

<https://doi.org/10.46861/bmp.28.406>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Nová data k výzkumu tvrdýitu z Krušné hory u Berouna (Česká republika)

New data on research of tvrdýite from Krušná hora near Beroun (Czech Republic)

LUBOŠ VRTIŠKA^{1,2)*} A RADANA MALÍKOVÁ¹⁾

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

²⁾Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno

VRTIŠKA L, MALÍKOVÁ R (2020) Nová data k výzkumu tvrdýitu z Krušné hory u Berouna (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 28(2): 406-411 ISSN 2570-7337

Abstract

During the revision of beraunite like minerals from old localities represented by historical samples in the mineralogical collection of the National Museum in Prague, the second occurrence of tvrdýite was confirmed in the iron ores from abandoned iron deposit Krušná hora in the Central Bohemia (Czech Republic). Krušná hora is situated about 12 km NW of Beroun (30 km WSW of Prague) in an area of the Ordovician sedimentary rocks of the Teplá-Barrandian unit. Tvrdýite forms brown-green, yellow-green to light-green radial aggregates up to 3 mm in size. Tvrdýite is monoclinic, space group *C2/c* with following unit-cell parameters refined from the X-ray powder diffraction data: *a* 20.529(9), *b* 5.105(2), *c* 18.869(8) Å, β 92.8(4)° and *V* 1975.1(8) Å³; its empirical formula is $(\text{Na}^{+0.13}\text{Fe}^{2+0.86}\text{Mg}^{2+0.01})_{\Sigma 1.00}(\text{Al}^{3+2.39}\text{Fe}^{3+0.57})_{\Sigma 2.96}(\text{Fe}^{3+1.93}\text{Al}^{3+0.03})_{\Sigma 1.96}[(\text{PO}_4)_{3.99}(\text{VO}_4)_{0.01}]_{\Sigma 4.00}(\text{OH})_{4.61}(\text{OH})_{2.400} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. The mineral was found in association with smaller bluish radial aggregates of unidentified Fe-Al phosphate (probably Al-rich dufrénite or different generation of tvrdýite).

Key words: tvrdýite, WDS data, phosphate occurrence, unit-cell parameters, chemical composition, iron deposit, Krušná hora, Beroun, Czech Republic

Obdrženo 27. 10. 2020; přijato 7. 12. 2020

Úvod

V rámci studia fosfátové mineralizace bývalého železnorudného ložiska Krušná hora u Berouna byl na jednom ze vzorků mineralogické sbírky Národního muzea s inventárním číslem P1N 18834 (dále vzorek A) zjištěn výskyt vzácného minerálu z beraunitové skupiny - tvrdýitu. Výsledky tohoto studia jsou uvedeny v práci Vrtišky et al. (2019). Během následujícího výzkumu sekundárních puklinových fosfátů Českého masivu byl v mineralogické sbírce Národního muzea objeven další vzorek s tvrdýitem. Ten na ukázce s inventárním číslem P1N 6155 (dále vzorek B), s uvedenou lokalitou Zaječov, tvoří hnědozelené, světle zelené až žlutozelené, radiálně paprscité agregáty. Při bližším zkoumání a porovnání tohoto vzorku se vzorkem A bylo zjištěno, že se jedná o identický materiál, zcela jistě pocházející ze stejné lokality a stejného nálezu.

Vzhledem k tomu, že vzorek A daroval do sbírek muzea J. Gross, který pracoval v dolech na Krušné hoře, je správnost jeho lokalizace téměř jistá. Lokalizace vzorku B „Zaječov“ je tak patrně mylná a jedná se rovněž o Krušnou horu u Berouna. I přes to, že se v obou případech jedná o téměř shodný materiál, byly v tvrdýitu na vzorku B zjištěny výrazně vyšší obsahy hliníku. Vzhledem k tomu, že se jedná zatím o nejvyšší zjištěné obsahy Al ve struktuře tvrdýitu, je výzkum tohoto vzorku stručně shrnut v této práci.

