

Nový nález gibbsitu z tefritového lomu Hammerunterwiesenthal v Krušných horách (Německo)

New found of gibbsite at the Hammerunterwiesenthal tephrite quarry, Krušné hory Mts. (Germany)

LUBOŠ VRTIŠKA*, RADANA MALÍKOVÁ, JAN SOUMAR, IVO MACEK A JIŘÍ ČEJKA

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

*e-mail: lubos_vrtiska@nm.cz

VRTIŠKA L., MALÍKOVÁ R., SOUMAR J., MACEK I., ČEJKA JIŘÍ (2015) Nový nález gibbsitu z tefritového lomu Hammerunterwiesenthal v Krušných horách (Německo) - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 23, 2, 247-254. ISSN 1211-0329.*

Abstract

The new occurrence of well-crystalline Al-hydroxide, gibbsite, was found in the Hammerunterwiesenthal tephrite quarry in Erzgebirge (Germany). Gibbsite forms lustrous transparent pseudo-hexagonal tabular crystals, their twins and groups up to 3.5 mm in size. Gibbsite is monoclinic, space group $P2_1/n$ with following unit-cell parameters: a 8.669(2) Å, b 5.070(2) Å, c 9.720(3) Å, β 94.54(3)°, V 425.9(2) Å³. Chemical analyses yield the average composition Al_2O_3 65.48, SiO_2 0.04, H_2O_{calc} 34.74, total 100.26 wt. % corresponding to the formula $Al(OH)_3$ on the basis of 1 atom in cation sites. Raman spectrum is in good coincident with published data for this mineral phase and is considerably different from Raman spectra of another $Al(OH)_3$ polymorphs. Gibbsite was found in the close association of natrolite. Natrolite is orthorhombic, space group $Fdd2$ with following unit-cell parameters: a 18.368(5) Å, b 18.591(7) Å, c 6.594(4) Å, V 2251(1) Å³ and its average composition Na_2O 14.54, Al_2O_3 26.98, SiO_2 45.24, K_2O 0.04, CaO 1.46, H_2O_{calc} 9.23, total 97.48 wt. % corresponding to formula $(Na_{1.83}Ca_{0.10})_{\Sigma 1.93}(Al_{2.07}Si_{2.94})_{\Sigma 5.01}O_{10} \cdot 2H_2O$ on the basis 10 O.

Key words: gibbsite, natrolite, zeolite, chemical composition, powder X-ray diffraction data, unit-cell parameters, raman spectra, Hammerunterwiesenthal, Erzgebirge Mts., Germany

Obdrženo: 5. 10. 2015; přijato: 17. 12. 2015

Úvod

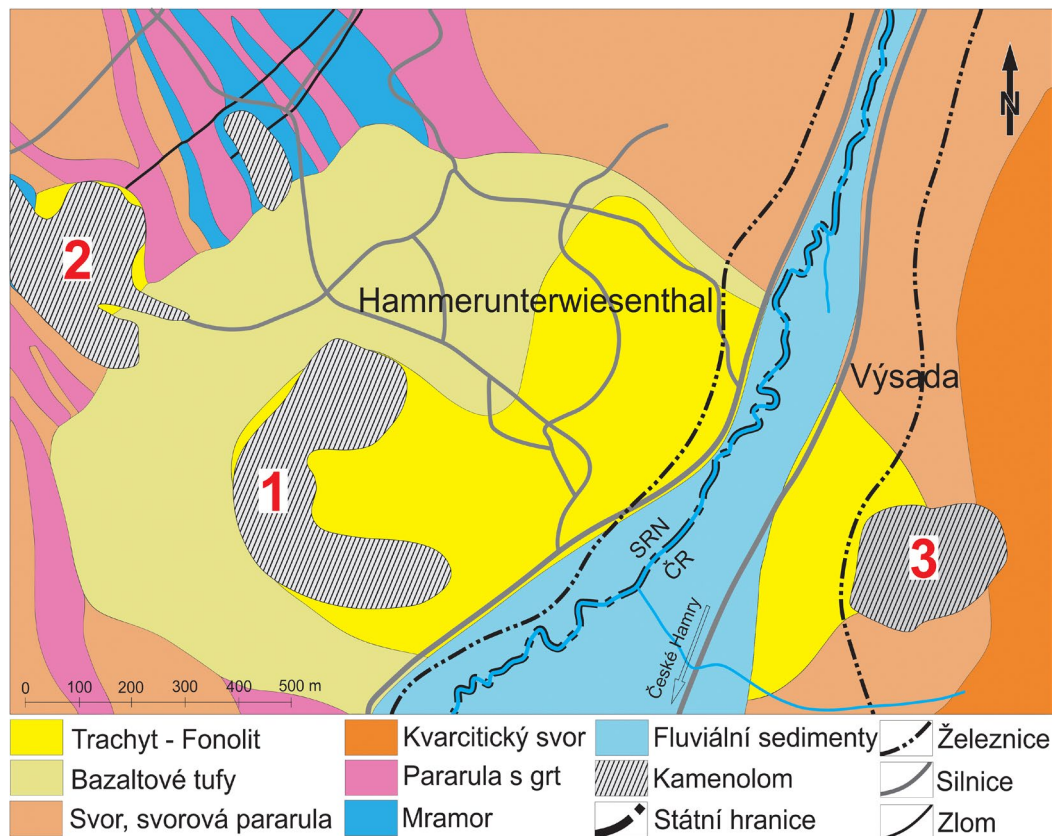
Během několika návštěv tefritového kamenolomu Hammerunterwiesenthal firmy Richter & CO v roce 2013 bylo v lomu objeveno větší množství dutin vyplněných především bílými až čírymi krystaly natrolitu a tlustě tabulkovitými krystaly bílého, čírého až žlutého kalcitu. Během bližšího výzkumu získaného materiálu byly zjištěny dobře vyvinuté krystaly gibbsitu, jehož výskyt na této lokalitě dosud nebyl znám.

