

Haüyn z Lukova v Českém středohoří (Česká republika)

Haüyne from Lukov in České středohoří Mountains (Czech Republic)

PETR PAULIŠ^{1,2)*}, LUBOŠ VRTIŠKA²⁾, ROMAN GRAMBLIČKA³⁾, JIŘÍ SEJKORA²⁾, FERRY FEDIUK⁴⁾,
ONDŘEJ POUR⁵⁾ A RADANA MALÍKOVÁ²⁾

¹⁾Smiškovka 564, 284 01 Kutná Hora; *e-mail: petr.paulis@post.cz

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

³⁾Severočeské doly a.s., ul. 5. května 213, 418 29 Bílina

⁴⁾Na Petřínách 1897, 162 00 Praha 6

⁵⁾Česká geologická služba, Geologická 6, 152 00 Praha 5

PAULIŠ P, VRTIŠKA L, GRAMBLIČKA R, SEJKORA J, FEDIUK F, POUR O, MALÍKOVÁ R (2017) Haüyn z Lukova v Českém středohoří (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 25(1): 98-103 ISSN 2570-7337

Abstract

Dark blue grains of haüyne up to 6 mm in size were recently found in nepheline-tephrite at the classic locality Lukov in České středohoří Mountains (Czech Republic) in association with titanite aggregates (up to 2 mm in size). The unit cell parameter of haüyne, refined from the powder X-ray data, are $a = 9.093(3) \text{ \AA}$ and $V = 751.9(2) \text{ \AA}^3$. Chemical analyses of haüyne determined by EPMA-WDS correspond to the empirical formula $(\text{Na}_{5.64} \text{K}_{0.48} \text{Ca}_{1.52} \text{Fe}_{0.07} \text{Mg}_{0.01})_{\Sigma 12.00} [(\text{Al}_{5.94} \text{Si}_{6.06})_{\Sigma 12.00} \text{O}_{24}] (\text{SO}_4)_{1.75} [\text{F}_{0.05} \text{Cl}_{0.10} (\text{OH})_{0.01}]$.

Key words: haüyne, X-ray diffraction data, unit-cell parameters, chemical composition, Lukov, České středohoří Mts., Czech Republic

Obdrženo: 4. 8. 2017; **přijato:** 11. 9. 2017

Úvod

Lukov je klasickou mineralogickou lokalitou Českého středohoří, známou především výskytem velkých vyrostlic *čedičového amfibolu* (Kratochvíl 1961). Lokalita se nachází severně od obce, nad lesní cestou pod bazanitovými tělesy Mravenčího vrchu (660 m n. m.) a Velké skály (617 m n. m.). Naleziště tvoří rokliny příčné k cestě, v nichž na povrch vycházejí zjívovělé vulkanity a jejich pyroklastika obsahující krystaly amfibolu, augitu, biotitu a *rubelanu*. Lokalitu popisují již F. A. Reuss sen. (1790) a později i jeho syn A. E. Reuss (1840) jako naleziště amfibolu, *rubelanu* a kalcitu. Červenohnědý, silně alterovaný vulkanit na západním okraji lokality obsahuje značné množství poměrně velkých vyrostlic amfibolu, které se však z horniny špatně preparují. Nažloutlá, hnědavá silně zjívovělá vulkanoklastika obsahují až 5 cm velké lesklé černohnědé krystaly amfibolu spolu s drobnějším (do 2 cm) augitem (Janeček, Dvořák 2009; Radoň 2009). Ulrych s Kašparem (1977) klasifikovali amfiboly z Lukova jako *oxykaersutity* (= kaersutit) a *biotit* jako titanem bohatý flogopit. Z drobného tělesa sodalitického tefritu ze severního okolí Lukova, které je zakresleno v mapě Hibsche (1905a), zmiňuje Hibsche (1905b, 1934) též výskyt haüynu, kterému však nebyla nověji věnována větší pozornost.