Geologie, mineralogie a historie ložiska

Historický železnorudný důl na Krušné hoře u Nového Jáchymova (cca 10 km z. až zsz. od Berouna) je například spolu se známější Dědovou horou či Hrbkem jedním z nalezišť minerálů vázaných na železné rudy Barrandienu. Z mineralogického hlediska jsou odsud známy vzorky výrazných krystalů barytu, často s kalcitem, ankeritem a pyritem (např. Velebil 2017). Ze sulfidů se zde vyskytl například galenit, sfalerit, chalkopyrit a cinabarit. Mineralogické poměry lokality studovali Bořický (1869a, 1869b, 1871); Slavíková, Slavík (1917-1918); Vtělenský (1959) aj. Dále zde byly zjištěny sekundární puklinové fosfáty, o jejichž výskytu se v průběhu 19. a první polovině 20. století zmiňují různí autoři (Feistmantel 1852, 1853; Bořický 1869a, 1869b, 1871; Orlov 1929 aj.). Během nového studia těchto fosfátů zde byly zjištěny vzácný allanpringit, tvrdýit, kakoxen, fluorwavellit, fosfosiderit, strengit, variscit a doprovodný sulfát jarosit (Vrtiška et al. 2019).

Železnorudné doly na Krušné hoře u Nového Jáchymova patřily k nejvýznamnějším v oblasti Barrandienu. Po roce 1945 zde byl největší hlubinný železnorudný důl v českých zemích. Důlní revír na katastrálních územích obcí Hudlice, Otročiněves a Nový Jáchymov byl součástí pásma známých dolů na chamositové a hematitové rudy, začínajícím nučickými závody, pokračujícím Chrustenicemi, Krušnou horou, Zdicemi a končícím lomem v Ejpovicích. Více informací o historii těžby je shrnuto v práci Vrtišky et al. (2019).

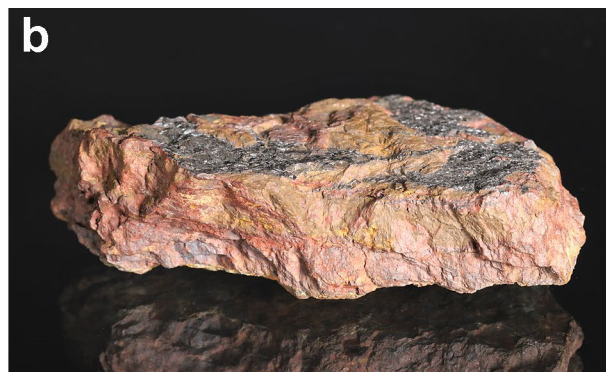
Krušnohorské ložisko sedimentárních železných rud leží v pásmu tzv. „ordovických ostrovů“ (Krušná hora, Velíz, Dlouhá skála a Petrovka), situovaných v neoproterozoiku severozápadního křídla barrandienského synklinoria, asi 2 km severozápadně od hranice s barrandienským ordovikem. „Ordovické ostrovy“ představují izolované tektonické denudační prvky v prodlouženém pokračování význačné směrné barrandienské tektonické linie tzv. pražského zlomu (Mencel et al. 1988).

Metodika výzkumu

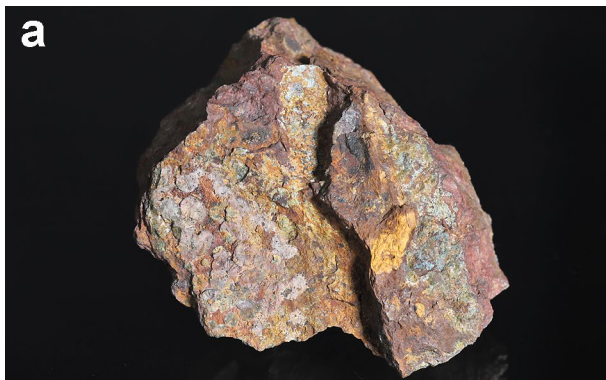
Barevné mikrofotografie byly pořízeny pomocí mikroskopu Nikon SMZ 25 s digitální kamerou Nikon DS-Ri2 a funkce skládání obrazu za použití programu NIS Elements AR verze 4.20.



Obr. 1 Sférolity goethitu původně považované za dufrénit na studovaném vzorku B (P1N 6155) z Krušné hory; rozměry 6 × 4 cm, foto L. Vrtiška.