Gibbsit tvoří spolu s nordstranditem, bayeritem a doyleitem jednu z polymorfních modifikací $Al(OH)_3$ krystalující v monoklinické soustavě. Gibbsit se vyskytuje jako podstatná složka hliníkem bohatých lateritů (bauxitu), kde vystupuje nejčastěji spolu s diasporem a böhmitem. Vzniká také jako hydrotermální produkt alterace metamorfítů a vulkanických hornin. Často se vyskytuje v podobě ledvinitých a polokulovitých agregátů bílé, žlutavé či namodralé barvy, méně často pak v podobě tabulkovitých krystalů. V Evropě jsou známé výskyty krystalovaného gibbsitu například ze syenitových pegmatitů nedaleko norského Sangesundu, kde tvoří číré, tlustě tabulkovité krystaly o velikosti okolo 3 mm v dutinách s natrolitem (Larsen 1981). Z Německa je známý výskyt gibbsitu v terciérních vulkanitech na lokalitě Bärenstein, kde tvoří až 3 mm velké tabulkovité pseudo-hexagonální krystaly nebo radiálně paprskité agregáty o průměru okolo 2 cm (Witzke 1994).

V České republice se gibbsit vyskytuje na trhlinách nefelinických vyvřelých hornin v lomu Mokrá u Žlutic, kde tvoří béžové až hnědavé tabulkovité pseudo-hexagonální krystaly, které často srůstají v podobě polokulovitých agregátů (Černý et al. 2002). Nově zjištěný výskyt tabulkovitých krystalů gibbsitu na lokalitě Hammerunterwiesenthal je předmětem této studie.

Charakteristika lokality

Rozsáhlý několikaetázový tefritový lom Hammerunterwiesenthal se rozkládá v těsné blízkosti stejnojmenné obce na jejím západním okraji (GPS souřadnice: 50°26'45.476"N 13°0'28.161"E) v bezprostřední blízkosti hranice ČR/SRN, cca 11 km sv. od Jáchymova a 20 km jv. od Schwarzenbergu. V širším okolí obce se pak nachází několik dalších lomů otevřených v mramorech a amfibolitech a drobné reliktky hlubinné těžby uranových rud. Lokalita Hammerunterwiesenthal spadá v rámci geologického členění do jednotky saxothuringika (sasko-durynské zóny), která je zde litologicky reprezentována převážně muskovitickými svory, svorovými pararulami a kvarciticými svory s lokálními vložkami granátických pararul, mramorů, erlanů a amfibolitů (obr. 1). Do těchto hornin v místech dnešní česko-německé hranice je intrudováno těleso vulkanitů, které je reliktem terciérního vulkanismu v oblasti Krušných hor. Toto nevelké těleso o rozměrech



Obr. 1. Zjednodušená geologická mapa okolí lomu Hammerunterwiesenthal. 1 - tefritový lom Hammerunterwiesenthal; 2 - aktuálně těžený lom v metamorfitech; 3 - bývalý tefritový lom České Hamry. Upraveno podle mapového serveru České geologické služby (www.geology.cz) a podle geologické mapy Hoth a Schellenberg (2006).



Obr. 2. Spodní etáž tefritového lomu Hammerunterwiesenthal před jeho zatopením. Stav duben 2013, foto L. Vrtiška.



Obr. 3. Pohled na již zatopené spodní etáž tefritového lomu. Stav září 2015, foto L. Vrtiška.

zhruba 1000 × 700 m a mocnosti do 250 m (Rychlý et al. 1992) zasahuje částečně i na území České republiky, kde bylo v minulosti těženo kamenolomem České Hamry. Litologicky se jedná o horninu dříve označovanou jako fonolit (znělec), která dle mezinárodní klasifikace odpovídá tefritu (Rychlý et al. 1992) a podle mineralogických kritérií pak odpovídá složením sodalitickému trachybazaltu (Shrbený 1980). Samotné těleso tefritu je na okrajích z části překryto vrstvou tufů. V místech česko-německé hranice se do tělesa zařezává údolí hraničního potoka Polava, jehož fluvialní sedimenty tělesa v okolí potoka částečně překrývají.