Z minerálů sodalitové skupiny, tektosilikátů patřících spolu s nefelinem a leucitem k tzv. zástupcům živců (feldspatoidům čili foidům), zahrnujícím kromě řady variet tři základní druhy - sodalit, nosean a haüyn, se posledně jmenovaný vyznačuje na rozdíl od čistě sodného sodalitu a noseanu diadočním zastupováním Na a Ca. Makroskopicky ho často charakterizuje blankytně modrá barva.

Vzácně na některých zahraničních lokalitách nabývají krystaly haüynu až vysoce ceněnou drahokamovou podobu (např. Mařík 2016). Výrazná většina jeho výskytů, jimiž jsou SiO_2 nenasycené vulkanity alkalické řady foidit - fonolit, má však mikroskopické rozměry. Pod mikroskopem vystupuje obvykle v podobě automorfních šestibokých vyrostlic, často s úzkým vnějším tmavým „smutečním“ lemem, sítí tmavých jehliček v jádrech zrn a nezřídka s výraznou oscilační zonálností. Na rozdíl od sodalitu je výskyt haüynu striktně omezen na vulkanity, v plutonitech chybí. Název haüyn na počest francouzského mineraloga R. J. Haüyho (1743-1822) poprvé neúspěšně razil v r. 1807 de Neergard, ale definitivního uznání se tomuto jménu po peripetiích (C. G. Gismondi ho označoval též jako latialit, de Saussiere jako berzelinit) dostalo dílem J. D. Dany (1887). Nejběžnějšími doprovodnými minerály haüynu jsou nefelín, leucit a analcim, z tmavých minerálů egirín, asociace s křemenem je vyloučena.

České lokality haüynu, vesměs omezené na kenozoické alkalické vulkanity Českého masivu, jsou značně početné. Velké množství českých výskytů uvádí Bořický (1873, 1874), Kratochvíl (1957 - 1966), Hibsche (1931) aj. Haüyn předterciárního stáří není v Českém masivu znám. Za zmínku stojí, že se objevuje i v bazaltoidu (olivínem chudého nefelinitu) české národní ikonové dominanty Řípu (Ulrych et al. 1998). Zvlášť haüynem bohatý foidit vystupuje na kopci Hůrka u Sovolusk na Tepelské vrchovině (Fediuk 1998). Ovšem pokud jde o výskyt makroskopických rozměrů, je v daném ohledu naší nespochybnitelně nejvýznamnější lokalitou Lukov u Teplic, jíž je věnován tento příspěvek.