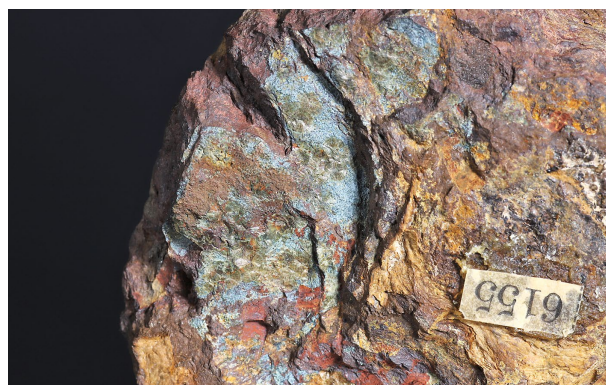
Obr. 2 Boční pohled (kolmo na pukliny) na studované vzorky s tvrdýtem. a - vzorek A s patrnou vrstvou černého goethitu; šířka vzorku 7 cm, foto L. Vrtiška; b - vzorek B s vrstvou sférolitického goethitu; šířka vzorku 6 cm, foto L. Vrtiška.



Obr. 3 Srovnání obou studovaných vzorků s tvrdýtem. a - vzorek A; rozměr vzorku 7 × 5 cm, foto L. Vrtiška; b - vzorek B; rozměr vzorku 6 × 4 cm, foto L. Vrtiška.

Rentgenová prášková difrakční data byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s polovodičovým pozičně citlivým detektorem LynxEye za užití $\text{CuK}\alpha$ záření (40 kV, 40 mA). Práškové preparáty byly naneseny v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku a následně pak byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.01° , načítací 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).

Chemické složení minerálů 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 5 μm . Použité standardy: sanidin



Obr. 4 Detail hlavní partie vzorku B s radiálně paprscitými agregáty hnědozeleného tvrdýtu na puklině Fe rudy s limonitem spolu s drobnými modrými agregáty blíže neurčeného Fe-Al fosfátu, Krušná hora; šířka záběru 45 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 5 Radiálně paprscité agregáty hnědozeleného tvrdýitu na puklině Fe rudy spolu s drobnými modrými agregáty blíže neurčeného Fe-Al fosfátu, Krušná hora; šířka záběru 19 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 6 Shluk radiálně paprscitých agregátů hnědozeleného tvrdýitu na puklině Fe rudy, Krušná hora; šířka záběru 8 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 7 Detail radiálně paprscitých agregátů hnědozeleného tvrdýitu na puklině Fe rudy spolu s drobnými modrými agregáty blíže neurčeného Fe-Al fosfátu, Krušná hora; šířka záběru 4.5 mm, foto L. Vrtiška.

(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), chalkopyrit (CuK α), LiF (FK α), rodonit (MnK α), Cr₂O₃ (CrK α), U-kov SPI (UM α), baryt (BaL β), klinoklas (AsL α), vanadinit (PbM α), Bi (BiM α), Sn (SnL α), Co (CoK α), V (VK α), BN (NK α), YVO₄ (YL 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. % pro jednotlivé prvky). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Charakteristika studované mineralizace s fosfáty

Tvrdýit byl nově zjištěn na vzorku (B) o rozměrech 7 × 4 cm, uloženém v mineralogické sbírce Národního muzea pod inventárním číslem P1N 6155 a původně evidovaném jako dufrénit z lokality Zaječov. V jeho popisu je uvedeno „vrstva drobných černých lesklých sférolitů na krevetu s limonitem“. Sférolity domnělého dufrénitu však byly za pomoci PXRD identifikovány jako goethit (obr. 1). Při porovnání bočních pohledů (kolmo na pukliny) je na vzorku A (obr. 2a) patrná černá vrstva, která je totožná s vrstvou sférolitů goethitu na vzorku B (obr. 2b). Oba vzorky také mají stejné charakteristické znaky i při porovnání pohledů na plochy s agregáty tvrdýitu na spodní straně (obr. 3a a 3b).