První zmínka o těžbě tefritu v Hammerunterwiesenthalu pochází z roku 1896. Těžbu zde založil Ernst Moritz Richter, který dodával zde těžený kámen na stavbu železnice spojující Cranzahl s Oberwiesenthalem. Počet zaměstnanců v lomu postupně vzrostl asi na 50. Těžba v lomu narůstala, a to až do období druhé světové války, kdy pro nedostatek mužů, kteří byli povoláni na frontu, začala dočasně upadat. V roce 1945 se těžba potýkala také s nedostatkem financí. Dne 23. 12. 1949 pak těžbu zastavil požár vzniklý při zkratu v kompresorové stanici. Lom začal opět poskytovat štěrk až 1. 10. 1950. Těžba opět narůstala a v roce 1972 dosáhla produkce 450 000 tun kameniva ročně. Firma provádějící zde těžbu patří rodině Richterů a téměř od počátku těžby se jmenuje Richter & CO. Výjimkou bylo období mezi roky 1972 a 1990, kdy byl podnik vlastněn a přejmenován na „VEB Splitt- und Schotterwerk Hammerunterwiesenthal“. Dne 1. 8. 1990 převzal firmu Friedemann Richter, který ji opět přejmenoval na Richter & CO. Tato firma v Hammerunterwiesenthalu těží dodnes. Informace o historii těžby byly získány z informačních tabulí nad lomem, které jsou součástí Naučné stezky Hammerunterwiesenthal a jsou bez uvedených primárních zdrojů informací. Mineralogicky je lokalita proslulá především výskytem krystalovaných zeolitů vyplňující dutiny v tefritu. Vyskytovaly se zde estetické ukázky čirých sloupcovitých krystalů thomsonitu, které často tvořily až několik centimetrů velké snopkovité nebo polokulovité agregáty. Velmi hojným zdejším minerálem byl také natrolit, který tvořil nejčastěji číré sloupcovité krystaly tetragonálního průřezu, případně snopkovité shluky souběžných krystalů bílé nebo narůžovělé barvy dosahujících délky obvykle 1 - 2 cm. V mineralogické sbírce Národního muzea v Praze je uložena zajímavá ukázka růžového natrolitu tvořícího souvislou vrstvu krátce jehličkovitých krystalů překrytých tenkou vrstvou čírého thomsonitu. Z dalších minerálů se na lokalitě vyskytovaly číré, bílé a žlutavé krystaly kalcitu, krystaly analcimu, mezolitu, chabazitu, stroncianitu aj. (Haake et al. 1994). Zajímavý je také výskyt křídově bílých sloupcovitých krystalů gon-



Obr. 4. Ukázka natrolitu s nenápadnými tabulkovitými krystaly čírého gibbsitu. Hammerunterwiesenthal, šířka záběru 35 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 5. Tabulkovitý krystal gibbsitu na natrolitu. Lom Hammerunterwiesenthal, šířka záběru 1.8 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 6. Tabulkovitý krystal gibbsitu v dutině s krystaly natrolitu. Lom Hammerunterwiesenthal, šířka záběru 1.8 mm, foto L. Vrtiška.

narditu tvořících tlusté kůry v dutinách tefritu o rozměrech až 25 cm (Keck 2004). Lokalita Hammerunterwiesenthal je z mineralogického hlediska blízka sousední lokalitě České Hamry na české straně hranice, která je navíc známá výskytem modrého anhydritu. Souhrnné informace o obou lokalitách a jednoduché srovnání jejich mineralizace podal Vrtiška (2015).

Lokalita Hammerunterwiesenthal byla navštívena v dubnu a květnu roku 2013. V té době probíhalo finální dotěžování zbytků zásob a práce v lomu postupně ustávaly (obr. 2). Voda z lomu však byla stále odčerpávána a na spodních etážích bylo možné objevit velké množství dutin se zeolity (převážně s natrolitem) a kalcitem. Při další návštěvě v říjnu téhož roku již byla těžba ukončena a spodní patra lomu se postupně zatápěla. Při poslední návštěvě v září 2015 již byla spodní dvě patra zcela zatopena, a v lomu zbylo jen velmi málo mineralogicky zajímavého materiálu (obr. 3). Těžba kamene v okolí Hammerunterwiesenthalu se v současné době přesunula do nedalekého lomu, kde jsou těženy metamorfity (amfibolity, erlany) a odkud je těžený materiál přepravován k drtičům na okraji tefritového lomu pomocí pásového dopravníku.

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, pro fotodokumentaci byl využit mikroskop Nikon SMZ25 s digitální kamerou DR-R11.

