

# Cowlesit a doprovodná mineralizace z vrchu Hackenberg u České Kamenice (Česká republika)

## Cowlesite and accompanying mineralization from the Hackenberg hill near Česká Kamenice (Czech Republic)

PETR PAULIŠ<sup>1,2)\*</sup>, LIBOR HRŮZEK<sup>3)</sup>, OLDŘICH JANEČEK<sup>4)</sup>, JIŘÍ SEJKORA<sup>2)</sup> A RADANA MALÍKOVÁ<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Smíškova 564, 284 01 Kutná Hora; \*e-mail: petr.paulis@post.cz

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

<sup>3)</sup>Pobřežní 1016, 471 14 Kamenický Šenov

<sup>4)</sup>Albrechtická 613, 434 01 Most

PAULIŠ P., HRŮZEK L., JANEČEK O., SEJKORA J., MALÍKOVÁ R. (2014) Cowlesit a doprovodná mineralizace z vrchu Hackenberg u České Kamenice (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 22, 2, 248-260. ISSN 1211-0329.*

### Abstract

Nine zeolites were found at the Hackenberg hill, a very interesting mineralogical site located 2 km southwest from Česká Kamenice (northern Bohemia, Czech republic). These zeolites were found in the cavities which are located at the contact of basalt, volcanic tuffs and breccia. Cowlesite forms white hemispherical aggregates with size up to 10 mm, which belongs to the world's largest examples of this species. The unit cell parameters of cowlesite, refined from powder X-ray data, are  $a$  11.267(7),  $b$  15.255(7),  $c$  11.992(8) Å and  $V$  2061(5) Å<sup>3</sup>. Chemical analyses of cowlesite correspond to the empirical formula  $\text{Ca}_{0.90}\text{Na}_{0.12}\text{Mg}_{0.01}\text{K}_{0.01}(\text{Al}_{1.89}\text{Si}_{3.10})\text{O}_{10} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ . Lévyne-Ca forms hexagonal tabular colorless crystals with an average size of 2 - 4 mm. The unit cell parameters of lévyne-Ca, refined from powder X-ray data, are  $a$  13.330(3),  $c$  23.0122(3) Å and  $V$  3541.3(9) Å<sup>3</sup>. Its empirical formula is  $\text{Ca}_{2.76}\text{K}_{0.68}\text{Na}_{0.17}\text{Sr}_{0.02}(\text{Si}_{14.46}\text{Al}_{6.36})\text{O}_{36} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ . Erionite-Ca forms white epitaxial aggregates on the surface (0001) of lévyne-Ca crystals. These aggregates are composed of fine needles oriented perpendicular to the surface of lévyne-Ca. Its chemical analyses correspond to the empirical formula  $\text{Ca}_{2.76}\text{K}_{0.68}\text{Na}_{0.17}\text{Sr}_{0.02}(\text{Si}_{14.46}\text{Al}_{6.36})\text{O}_{36} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ . Gismondine, the rarest mineral found at this site, forms typical colorless to whitish dipyrmidal crystals with size up to 1 mm. The unit cell parameters of gismondine, refined from powder X-ray data, are  $a$  10.021(2),  $b$  10.630(3),  $c$  9.828(3) Å,  $\beta$  92.51° and  $V$  1045.8(5) Å<sup>3</sup>. Chemical analyses of gismondine correspond to the empirical formula  $\text{Ca}_{1.98}\text{Na}_{0.06}(\text{Si}_{4.10}\text{Al}_{3.85})\text{O}_{16} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . Thomsonite-Ca forms colorless to yellowish tabular crystals and hemispherical aggregates. The unit cell parameters of thomsonite-Ca, refined from powder X-ray data are  $a$  13.104(2),  $b$  13.056(1),  $c$  13.247(2) Å and  $V$  2266.4(6) Å<sup>3</sup>. The empirical formula of thomsonite-Ca can be expressed as  $\text{Ca}_{1.78}\text{Sr}_{0.05}\text{Na}_{1.12}(\text{Al}_{4.69}\text{Si}_{5.29})\text{O}_{20} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Phillipsite-K forms typical columnar colorless to whitish crystals with a size 1 - 2 mm. The unit cell parameters of phillipsite-K, refined from powder X-ray data, are  $a$  9.917(4),  $b$  14.314(8),  $c$  8.737(4) Å,  $\beta$  124.920° and  $V$  1016.9(9) Å<sup>3</sup>. Chemical analyses of phillipsite-K correspond to the empirical formula  $\text{K}_{1.95}\text{Ca}_{1.91}\text{Na}_{0.12}(\text{Si}_{10.09}\text{Al}_{5.91})\text{O}_{32} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Chabazite-Ca forms colorless glassy rhombohedron. The unit cell parameters of chabazite-Ca, refined from powder X-ray data, are  $a$  13.837(6),  $c$  15.0073(4) Å and  $V$  2488(1) Å<sup>3</sup>. Its empirical formula is  $\text{Ca}_{1.54}\text{Na}_{0.20}\text{K}_{0.14}\text{Sr}_{0.04}(\text{Al}_{3.46}\text{Si}_{8.53})\text{O}_{24} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ . Natrolite forms whitish needles and hemispheres of up to 1 cm, which fill in cavities up to 5 cm. The unit cell parameters of natrolite, refined from powder X-ray data are  $a$  18.376(5),  $b$  18.552(5),  $c$  6.585(2) Å and  $V$  2244(1) Å<sup>3</sup>. The empirical formula can be expressed as  $\text{Na}_{1.79}\text{Ca}_{0.10}(\text{Si}_{3.01}\text{Al}_{1.99})\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Analcime occurs in the cavities together with larger hemispheres of cowlesite and lévyne-Ca and it forms whitish lenticular crystals. The unit cell parameters of analcime, refined from powder X-ray data are  $a$  13.703(5) Å and  $V$  573(1) Å<sup>3</sup>. Chemical analyses of analcime correspond to the empirical formula  $\text{Na}_{0.90}\text{K}_{0.01}(\text{Al}_{0.93}\text{Si}_{2.07})\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