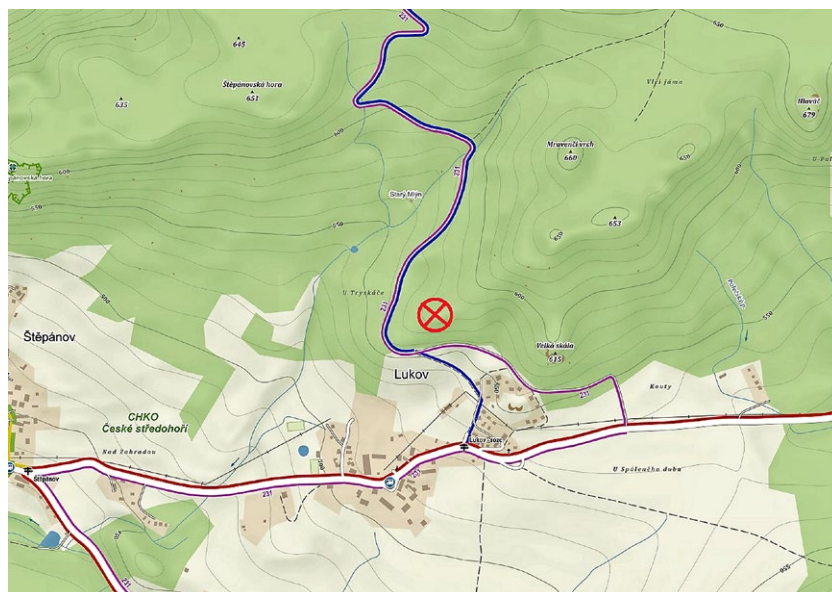
Popis a petrologie výskytu

V lednu 2016, při revizi této lokality, (znovu) objevil třetí z autorů (R. G.) v bazaltoidní hornině modrá zrna haüynu, která rozměrově překračují parametry běžné horninotvorné součásti. Lokalitou je drobná elevace na západním svahu Mravenčího vrchu (souřadnice: 50°31'54.75"N, 13°53'11.11"E; obr. 1), vzdálená jen několik desítek metrů od dvou půdních rýh, ve kterých vystupují alterované bazaltoidy s krystaly amfibolu. Zmíněnou elevaci tvoří výchoz drobného sopouchu, v němž je založen malý zašlý lůmek (obr. 2). Hornina zde má šedou až tmavě šedou barvu a nevýrazně sloupcovitou až deskovitou odlučnost. Je drobně a řídkce porfyrická, vyrostlice v ní tvoří izometrická zrna tmavomodrého haüynu o velikosti až 3 mm. Některé další čtenější vyrostlice haüynu tmavé, prakticky černé barvy, jsou podstatně drobnějších rozměrů do velikosti 1 mm. Základní hmota je velmi jemnozrná a její součásti jsou pod hranicí makroskopické rozlišitelnosti. Hornina neobsahuje dutiny či mandle, ojediněle se však objevují drobné světlé xenolity nepravidelně izometrických tvarů, připomínající křemenec nebo aplit o velikosti do 5 mm.

Z mikroskopického pohledu je hornina tvořena dvěma velikostními populacemi - vyrostlicemi a základní hmotou. Jako vyrostlice se objevuje především minerál sodalitové skupiny (haüyny), který jeví zřetelné náznaky automorfního šestibokého vývoje a jen ojediněle není alterován. V takovém případě na něm lze pozorovat úzký blankytně modrý okrajový lem a většinový bezbarvě čirý izotropní vnitřek. Ve své drtivé převaze je však silně opacitizován (prostoupen tmavým rudním pigmentem). Tato opacitizace v první fázi svého vývoje postihuje okraje vyrostlice, ve finální fázi vyplňuje celé zrno. Velikost těchto vyrostlic je většinou v prvních desetínách mm, občas však dosahuje velikosti až 3 mm. Nehojně se objevují drobné vyrostlice hnědé

Obr. 2 Lukov - zašlý lůmek v místě výchozu žilného vulkanitu, foto R. Gramblička, 2016.

Obr. 3 Lukov - západní svah pod lůmkem, foto R. Gramblička, 2016.



Obr. 1 Topografická mapa s vyznačením výskytu haüynu u Lukova, zdroj: www.mapy.cz.





Obr. 4 Lukov - jižní svah s balvanů tefritu, foto R. Gramblička, 2016.



Obr. 5 Protáhlé zrna haüynu s titanitem z Lukova, velikost 4 × 1 mm, foto M. Kunz.



čedičového amfibolu, který má zčásti automorfně sloupcovitý habitus, zčásti (a to většinou) bývá magmatickou korozí zaoblen. Množství vyrostlic lze odhadnout zhruba na 20 % celkového objemu horniny. Základní hmota je tvořena klinopyroxenem, nefelínem, plagioklasem a rudou. Klinopyroxen je nejhodněji zastoupenou minerální součástí základní hmoty. Tvoří nepravidelné sloupečky o rozměrech v prvních setinách mm, má hnědavou barvu. Po kvantitativní stránce je na druhém místě nefelín, vystupující v xenomorfních mikrozrnech. V odstupu následuje plagioklas o bazicitě odpovídající nejspíš kyselému labradoritu. Je tenké lištovitý o délce do 0.05 mm. Početnou minerální složkou o podílu cca 8 % celkového objemu horniny je rudní minerál (zřejmě magnetit). Ze všech minerálů základní hmoty je nejdrobnější (kolem 0.01 mm). Jeho mikrozrna jsou izometrická a jeví tendenci k automorfnímu vývoji. Struktura horniny je drobně porfyrická s mikrokystalickou strukturou základní hmoty, textura je všesměrná. Akcesoricky byl zjištěn též titanit. Horninu lze klasifikovat (ve shodě s původním Hibschoým popisem) jako sodalitický (haüynický) nefelinický tefrit.