Rentgenová prášková difrakční data popsaných minerálních 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 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 upřesněny profilovým fitováním v programu HighScore Plus. Mřížkové parametry byly vypřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Celref (Laugier, Bouchu 2011).

Chemické složení studovaných fází bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha) za podmínek: WD analýza. 15 kV, 10 nA, průměr svazku elektronů 10 μ m, použité standardy: albit (Na), sanidin (Al, Si, K), apatit (P), diopsid (Mg), halit (Cl), TiO $_2$ (Ti), almandin (Fe), ZnO (Zn), rodonit (Mn), wollastonit (Ca), LiF (F), baryt (Ba), celestin (Sr). Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou zahrnuty v tabulkách, byly kvantitativně analyzovány, ale zjištěné obsahy byly pod detekčním limitem (cca 0.03 - 0.05 hm. % pro jednotlivé prvky). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Ramanovo spektrum gibbsitu bylo pořízeno za pomoci disperzního spektrometru DXR (Thermo Scientific) spojeného s konfokálním mikroskopem Olympus (Národ-

ní muzeum, Praha). Podmínky měření v rozsahu 100 - 1200 cm $^{-1}$: zvětšení objektivu 50 \times , použitý laser 532 nm, doba expozice 1s, celkový počet expozic 1000, nastavený výkon laseru 6 mW, použitá apertura 50 μ m slit (šterbinová), velikost paprsku 0.7 μ m; v rozsahu 3000 - 4000 cm $^{-1}$: zvětšení objektivu 10 \times , použitý laser 532 nm, doba expozice 1s, celkový počet expozic 1000, nastavený výkon laseru 0.5 mW, použitá apertura 25 μ m pinhole (malý kruhový otvor), velikost paprsku 2.1 μ m. Rozdílné nastavení výkonu laseru bylo způsobeno přehříváním vzorku během měření v rozsahu 3000 - 4000 cm $^{-1}$.



Obr. 7. Srostlice tlustě tabulkovitých krystalů čirého gibbsitu z Hammerunterwiesenthalu, šířka záběru 3 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 8. Zdvojitělé krystaly gibbsitu z Hammerunterwiesenthalu, šířka záběru 3 mm, foto L. Vrtiška.

Tabulka 1 Rentgenová prášková data gibbsitu z Hammerunterwiesenthalu

<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	4.844	100	4.845	3	1	1	2.3849	3	2.3854	-4	1	3	1.7510	1	1.7505
1	1	0	4.369	5	4.373	-3	1	2	2.2901	<1	2.2901	3	1	4	1.6825	1	1.6842
2	0	0	4.319	2	4.321	0	2	2	2.2449	<1	2.2461	-2	2	4	1.6573	<1	1.6564
-2	0	2	3.360	<1	3.359	-2	0	4	2.1875	<1	2.1881	2	2	4	1.5919	<1	1.5917
-1	1	2	3.314	1	3.313	4	0	0	2.1622	1	2.1604	-1	2	5	1.5336	<1	1.5324
1	1	2	3.183	1	3.183	1	1	4	2.0830	1	2.0838	1	1	6	1.4948	<1	1.4955
2	0	2	3.105	<1	3.105	-3	1	3	2.0492	2	2.0486	3	3	0	1.4569	<1	1.4577
1	0	3	2.946	<1	2.950	0	2	3	1.9932	1	1.9941	6	0	0	1.4398	<1	1.4403
2	1	2	2.642	<1	2.648	2	2	2	1.9630	<1	1.9636	-6	0	2	1.4117	<1	1.4114
-3	1	1	2.4648	<1	2.4663	3	1	3	1.9156	<1	1.9163	-4	2	4	1.4019	<1	1.4002
0	2	1	2.4535	1	2.4525	-3	1	4	1.8050	1	1.8043	0	2	6	1.3624	<1	1.3620
0	0	4	2.4222	3	2.4223												

Tabulka 2 Parametry základní cely gibbsitu pro monoklinickou prostorovou grupu P21/n

	tato práce	Ksenofontov, Kabalov (2012)
<i>a</i> [Å]	8.669(2)	8.6676(2)
<i>b</i> [Å]	5.070(2)	5.0741(1)
<i>c</i> [Å]	9.720(3)	9.7280(2)
β [°]	94.54(3)	94.54(1)
<i>V</i> [Å ³]	425.9(2)	426.5

Tabulka 3 Chemické složení gibbsitu z Hammerunterwiesenthalu (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5
Al ₂ O ₃	65.48	65.65	65.79	64.88	65.76	65.33
SiO ₂	0.04	0.00	0.00	0.09	0.00	0.10
H ₂ O*	34.74	34.80	34.87	34.47	34.85	34.72
total	100.26	100.44	100.66	99.44	100.61	100.15
Al ³⁺	0.999	1.000	1.000	0.998	1.000	0.997
Si ⁴⁺	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.003
H ⁺	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000

mean - průměr 5 bodových analýz; H₂O* - obsahy do počteny na bázi ideálního vzorce gibbsitu; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi Al+Si = 1 *apfu*.