Tvrdýit patří do beraunitové skupiny spolu s beraunitem (Fe²⁺Fe³⁺(PO₄)₄(OH)₅·6H₂O; Breithaupt 1840, 1841), zinkoberaunitem (ZnFe³⁺(PO₄)₄(OH)₅·6H₂O; Chukanov et al. 2017b) a eleonoritem (Fe³⁺(PO₄)₄O(OH)₄·6H₂O; Chukanov et al. 2017a). Ve struktuře tvrdýitu byly definovány čtyři kationtové pozice: M1 Fe²⁺ >> Fe³⁺, Zn; M2 Al >> Fe³⁺; M3 Al > Fe³⁺, Zn a M4 Fe³⁺ > Al, Zn. Zjednodušený vzorec (M1-M4₂-M2-M3₂) tak lze vyjádřit jako (Fe²⁺, Fe³⁺, Zn)(Fe³⁺, Al, Zn)₂(Al, Fe³⁺)(Al, Fe³⁺)₂(PO₄)₄(OH)₅(OH₂)₄·2H₂O (Sejkora et al. 2016).

Tvrdýit na nově studovaném vzorku B tvoří hnědozelené, žlutozelené až světle zelené, radiálně paprscité zónální agregáty do velikosti 3 mm v průměru (obr. 4 - 7) na puklině hematitu s limonitem.

Rentgenová prášková data tvrdýitu (tab. 1) se dobře shodují s daty publikovanými Sejkorou et al. (2016). Jeho zpřesněné mřížkové parametry jsou v tabulce 2 porovnány s publikovanými daty pro tvrdýit z Krásna (Sejkora et al. 2016) a pro vzorek A z Krušné hory (Vrtiška et al. 2019).

Chemickým studiem tvrdýtu (tab. 3) byly za předpokladu plného obsazení M1-pozice Na⁺, Fe²⁺, Mg²⁺ a Ca²⁺ zjištěny v této pozici obsahy Fe²⁺ v rozsahu 0.68 - 1.00 apfu. Zajímavé jsou zvýšené obsahy Na (do 0.32 apfu). Dále byly zjištěny minoritní obsahy Mg (do 0.05 apfu) a

Ca (do 0.01 apfu). V pozicích M2 a M3 byly zjištěny (za předpokladu přednostního obsazení pozice M4 Fe³⁺) souhrnné obsahy Al v rozsahu 1.65 - 3.00 (průměrně 2.38) apfu a Fe³⁺ v rozsahu 0.00 - 1.25 (průměrně 0.57) apfu. Obsahy Al v pozicích M2 a M3 splňují podmínky před-

Tabulka 1 Rentgenová prášková data nově studovaného vzorku 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	10.128	100	10.252	-6	0	2	3.258	1	3.265	6	2	1	2.0308	1	2.0267
0	0	2	9.478	5	9.423	6	0	2	3.173	1	3.163	-6	2	3	1.9638	<1	1.9618
-2	0	2	7.155	6	7.115	-3	1	4	3.133	2	3.135	6	2	3	1.9263	<1	1.9279
2	0	2	6.728	3	6.773	-2	0	6	3.044	1	3.046	-6	2	4	1.8930	<1	1.8966
4	0	0	5.081	4	5.126	-6	0	4	2.847	<1	2.834	2	0	10	1.8387	<1	1.8375
1	1	1	4.765	1	4.777	-5	1	4	2.683	1	2.694	-1	3	1	1.6898	<1	1.6897
-2	0	4	4.360	<1	4.364	7	1	0	2.5427	3	2.5406	-11	1	4	1.6672	<1	1.6667
2	0	4	4.178	<1	4.203	-3	1	7	2.2822	<1	2.2800	-7	1	9	1.6505	1	1.6510
3	1	3	3.390	5	3.382	0	2	4	2.2451	<1	2.2444						

Tabulka 2 Parametry základní cely tvrdýtu pro monoklinickou prostorovou grupu C2/c

	tato práce	Sejkora et al. (2016)	Vrtiška et al. (2019)
<i>a</i> [Å]	20.529(9)	20.564(4)	20.554(8)
<i>b</i> [Å]	5.105(5)	5.101(1)	5.101(2)
<i>c</i> [Å]	18.869(8)	18.883(4)	18.900(9)
β [°]	92.8(4)	92.68(3)	92.69(5)
<i>V</i> [Å ³]	1975.1(8)	1976.7(7)	1977.4(8)

