hory (hm. %)

	mean	1	2	3	4
K ₂ O	7.62	7.85	7.85	7.77	7.01
Na ₂ O	0.15	0.22	0.00	0.19	0.20
CaO	0.09	0.00	0.07	0.12	0.18
Fe ₂ O ₃	44.71	45.02	45.53	44.33	43.95
Al ₂ O ₃	0.11	0.10	0.00	0.25	0.11
SiO ₂	0.12	0.31	0.13	0.06	0.00
SO ₃	26.92	28.01	27.06	26.43	26.20
P ₂ O ₅	1.59	1.41	1.24	1.52	2.20
H ₂ O*	10.02	9.92	10.33	10.17	9.66
total	91.34	92.83	92.21	90.83	89.50
K	0.898	0.889	0.933	0.937	0.831
Na	0.027	0.037	0.000	0.035	0.036
Ca	0.009	0.000	0.007	0.012	0.018
Σ	0.933	0.926	0.940	0.983	0.885
Fe	3.105	3.008	3.190	3.150	3.074
Al	0.012	0.010	0.000	0.027	0.012
Σ	3.118	3.018	3.190	3.177	3.086
Si	0.011	0.028	0.012	0.005	0.000
S	1.864	1.866	1.891	1.873	1.827
P	0.124	0.106	0.098	0.121	0.173
Σ	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
OH	6.171	5.873	6.419	6.406	5.988

Mean - průměr čtyř bodových analýz; koeficienty empirických vzorců byly vypočteny na bázi (S+P+Si) = 2 *apfu*; H₂O* počítáno na bázi vyrovnání nábojové bilance.

a vzácněji také strengit. V rámci nové nomenklatury byl z minulosti známý wavellit redefinován na fluorwavelлит. Tato minerální asociace řadí Krušnou horu mezi významná naleziště sekundárních Al - Fe fosfátů v Barrandienu. Přestože je studovaná asociace fosfátů vyvinuta v Fe velmi bohatém prostředí, tak jsou zde hojně zastoupeny fosfáty Al (variscit, fluorwavelлит) a zjištěny byly i významné obsahy Al v kakoxenu a strengitu a lokálně i výskyt Al-dominantního členu skupiny beraunitu - tvrdítu.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat Mgr. Radku Škodovi PhD. z Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně a RNDr. Zdeňku Dolníčkovi PhD. z Národního muzea v Praze za spolupráci při laboratorním studiu. Dále pak Ing. Lence Váchové z Národního muzea v Praze za zhotovení BSE fotografií. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2019-2023/1.I.a, 00023272).