Charakteristika zjištěné mineralizace

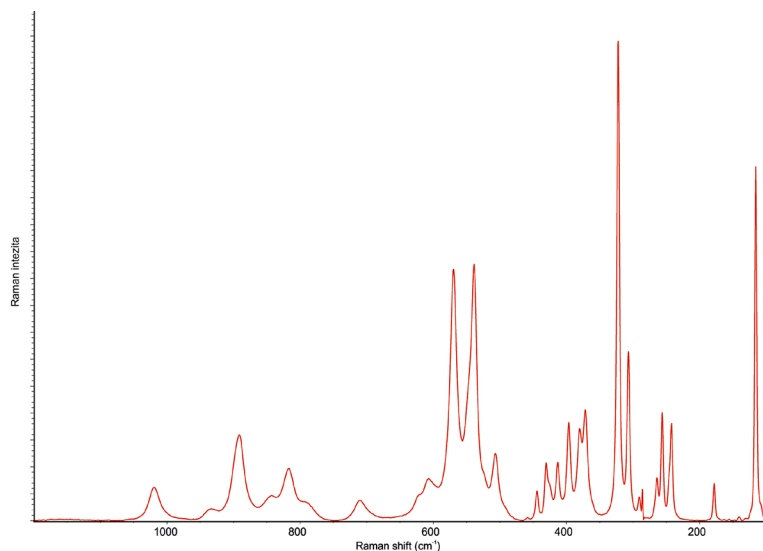
Převažujícím minerálem krystalujícím na stěnách dutin v tefritu je čirý natrolit tvořící sloupcovité krystaly spolu se vzácnějšími tabulkovitými krystaly kalcitu. Gibbsit byl nalezen pouze na jedné drúzové ukázce v asociaci s bílým natrolitem.

Gibbsit

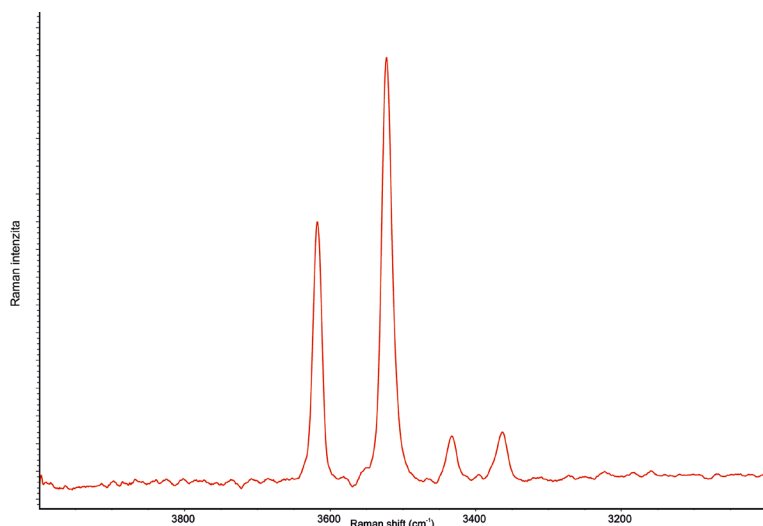
Gibbsit byl zjištěn v ploché drúze krystalů bílého natrolitu nasedající na tefritovou podložku o rozměrech 11 × 9 cm v podobě velmi hojných čirých perleťově až skelně lesklých, tlustě tabulkovitých pseudohehexagonálních krystalů o velikosti do 3.5 mm, narůstajících na geneticky starší sloupcovité krystaly a snopkovité srostlice krystalů natrolitu (obr. 4). Tabulkovité krystaly gibbsitu nasedají na natrolit buď samostatně (obr. 5 - 6) nebo v podobě shluků a srostlic jednotlivých jedinců (obr. 7) či jejich zdvojitě-

Tabulka 4 Výsledky měření Ramanových spekter gibbsitu

tato práce	Huneke et al. (1980)	Rodgers (1992)	pravděpodobné přiřazení pásů
3618	3615	3618	
3524	3520	3525	valenční vibrace ν (OH)
3433	3431	3435	
3364	3361	3365	
		1085?	
1019		1020	
935			deformační vibrace δ Al - OH
891	892	892	
844			
817	815	815	
791			symetrické valenční vibrace ν Al-O-Al
711	709	709	
621			
607		603	
570	567	568	
540	538	538	deformační vibrace δ Al-O-Al a/nebo librační módy (OH)
508		507	
446	443	443	
431	429	429	
413	411	412	
397	394	396	
381	378	379	
372		371	
323	321	321	
307	306	306	
292			valenční vibrace ν Al-O-Al
287			
264		262	
256	255	255	
242	242	242	
179	178	177	
141			mřížkové vibrace
116	116	115	



Obr. 9. Ramanovo spektrum gibbsitu v rozsahu 100 - 1200 cm^{-1} .