Tabulka 3 Chemické složení nově studovaného tvrdýtu z Krušné hory (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Na ₂ O	0.47	0.00	0.85	1.17	0.82	1.11	0.30	1.19	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
FeO*	7.54	8.02	6.44	5.75	6.44	6.07	7.90	5.86	8.75	8.85	8.97	8.37	9.01
MgO	0.04	0.23	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.01	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃ *	24.12	29.82	30.61	30.40	27.31	27.40	25.31	27.16	20.00	17.98	17.67	18.18	17.57
Al ₂ O ₃	14.98	9.93	9.96	11.12	13.05	13.38	13.46	13.52	17.31	18.75	19.63	19.67	19.93
P ₂ O ₅	34.39	33.47	33.40	33.43	34.10	34.11	33.86	34.00	34.86	35.07	35.39	35.34	35.61
V ₂ O ₅	0.06	0.06	0.06	0.00	0.07	0.05	0.11	0.07	0.07	0.09	0.06	0.05	0.00
H ₂ O**	18.15	17.48	17.51	17.96	18.09	18.21	17.77	18.17	18.16	18.25	18.63	18.75	18.77
total	99.74	99.06	98.87	99.83	100.05	100.33	98.71	99.97	99.19	99.03	100.36	100.62	100.90
Na ⁺	0.128	0.000	0.233	0.321	0.220	0.298	0.081	0.320	0.000	0.000	0.000	0.065	0.000
Fe ²⁺	0.863	0.946	0.761	0.679	0.745	0.702	0.919	0.680	0.990	0.996	1.000	0.935	1.000
Mg ²⁺	0.008	0.048	0.000	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca ²⁺	0.001	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
$\Sigma M1$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Al ³⁺	2.385	1.650	1.658	1.852	2.128	2.182	2.208	2.211	2.761	2.971	3.000	3.000	3.000
Fe ³⁺	0.572	1.164	1.254	1.233	0.843	0.853	0.651	0.835	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000
$\Sigma M2+M3$	2.957	2.813	2.912	3.085	2.971	3.035	2.859	3.046	2.797	2.971	3.000	3.000	3.000
Fe ³⁺	1.931	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.819	1.773	1.827	1.755
Al ³⁺	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085	0.096	0.117
$\Sigma M4$	1.956	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.819	1.858	1.923	1.872
P ⁵⁺	3.995	3.994	3.994	4.000	3.994	3.995	3.990	3.994	3.994	3.992	3.995	3.996	4.000
V ⁵⁺	0.005	0.006	0.006	0.000	0.006	0.005	0.010	0.006	0.006	0.008	0.005	0.004	0.000
Σ	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
OH ⁻	4.612	4.440	4.503	4.935	4.692	4.807	4.497	4.818	4.392	4.371	4.573	4.705	4.613
H ₂ O	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000

mean - průměr 12 bodových analýz; **H₂O - počítáno na bázi teoretického obsahu šesti molekul ve vzorci tvrdýtu a vyrovnání nábojových bilancí; uvedené obsahy FeO* a Fe₂O₃* byly rozpočteny z celkového stanoveného Fe na základě předpokladu výhradního zastoupení Na⁺, Fe²⁺, Mg²⁺ a Ca²⁺ v M1-pozici a Fe³⁺ v M4-pozici obecného vzorce; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi P + V = 4 apfu.

nostního zastoupení Al v těchto dvou pozicích definované pro tvrdýt v práci Sejkory et al. (2016) a odlišují ho od Al-bohatého beraunitu (obr. 8). Stejně jako u prvně studovaného tvrdýtu z Krušné hory (Vrtiška et al. 2019) nebyly ani u nově studovaného vzorku zjištěny obsahy Zn publikované pro typový vzorek z Krásna (Sejkora et al. 2016). Do pozice M4 vedle dominantního Fe^{3+} (1.75 - 3.00 apfu) vstupuje minoritně Al (do 0.12 apfu).