Metodika výzkumu

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

Chemické složení haüynu bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta, MU

Obr. 6 Protáhlé zrna haüynu z Lukova, šířka záběru 3.7 mm, foto L. Vrtiška.

Brno, analytik R. Škoda a J. Sejkora) za podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 10 nA, průměr svazku 10 μ m, standardy: baryt (BaLa), albit (NaKa), sanidin (SiKa AlKa, KKa), spessartin (MnKa), pyrop (MgKa), almandin (FeKa), SrSO₄ (SrLa, SKa), titanit (TiKa), vanadinit (ClKa), wollastonit (CaKa) a topaz (FKa). Obsahy prvků, které nejsou zahrnuty v tabulkách, byly kvantitativně analyzovány, ale zjištěné obsahy byly pod mezí detekce přístroje (cca 0.01 - 0.05 hm. %). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Charakteristika zjištěné mineralizace

Haüyn se v hornině vyskytuje značně nepravidelně, ve větším množství je vázán na deskovitou, drobně zrnitou formu horniny. Vytváří idiomorfne až hypidiomorfne vyvinuté krystaly ve tvaru dodekaedru či oktaedru, časté jsou i v řezu podélné vyrostlice (obr. 5, 6) zřídka i větší kostrovité krystaly. Drobné krystaly velikosti okolo 1 mm mívají až šperkovou kvalitu (obr. 7), většinou jsou ale rozpuštěné (obr. 8). Barva je sytě modrá, některé krystaly bývají barevně zonální s čirým jádrem a modrým okrajem, což může naznačovat zonalitu chemického složení. Velikost krystalů se běžně pohybuje mezi 0.5 - 2 mm, protáhlé vyrostlice a kostrovitá zrna dosahují velikosti až 6 mm. Průvodním minerálem je titanit (určen EDS analýzou), tvořící světlé až tmavě žluté psaníčkovité krystaly a zrna do 2 mm velikosti (obr. 9). Partie s nejbohatším výskytem haüynu se vyskytují na jižním a západním svahu elevace ve svahových sutích (obr. 3, 4), méně hojný je pak haüyn v drobných skalních výchozech. Materiál odkrytý v lůmku lepší možnosti sběru neposkytuje.

Rentgenová prášková data haüynu z Lukova (tab. 1) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněný parametr (tab. 2) dobře odpovídá publikovaným údajům pro tuto minerální fázi (Evsyunin et al. 1996) a je zřetelně odlišný od hodnot uváděných pro chemicky blízký lazurit (Gaines et al. 1997).

Haüyn je člen skupiny sodalitu s obecným vzorcem $A_8T_{12}O_{24}X_2$ (Fleet



Obr. 7 Zrno haüynu z Lukova, velikost 1 mm, foto M. Kunz.



Obr. 8 Rozpraskané zrno haüynu z Lukova, šířka záběru 2.3 mm, foto L. Vrtiška.