Obr. 10. Ramanovo spektrum gibbsitu v rozsahu 3000 - 4000 cm^{-1} .



Obr. 11. Drúza čirých pseudotetragonálních krystalů natrolitu z Hamnerunterwiesenthalu, velikost vzorku 7 × 9 cm, foto L. Vrtiška.

lých krystalů (obr. 8). V některých případech jsou jehlice natrolitu obrůstány v kolmém směru tabulkovitými krystaly gibbsitu. Gibsit vykazuje velmi výraznou štěpnost podle pinakoidu (001). Rentgenová prášková data (tab. 1) se shodují s publikovanými údaji pro tento minerální druh a zároveň se jednoznačně odlišují od dat uváděných pro ostatní polymorfní modifikace $\text{Al}(\text{OH})_3$ - nordstrandit, bayerit a doyleit. Z rentgenových práškových dat uvedených v tabulce 1 je zřejmá přednostní orientace preparátu způsobená dokonalou štěpností gibbsitu. Zpřesněné parametry základní cely studovaného gibbsitu (tab. 2) jsou ve velmi dobré shodě s publikovanými údaji.

Výsledky kvantitativní chemické analýzy jsou uvedeny v tabulce 3; vedle převažujícího Al_2O_3 byly zjištěny také minoritní obsahy SiO_2 v rozmezí od 0 - 0,09 hm. %.

Výsledky měření Ramanových spekter studovaného gibbsitu v rozmezí 100 - 1200 cm^{-1} (obr. 9) a 3000 - 4000 cm^{-1} (obr. 10) vykazují dobrou shodu s výsledky publikovanými pro tuto minerální fázi (Huneker et al. 1980; Rodgers 1993) a zároveň se zřetelně odlišují od spekter ostatních polymorfních modifikací $\text{Al}(\text{OH})_3$ - nordstranditu, bayeritu a doyleitu. Podrobná interpretace Ramanova nebo infračerveného spektra nebyla zřejmě dosud publikována; zejména přiřazení jednotlivých pásů k vibracím Al-OH v oktaedru je poměrně komplikované. Pokus o interpretaci jednotlivých pozorovaných pásů (tab. 4) je založen především na údajích v dostupné literatuře (Ryskin 1974; Nakamoto 2009; Saalfeld, Wedde 1974; Ruan et al. 2002; Čejka et al. 2014; Li et al. 2014; Sipos 2009).

Gibsit obsahuje ve své krystalové struktuře (Saalfeld, Wedde 1974) dva symetricky neekvivalentní Al^{3+} , šest symetricky neekvivalentních O^{2-} a šest symetricky neekvivalentních H^+ , prostorová grupa $P2_1/n = C_{2h}^5$, $Z = 8$. Struktura gibbsitu je tvořena vrstvami propojených oktaedrů hydroxidů hlinitých, které jsou složeny z iontů Al^{3+} vázaných k šesti oktaedricky koordinovaným hydroxylům. Každý z těchto hydroxylů je vázán ke dvěma atomům Al. Třetina pozic Al je vakantní. Pásky při 3618, 3524, 3433 a 3364 cm^{-1} byly přiřazeny k valenčním vibracím v OH vodíkovými vazbami vázaných hydroxylů. Podle Libowitzkyho (1999) odvozené přibližné délky vodíkových vazeb O-H...O se pohybují v rozmezí 3,2 - 2,78 Å, což odpovídá hodnotám vypočteným z krystalové struktury gibbsitu (Saalfeld, Wedde 1974). Pásky a ramena v rozmezí 1019 - 817 cm^{-1} přísluší deformačním vibracím δ Al-OH, pásky při 791 a 711 cm^{-1} symetrickým valenčním vibracím v Al-O-Al; ramena a pás při 621 a 607 cm^{-1} , stejně jako pásky a ramena v oblasti 570 - 381 cm^{-1} deformačním vibracím δ Al-O-Al popřípadě libračním módům hydroxylových iontů (OH). Pásky při 372 - 307 cm^{-1} a 292 - 179 cm^{-1} pak valenčním vibracím v Al-O-Al; pásky při 141 a 116 cm^{-1} souvisí s mřížkovými vibracemi.

Tabulka 5 Rentgenová prášková data natrolitu z Hammerunterwiesenthalu

<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	2	0	6.545	100	6.533	5	1	1	3.166	7	3.162	1	3	3	2.0576	1	2.0585
1	1	1	5.901	17	5.887	2	2	2	2.939	5	2.943	9	1	1	1.9377	<1	1.9390
0	4	0	4.654	19	4.648	6	2	0	2.908	2	2.908	1	5	3	1.8816	<1	1.8821
4	0	0	4.596	12	4.592	3	5	1	2.866	27	2.863	2	10	0	1.8237	3	1.8221
1	3	1	4.391	14	4.385	5	3	1	2.852	19	2.850	10	2	0	1.8015	1	1.8019
3	1	1	4.367	14	4.361	2	4	2	2.582	1	2.581	9	5	1	1.7250	4	1.7267
2	4	0	4.151	31	4.147	1	7	1	2.4444	5	2.4417	10	4	0	1.7079	1	1.7082
4	2	0	4.120	17	4.117	7	1	1	2.4186	2	2.4173	8	8	0	1.6334	3	1.6333
4	4	0	3.269	5	3.267	0	8	0	2.3261	3	2.3239	11	5	1	1.4853	<1	1.4842
1	5	1	3.194	10	3.190	3	7	1	2.2878	1	2.2855	4	12	0	1.4647	1	1.4680