V aniontové pozici byly zjištěny, vedle zcela dominantních obsahů P, jen velmi malé obsahy V (do 0.01 apfu). Ve studovaném vzorku byla zjištěna výrazná zonalita způsobená různými poměry v zastoupení Fe/Al, která je dobře patrná na obrázku 9, kde tmavší zóny radiálně paprscitého agregátu jsou více Al bohaté.

Empirický vzorec nově studovaného tvrdýtu z Krušné hory lze na bázi $\text{P}+\text{V} = 4$ apfu (průměr 12 bodových analýz) vyjádřit jako $(\text{Fe}^{2+}_{0.86}\text{Na}^{+}_{0.13}\text{Mg}^{2+}_{0.01})_{\Sigma 1.00}(\text{Al}^{3+}_{2.39}\text{Fe}^{3+}_{0.57})_{\Sigma 2.96}(\text{Fe}^{3+}_{1.93}\text{Al}^{3+}_{0.03})_{\Sigma 1.96}[(\text{PO}_4)_{3.99}(\text{VO}_4)_{0.01}]_{\Sigma 4.00}(\text{OH})_{4.61}(\text{OH}_2)_{2.4} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Doprovodná mineralizace

V asociaci s tvrdýtem byly pozorovány drobné (do 0.2 mm), světle modré, radiálně paprscité, koncentricky zonální agregáty Fe fosfátu (obsahy Fe_2O_3 v rozmezí 40.5 - 46.1 hm. % Fe_2O_3 ; obsahy P_2O_5 v rozmezí 31.4 - 34.8 hm. %) s relativně vysokými obsahy Al (9.2 - 10.5 hm. %

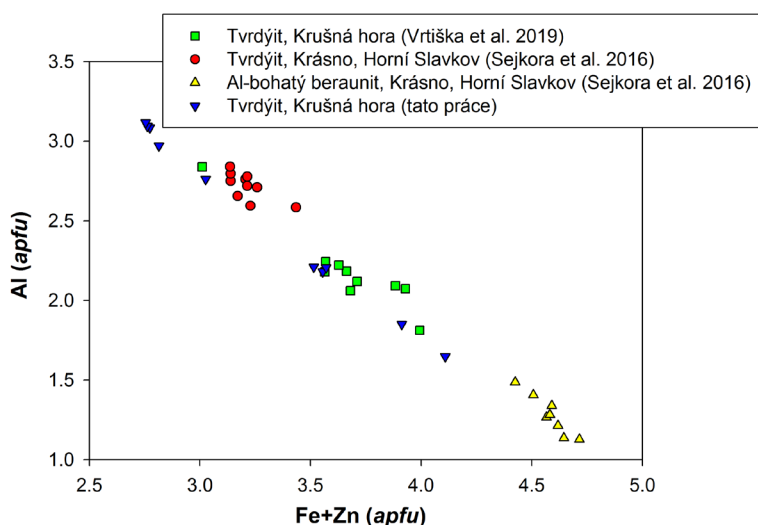
Al_2O_3) a zvýšenými obsahy Na (do 0.76 hm. % Na_2O), Ca (do 0.42 hm. % CaO) a Mg (do 0.19 hm. % MgO). Tento minerál však nebylo možné přesněji identifikovat pomocí PXRD, pravděpodobně pro nedostatek měřeného materiálu vzorek nedifraktoval a jeví se tak jako amorfní. Vzhledem ke stochiometrii se může jednat o Al bohatý dufrénit (resp. natrodufrénit), případně může jít o jinou generaci tvrdýtu.