Obr. 9 Zrno titanitu z Lukova, velikost 2 mm, foto L. Vrtiška.

et al. 2005) se čtyřmi koncovými členy s ideálními vzorci a s parametry základní cely uvedenými v práci Gainese et al. (1997): $\text{Na}_8[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]\text{Cl}_2$, a 8.882 Å (sodalit); $\text{Na}_8[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}](\text{SO}_4)\cdot\text{H}_2\text{O}$, a 9.084 Å (nosean); $\text{Na}_6\text{Ca}_2[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}](\text{SO}_4)_2$, a 9.116 Å (haüyn) a $\text{Na}_6\text{Ca}_2[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]\text{S}_2$, a 8.882 Å (lazurit). Při studiu chemického složení haüynu z Lukova (tab. 3) byly na pozici A zjištěny dominantní obsahy Na v rozmezí 5.08 - 5.98 *apfu*, Ca (1.14 - 1.69 *apfu*) a K v rozsahu 0.29 - 0.93 *apfu*. Minoritně zde vystupuje

také Fe (do 0.16 *apfu*) a Mg (do 0.03 *apfu*). Na pozici X dominantně vystupuje (SO_4) v rozmezí 1.57 - 1.84 *pfu* a zjištěny byly i minoritní obsahy Cl (do 0.20 *apfu*) a F (do 0.06 *apfu*). Základním předpokladem pro odlišení studovaného haüynu od chemicky obtížně rozlišitelného lazuritu bylo genetické prostředí studovaného haüynu. U haüynu se za prostředí vzniku obecně považují vulkanické horniny, lazurit se naopak vyskytuje převážně v prostředí kontaktně metamorfovaných vápenců.

Tabulka 1 Rentgenová prášková data haüynu z Lukova

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>l</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>l</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>l</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
0	1	1	6.414	13	6.430	3	1	2	2.4301	5	2.4302	0	4	4	1.6083	5	1.6074
0	0	2	4.541	2	4.547	0	0	4	2.2736	3	2.2733	4	3	3	1.5598	2	1.5595
1	1	2	3.709	100	3.712	0	3	3	2.1432	13	2.1433	2	4	4	1.5154	1	1.5155
2	0	2	3.214	1	3.215	3	2	3	1.9380	1	1.9387	5	2	3	1.4752	2	1.4751
3	0	1	2.875	9	2.875	2	2	4	1.8558	<1	1.8561	1	4	5	1.4034	<1	1.4031
2	2	2	2.624	18	2.625	3	1	4	1.7836	4	1.7833	0	3	7	1.3521	<1	1.3518
2	0	3	2.517	<1	2.522	2	1	5	1.6611	1	1.6602						

Tabulka 2 Parametry základní cely haüynu (pro kubickou prostorovou grupu P-43n)

	tato práce	Evsyunin et al. (1996)
<i>a</i> [Å]	9.093(3)	9.118(2)
<i>V</i> [Å ³]	751.9(2)	758.05