Natrolit

Natrolit zjištěný na vzorku v asociaci s gibbsitem tvoří bílé, hedvábně lesklé jehlicovité krystaly a jejich paralelní snopkovité shluky hojně pokrývající povrch ploché dutiny v tefritu. Krystaly natrolitu na studovaném vzorku dosahují délky 8 mm. Rentgenová prášková data natrolitu z Hammerunterwiesenthalu (tab. 5) odpovídají teoretickému záznamu vypočtenému ze strukturních dat (Alberti et al. 1995). Zpřesněné parametry studovaného natrolitu se dobře shodují s publikovanými údaji pro tuto minerální fázi (tab. 6). Výsledky kvantitativní chemické analýzy (tab. 7) odpovídají údajům uváděným pro tuto minerální fázi (např. Dana 1892; Ross et al. 1992). Zjištěná průměrná hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.59$ se nachází ve spodní části rozmezí 0.59 - 0.62 uváděnému pro natrolit Albertim et al. (1982). Dominantním kationtem je Na (1.82 - 1.89 *apfu*), v malém množství byla zjištěna přítomnost Ca (0.06 - 0.13 *apfu*) a K (0 - 0.01 *apfu*). Empirický vzorec natrolitu z Hammerunterwiesenthalu (průměr šesti bodových analýz) lze na bázi 10 kyslíků vyjádřit jako $(Na_{1.83}Ca_{0.10})_{\Sigma 1.93}(Al_{2.07}Si_{2.94})_{\Sigma 5.01}O_{10} \cdot 2H_2O$.

Ve studovaném materiálu získaném během terénních prací v lomu Hammerunterwiesenthal byly dále zjištěny

Tabulka 6 Parametry základní cely natrolitu pro ortorombickou grupu *Fdd2*

	tato práce	Alberti et al. (1995)
<i>a</i> [Å]	18.368(5)	18.3469(70)
<i>b</i> [Å]	18.591(7)	18.5610(40)
<i>c</i> [Å]	6.594(4)	6.587(4)
<i>V</i> [Å ³]	2251(1)	2243.12

velmi hojně drúzy čirých pseudotetragonálních sloupcovitých krystalů natrolitu (obr. 11) často s tabulkovitými krystaly čirého **kalci**tu, který může být na první pohled zaměnitelný s opticky podobnými krystaly gibbsitu. Na jediném nalezeném vzorku s přítomností gibbsitu však krystalovaný kalciit zjištěn nebyl.

Tabulka 7 Chemické složení natrolitu z Hammerunterwiesenthalu (*hm. %*)

	mean	1	2	3	4	5	6
Na ₂ O	14.54	14.84	14.42	14.30	14.36	14.78	15.12
Al ₂ O ₃	26.98	26.80	27.07	26.75	27.17	27.11	26.79
SiO ₂	45.24	46.33	44.72	44.78	44.64	45.73	46.07
K ₂ O	0.04	0.03	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00
CaO	1.46	1.13	1.31	1.61	1.89	1.36	0.91
H ₂ O*	9.23	9.33	9.16	9.14	9.19	9.30	9.30
total	97.48	98.46	96.78	96.62	97.24	98.28	98.19
Na ⁺	1.832	1.848	1.831	1.818	1.816	1.847	1.889
Al ³⁺	2.067	2.029	2.089	2.068	2.090	2.059	2.035
Si ⁴⁺	2.940	2.977	2.928	2.937	2.913	2.947	2.970
K ⁺	0.003	0.002	0.008	0.004	0.000	0.000	0.000
Ca ²⁺	0.102	0.078	0.092	0.113	0.132	0.094	0.063
ΣNa+K+Ca	1.937	1.928	1.931	1.935	1.948	1.941	1.952
H ₂ O	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
T _{Si}	0.59	0.59	0.58	0.59	0.58	0.59	0.59

mean - průměr šest bodových analýz; H₂O* - obsahy dopočteny na bázi ideálního obsahu 2 H₂O; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 10 O *apfu*.