Literatura

- BOŘICKÝ E (1869a) O nerostech, v pásmu železných rud silurských se objevujících. Živa 2: 3-22
- BOŘICKÝ E (1869b) Zur Entwicklungsgeschichte der in dem Schichtencomplex der silurischen Eisensteinlager Böhmen's vorkommenden Minerale. Sitz-Ber K Akad Wiss math-naturwiss 59: 589-620
- BOŘICKÝ E (1871) Verzeichniss der in dem Schichtencomplex der silurischen Eisensteinlager Böhmens vorkommenden Minerale. Lotos 21: 155-165
- BREITHAUPT JFA (1841) Beraunit. In Vollständige Charakteristik des Mineral-Systems, Arnoldische Buchhandlung (Dresden und Leipzig) 136
- ČERNÝ P, ČERNÝ P, VRTIŠKA L, MALÍKOVÁ R, EXNAR P (2015) Jarosit a doprovodné minerály z opuštěného lomu Milina u Zaječova (Česká republika). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz 24(2): 242-246
- 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
- FEISTMANTEL K. (1852) Vereinsangelegenheiten - Versammlung am 19. November. Lotos 2: 235
- FEISTMANTEL K. (1853) Beitrag zur Kenntniss dem Gegend von Kruschna Hora. Lotos 3: 135
- CHUKANOV NV, AKSENOV SM, RASTSVETAeva RK, SCHÄFER C, PEKOV IV, BELAKOVSKIY DI, SCHOLZ R, DE OLIVEIRA LCA, BRITVIN SN (2017a) 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
- CHUKANOV NV, PEKOV IV, GREY IE, PRICE JR, BRITVIN SN, KRZHIZHANOVSKAYA MG, KAMPF AR, DÜNKEL B, KECK E, BELAKOVSKIY DI, MACRAE CM (2017b) Zincoberaunit, $\text{ZnFe}^{3+}_5(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_5 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, a new mineral from the Hagendorf South pegmatite, Germany. Miner Petrol, 111: 351-361
- KAMPF AR, ADAMS PM, BARWOOD H, NASH BP (2015) Fluorwavellite, IMA 2015-077. CNMNC Newsletter 28, 1862; Mineral Mag 79: 1859-1864
- KAMPF AR, ADAMS PM, BARWOOD H, NASH BP (2017) Fluorwavellite, $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2\text{F} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, the fluorine analogue of wavellite. Am Mineral 102: 909-915
- KOLITSCH U, BERNHARDT HJ, LENGAUER CL, BLASS G, TILLMANN E (2006) Allanpringite, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, a new ferric iron phosphate from Germany, and its close relation to wavellite. Eur J Mineral 18: 793-801
- 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
- LIPOLD MV (1863) Die Eisensteinlager der silurischen Grauwackenformation in Böhmen. Jahrb der k k geol Reichsanst (Wien) 13(3): 339-448
- MENCL J, FARKA O, HRABÁK J, KOUTNÝ J, KULT M, MAREŠ V, MENCL J, MYNÁŘ P, PROVÁZEK V, TOMSA F, WEBR B, WIKTORA E, ZÁSTĚRA C (1988) Železnorudný důl Krušná hora - historie a současnost. Vydavatelstvo Osveta, Martin, 1-149
- MOORE PB, SHEN J (1983) X-ray structural study of cacoxenite, a mineral phosphate. Nature 306: 356-358
- NIČ M (2011) Železné rudy Krušné hory - historie dobývání železných rud na Krušné hoře. Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Praha 1-54
- ORLOV A (1929) Wavellit od Černovic u Tábora a jeho paragenese. Rozpr Čes Akad, II tř 39(38): 1-39
- 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, PICOIR F (1985) "PAP" (ppZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: Microbeam Analysis (J T Armstrong, ed.) 104-106, San Francisco Press, San Francisco
- SALVADOR PS, FAYOS J (1972) Some aspects of the structural relationship between "Messbach-type" and "Lucin-type" variscites. Am Mineral 57: 36-44
- SATO E, NAKAI I, MIYAWAKI R, MATSUBARA S. (2009) Crystal structures of alunite family minerals: beaverite, corkite, alunite, natroalunite, jarosite, svanbergite and woodhouseite. N Jahrb Mineral, Abh 185(3): 313-322
- SEJKORA J, CÍCHA J, JEBAVÁ I (2011) Minerální asociace fosfátů z Čížové u Písku (Česká republika). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 19(1): 1-26
- SEJKORA J, GREY IE, KAMPF AR, PRICE JR, ČEJKA J (2016) Tvrdýite, $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{Al}_3(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a new phosphate mineral from Krásno near Horní Slavkov, Czech Republic. Mineral Mag 80(6): 1077-1088
- SEJKORA J, ŠKODA R, ONDRUŠ P, BERAN P, SÜSSER C (2006) Mineralogy of phosphate accumulations in the Huber Stock, Krásno ore district, Slavkovský les area, Czech Republic. J Czech Geol Soc 51(1-2): 103-147
- SLAVÍKOVÁ L, SLAVÍK F (1917-1918) Studie o železných rudách českého spodního siluru. Rozpr Čes ak tř II, 26.
- TAXER K, BARTL H (2004) On the dimorphy between the variscite and clinovariscite group: refined finestructural relationship of strengite and clinostrengite, $\text{Fe}(\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Crystal Research Technol 39: 1080-1088
- VELEBIL D. (2017) Výskyty barytu na ložiscích sedimentární železné rudy ordovického stáří v oblasti Barrandienu. Minerál 25(5): 443-451
- VRTIŠKA L, LOUN J, MALÍKOVÁ R, SEJKORA J (2016a) Fluorwavellit a variscit z Počepic u Sedlčan (Česká republika). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 24(2): 285-297
- VRTIŠKA L, MALÍKOVÁ R, SEJKORA J (2016b) Zajímavý výskyt fosfátů v okolí Líštence u Votic (Česká republika). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 24(1): 114-131
- 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
- VRTIŠKA L, TVRDÝ J, MALÍKOVÁ R, DOLNÍČEK Z (2019) Mangnem bohatý beraunit, strunzit a fosfosiderit z historického ložiska Fe-Mn rud Morašice u Přelouče (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 27(2): 269-278.
- VTĚLENSKÝ J. (1959) Mineralogie oolitických železných rud z některých ložisek Barrandienu. Geotechnica 26: 1-71
- WEISS S, HOCHLEITNER R. (2017) Neue Mineralien aus Hagendorf. Lapis 42(9): 42-46