Tabulka 3 Chemické složení haüynu z Lukova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Na ₂ O	15.92	14.40	16.13	14.93	16.19	16.94	15.39	16.33	16.41	16.57
K ₂ O	2.04	3.99	2.35	3.51	1.51	1.24	1.78	1.45	1.27	1.30
CaO	7.75	5.84	6.36	6.20	8.64	8.63	8.56	8.45	8.57	8.50
FeO	0.43	1.04	0.82	0.86	0.21	0.19	0.16	0.20	0.20	0.20
MgO	0.03	0.10	0.00	0.05	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.05
Al ₂ O ₃	27.57	27.58	27.53	27.51	27.57	27.61	27.40	27.53	27.42	28.00
SiO ₂	33.19	33.39	33.07	33.02	33.24	33.34	33.07	32.95	33.03	33.56
SO ₃	12.77	11.52	11.96	12.05	13.28	13.24	13.14	13.37	13.21	13.12
F	0.09	0.10	0.10	0.09	0.10	0.06	0.09	0.06	0.07	0.10
Cl	0.31	0.64	0.54	0.64	0.14	0.16	0.15	0.20	0.15	0.16
H ₂ O*	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
F=O	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.03	-0.04	-0.03	-0.03	-0.04
Cl=O	-0.07	-0.14	-0.12	-0.14	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04
total	100.00	98.41	98.70	98.67	100.83	101.46	99.68	100.46	100.27	101.48
Na	5.639	5.083	5.729	5.307	5.730	5.983	5.478	5.809	5.841	5.791
K	0.476	0.927	0.550	0.821	0.350	0.289	0.417	0.339	0.296	0.298
Σ	6.115	6.011	6.279	6.128	6.080	6.272	5.895	6.148	6.137	6.089
Ca	1.517	1.139	1.248	1.217	1.689	1.685	1.684	1.660	1.686	1.642
Fe	0.066	0.159	0.126	0.132	0.031	0.029	0.025	0.030	0.031	0.030
Mg	0.008	0.027	0.000	0.013	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.015
Σ	1.591	1.324	1.374	1.362	1.730	1.723	1.709	1.691	1.717	1.687
Al	5.937	5.919	5.942	5.945	5.932	5.927	5.929	5.953	5.935	5.950
Si	6.063	6.081	6.058	6.055	6.068	6.073	6.071	6.047	6.065	6.050
Σ	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
S	1.750	1.575	1.644	1.658	1.820	1.809	1.811	1.841	1.821	1.775
F	0.049	0.057	0.057	0.052	0.055	0.035	0.051	0.037	0.043	0.056
Cl	0.096	0.197	0.166	0.199	0.044	0.048	0.047	0.062	0.047	0.050
OH	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.089	0.000	0.000	0.000	0.000
Si/Al	1.024	1.028	1.019	1.018	1.023	1.025	1.024	1.016	1.022	1.017

Mean - průměr uvedených bodových analýz, koeficienty empirických vzorců počítány na bázi (Si+Al) = 12 *apfu*, obsah H₂O* dopočítán na základě vyrovnání nábojů.

Empirický vzorec haüynu z Lukova (průměr 9 bodových analýz) je na bázi $Si+Al=12$ apfu možno vyjádřit jako $(Na_{5.64}K_{0.48})_{\Sigma 6.12}(Ca_{1.52}Fe_{0.07}Mg_{0.01})_{\Sigma 1.60}[(Al_{5.94}Si_{6.06})_{\Sigma 12.00}O_{24}](SO_4)_{1.75}[F_{0.05}Cl_{0.10}(OH)_{0.01}]$.

Oproti chemickému složení haüynu z klasické lokality Vesuvu, které nově publikovali Balassone et al. (2016), obsahuje studovaný haüyn z Lukova menší obsahy K_2O a CaO , naopak větší jsou obsahy Na_2O a nepatrně zvýšený je i poměr Si/Al (z 0.99 na 1.02). Jen malé diference v chemickém složení má haüyn z Lukova ve srovnání s haüyny z fonolitu Laacher See v Německu (Baudouin, Parat 2015).

Závěr

Na klasické Hibschově lokalitě u Lukova v Českém středohoří byla nově v haüynovém nefelinickém tefritu nalezena až 6 mm velká zrna tmavě modrého minerálu sodalitové skupiny, který byl mineralogickým výzkumem určen jako haüyn. Spolu s ním se objevují až 2 mm velké vyrostlice titanitu. Haüyn z Lukova má obdobné chemické složení jako haüyn z klasické lokality ve fonolitech německého vulkánu Laacher See.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat Martinu Kunzovi za poskytnutí fotografií a Mgr. Radku Škodovi, Ph.D. za analytickou práci na elektronové mikroskopě na ÚGV MU v Brně. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2017/02, 00023272).