Závěr

V současné době opuštěný a zatápěný tefritový lom Hammerunterwiesenthal spolu s opuštěným lomem České Hamry, založeným na české straně stejného vulkanického tělesa, patřil dlouhá léta k významným a produktivním mineralogickým nalezištím, proslulým převážně výskytem krystalovaných ukázek zeolitů. Nový nález gibbsitu na této lokalitě patří vzhledem k charakteru tabulkovitých až 3.5 mm velkých čirých krystalů k mineralogicky zajímavému výskytu tohoto minerálního druhu. Je pravděpodobné, že výskyty gibbsitu byly na lokalitě Hammerunterwiesenthal během těžby četnější, avšak pro svůj nenápadný charakter a výraznou podobnost s tabulkovitým kalcitem mohl být přehlížen.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkování zaměstnancům firmy Richter & CO za vstřícné jednání při návštěvách lomu Hammerunterwiesenthal. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2015/02, 00023272).

Literatura

- Alberti A., Cruciani G., Dauri I. (1995) Order-disorder in natrolite-group minerals. *Eur. J. Mineral.* 7, 501-508.
- Alberti A., Pongiluppi D., Vezzalini G. (1982) The crystal chemistry of natrolite, mesolite and scolecite. *N. Jb. Mineral., Abh.* 143, 231-248.
- Čejka J., Sejkora J., Macek I., Frost R.L., López A., Scholz R., Xi Y. (2014) A vibrational spectroscopic study of a hydrated hydroxy-phosphate mineral fluellite, $\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. *Spectrochim. Acta A* 126, 157-163.
- Černý P., Černý P., Habermann V., Koloušek V., Ondruš P., Veselovský F. (2002) Mokrá u Žlutic, lokalita gibbsitu, böhmitu a zeolitů. *Minerál* 10, 6, 404-408.
- Dana E. S. (1892) Dana's system of mineralogy. (6th edition), John Wiley & sons, New York, 600-604.
- Haake R., Flach S., Bode R. (1994) Mineralien und Fundstellen Deutschland. Teil 2, 70. Bode Verlag, Haltern.
- Hoth K., Schellenberg F. (2006) Lagerstätte Hammerunterwiesenthal, geologische Situation. *Kartographie H. Eilers* 2008.
- Huneke J. T., Cramer R. E., Alavrez R., El-Swaify S. A. (1980) The identification of gibbsite and bayerite by laser Raman spectroscopy. *J. Soil Sci. Soc. Am.*, 44, 130-134.
- Keck E. (2004) Gonnardit aus dem Sächsischen Erzgebirge und aus Ostbayern. *Lapis* 29, 11, 41-43.
- Ksenofontov, D. A., Kabalov Y. K. (2012) Structure refinement and thermal stability of gibbsite. *Inorg. Mat.* 48, 2, 142-144.
- Larsen A. O. (1981) Boehmite from syenite pegmatites in the Oslo region, Norway. *Mineral. Record* 12, 227-230.
- 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.
- Li X., Zhao D., Yang S., Wang D., Zhou Q., Liu G. (2014) Influence of thermal history on conversion of aluminate species in sodium aluminate solution. *Transactions of Nonferrous Metals Society China* 24, 3348-3355.
- Libowitzky E. (1999) Correlation of O-H stretching frequencies and O-H...O hydrogen bond lengths in minerals. *Monats. Chem.* 130, 1047-1059.
- Nakamoto K. (2009) Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds, Part A. Theory and application in inorganic chemistry. Wiley Hoboken New Jersey, 432 s.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" (φρZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (J. T. Armstrong, ed.). 104-106, San Francisco Press, San Francisco.
- Ryskin Ya. I. (1974) The vibration of protons in minerals: hydroxyl, water and ammonium. In *The infrared spectra of minerals* (V.C. Farmer, ed.), 149-151, Mineralogical Society London.
- Rodgers K. A. (1992): Routine identification of aluminium hydroxide polymorphs with laser Raman microprobe. *Clay Minerals* 28, 85-99.
- Ruan H. D., Frost R. L., Kloprogge J. T. (2001) Comparison of the Raman spectra of bayerite, boehmite, diasporite and gibbsite. *J. Raman Spectrosc.* 32, 745-750.
- Rychlý R., Šrein V., Ulrych J. (1992) Amygdale cavity fillings of tephrite from České Hamry, Krušné hory Mts., Bohemia. *Acta Univ. Carol., Geol.* 1-2, 225-238.
- Saalfeld H., Wedde M. (1974) Refinement of the crystal structure of gibbsite, $\text{Al}(\text{OH})_3$. *Zeit. Krist.* 139, 129-135.
- Sipos P. (2009) The structure of Al(III) in strongly alkaline aluminate solutions - A review. *J. Molecular Liquids* 246, 1-14.
- Vrtiška L. (2015) České Hamry a Hammerunterwiesenthal: dvě významná naleziště zeolitů v Krušných horách. *Minerál*, 28, 6, 545-554.
- Witzke T. (1994) Neufunde aus Sachsen (II): Nordstrandit vom Bärenstein bei Annaberg in Sachsen. *Lapis* 19, 10, 36-39.
- www.geology.cz - mapový server České geologické služby; přístup říjen 2015.