Závěr

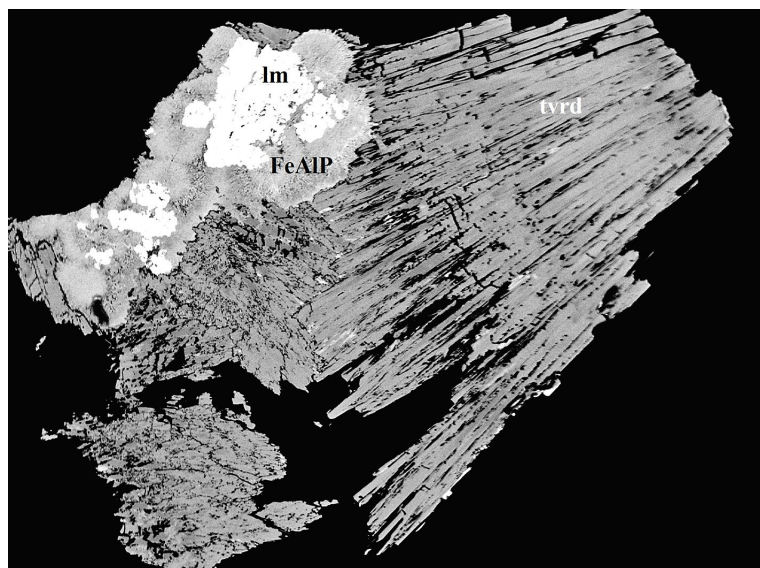
V rámci výzkumu sekundárních puklinových fosfátů a minerálů beraunitové skupiny byl na vzorku z historického železnorudného ložiska Krušná hora u Berouna zjištěn vzácný fosfát tvrdýt. Výskyt tvrdýtu na jiném vzorku z této lokality byl již studován Vrtiškou et al. (2019). V nově studovaném materiálu byly zjištěny dosud nejvyšší publikované obsahy Al (do 3.12 apfu) ve struktuře tvrdýtu.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat Zdeňku Dolníčkovi z Národního muzea v Praze za spolupráci při laboratorním studiu. 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.b, 00023272).



Obr. 8 Graf obsahů Al (apfu) vs. Fe+Zn (apfu) při bázi přepočtů na 4 apfu P pro tvrdýt z Krušné hory (tato práce a Vrtiška et al. 2019), Krásna (Sejkora et al. 2016) a Al-bohatý beraunit z Krásna (Sejkora et al. 2016).



Obr. 9 Část radiálně paprscitého agregátu zonálního tvrdýtu (tvrđ) s blíže neidentifikovaným Fe-Al fosfátem (FeAlP) a limonitem (lm); tmavší zóny tvrdýtu mají vyšší obsahy Al; šířka záběru 1.1 mm, BSE foto Z. Dolníček.

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 Eisensteinalager Böhmen's vorkommenden Minerale. Sitz-Ber K Akad Wiss math-naturwiss 59: 589-620
- BOŘICKÝ E (1871) Verzeichniss der in dem Schichtencomplex der silurischen Eisensteinalager Böhmens vorkommenden Minerale. Lotos 21: 155-165
- BREITHAUPT A (1840) Beraunit, ein neues Glied der Phyllit. J Prakt Chem 20: 66-67
- BREITHAUPT A (1841) Beraunit. In: Vollständige Charakteristik des Mineral-Systems. Arnoldische Buchhandlung (Dresden und Leipzig) 136
- FEISTMANTEL K (1852) Vereinsangelegenheiten - Versammlung am 19. November. Lotos 2: 235
- FEISTMANTEL K. (1853) Beitrag zur Kenntniss dem Gegend von Krušná 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
- 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
- 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. Vydavatelství Osvěta, Martin 1-149
- ORLOV A (1929) Wavellit od Černovic u Tábora a jeho paragenese. Rozpr Čes Akad, II tř 39(38): 1-39
- POUCHOU JL, PICOIR 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, GREY IE, KAMPF AR, PRICE JR, ČEJKA J (2016) Tvrdýite, $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{Al}_3(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_5(\text{OH}_2)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a new phosphate mineral from Krásno near Horní Slavkov, Czech Republic. Mineral Mag 80(6): 1077-1088
- SLAVÍKOVÁ L, SLAVÍK F (1917-1918) Studie o železných rudách českého spodního siluru. Rozpr Čes ak tř II, 26
- VELEBIL D. (2017) Výskyty barytu na ložiscích sedimentární železné rudy ordovického stáří v oblasti Barrandienu. Minerál 25(5): 443-451
- 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
- VTĚLENSKÝ J (1959) Mineralogie oolitických železných rud z některých ložisek Barrandienu. Geotechnica 26: 1-71