Literatura

- BALASSONE G, BELLATRECCIA F, OTTOLINI L, MORMONE A, PETTI C, GHIARA MR, ALTOMARE A, SAVIANO M, RIZZI R, D'ORAZIO L (2016) Sodalite-group minerals from Somma-Vesuvius volcano (Naples, Italy): a combined EPMA, SIMS, and FTIR crystal-chemical study. *Can Mineral* 54: 586-604
- BAUDOUIN C, PARAT F (2015) Role of volatiles (S, Cl, H₂O) and silica activity on the crystallization of haüyne and nosean in phonolitic magmas (Eifel, Germany and Saghro, Morocco). *Am Mineral* 100: 2308-2322
- BOŘICKÝ E (1873) Petrographische Studien an den Basaltgesteinen Böhmens. *Archiv d Naturwiss Landesdurchf V Böhmen*, II
- BOŘICKÝ E (1874) Petrografická studia znělcového horstva v Čechách. *Archiv přírodověd Výzk Čech III*
- DANA JD (1887) *Manual of mineralogy and lithology*. 4th ed. Trübner and Co, London
- EVSYUNIN VG, SAPOZHNIKOV AN, RASTSVETAeva RK, KASHAEV AA (1996) Crystal structure of the potassium-rich haüyne from Arissia (Italy). *Kristallografiya* 41: 659-662
- FEDIUK F (1998) Haüyno-analcimit z Hůrky u Sovolusk na Tepelské vrchovině. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 6: 182-187
- FLEET ME, LIU X, HARMER SL, NESBITT HW (2005) Chemical state of sulfur in natural and synthetic lazurite by S K-edge xanes and X-ray photoelectron spectroscopy. *Can Mineral* 43: 1589-1603
- GAINES RV, SKINNER HCW, FOORD EE, MASON B, ROSENZWEIG A (1997) *Dana's New Mineralogy* (8th ed.) John Wiley and Sons. New York
- HIBSCH JE (1905a) Geologische Karte des Böhmischen Mittelgebirges. Blatt XI. Umgebung von Kostenblatt-Milleschau. *Tschermaks mineral petrogr Mitt XXIV Bd, Wien*
- HIBSCH JE (1905b) Erläuterungen zur geologischen Karte des Böhmischen Mittelgebirges. Blatt XI. Umgebung von Kostenblatt-Milleschau. *Tschermaks mineral petrogr, Wien*
- HIBSCH JE (1931) *Die Minerale des Böhmischen Mittelgebirges*. Jena
- JANEČEK O, DVOŘÁK Z (2009) Čedičový amfibol a augit v Českém středohoří. *Minerál 17(2)*: 159-165
- KRATOCHVÍL J (1957-1966) *Topografická mineralogie Čech I-VIII*. NČSAV, Praha
- 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
- MARÍK K (2016) *Encyklopedie drahých kamenů*. Nakl. Plot, Praha, 296
- POUCHOU JL, PICOIR F (1985) "PAP" (φρZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (Armstrong JT, ed.). San Francisco Press, San Francisco, 104-106
- RADOŇ M (2009) Významné mineralogické lokality Českého středohoří. *Minerál 17(2)*: 106-126
- REUSS AE (1840) *Geognostische Skizzen aus Böhmen*. I. Band. Die Umgebungen von Teplitz und Bilin in Beziehung auf ihre geognostischen Verhältnisse. Ein Beitrag zur Physiographie des böhmischen Mittelgebirges. Prag, Leitmeritz und Teplitz
- REUSS FA (1790) *Orographie des Nordwestlichen Mittelgebirges in Böhmen*. Dresden, 180
- ULRYCH J, KAŠPAR P (1977) Physical and chemical properties of the oxykaersutite from Lukov, NW Bohemia, Czechoslovakia. *Acta Univ Carol Geol* 3-4: 245-265
- ULRYCH J, PIVEC E, LANGROVÁ A, JELÍNEK E, ÁRVA-SÓS E, HÖHNDORF A, BENDL J, ŘANDA Z (1998) Geochemically anomalous olivine-poor nephelinite of Říp hill, Czech Republic. *J Czech geol Soc* 43(4): 299-311