**Key words:** cowlesite, lévyne-Ca, erionite-Ca, gismondine, thomsonite-Ca, phillipsite-K, chabazite-Ca, natrolite, analcime, powder X-ray diffraction data, unit-cell parameters, chemical composition, Hackenberg near Česká Kamenice, Czech Republic

Obdrženo: 4. 9. 2014; přijato: 19. 11. 2014

### Úvod

Vrch Hackenberg (351 m n. m.) se nachází mezi Dolní Kamenicí a Kamenickou Novou Vískou, asi 2 km zjz. od České Kamenice (obr. 1) v severních Čechách (Česká republika). Jedná se o malý zalesněný vršek (obr. 2), který tvoří proniky čediče do starší alterované vulkanické brekcie. Okolí je tvořeno písčitymi sedimenty svrchní křídly. Po

celém obvodu vrchu je založena řada malých lomů (obr. 3), v nichž byl pro místní potřeby příležitostně lámán kámen. Podle pamětníků byla těžena i alterovaná vulkanická brekcie a využívána pro hnojení. Hackenberg je jednou z mnoha zapomenutých historických lokalit v širším okolí České Kamenice, s téměř dvousetletou sběratelskou historií. Z Hackenbergu velmi pravděpodobně pochází



Obr. 1 Situační plán lokality Hackenberg.

Obr. 2 Celkový pohled na Hackenberg. Foto L. Hružek, 2014.



Obr. 3 Jeden z drobných lůmků na Hackbergu. Na záběru je spoluautor L. Hružek. Foto P. Pauliš, 2014.



velká část historických vzorků, za jejichž naleziště byly udávány obce Markvartice, Dolní Kamenice, Kamenická Nová Víska nebo naleziště Hachenberg, Lettenbügel či Lettenbüschel. Z některé z těchto lokalit pochází i lévynu, o kterém informují zprávy již z první poloviny 19. století. Vzorek, který se nachází ve sbírce Národního muzea v Praze, je bez bližší lokalizace a získal ho F. X. Zippe. Ten jej popsal v letech 1829 a 1839 (in Kratochvíl 1960), dále jej publikovali Slavík (1926) a Hibsich (1934). Ke znovuobjevení této a dalších lokalit v okolí České Kamenice přispěli druhý a třetí ze spoluautorů této studie, kteří se snažili objevit původní lokalitu lévynu. Pokusy o nalezení lévynu v České Kamenici skončily pozitivně v roce 2007 na Hackbergu a později i na dalších lokalitách v okolí (např. Janeček, Hružek 2008). V asociaci s lévynem byla na této lokalitě zjištěna řada dalších druhů zeolitů.

### 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 $\alpha$  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, upřesněny profilovým fitováním v programu





HighScore Plus a indexovány na základě teoretického záznamu vypočteného programem Poudrix (Laugier, Bochu 2011). Mřížkové parametry byly vypřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Celref (Laugier, Bochu 2011).

Chemické složení většiny zeolitů bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta, MU Brno, analytik J. Sejkora) za podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 5 nA, průměr svazku 10  $\mu\text{m}$ , standardy: baryt ( $\text{BaLa}$ ), albit ( $\text{NaKa}$ ), sanidin ( $\text{AlKa}$ ), spessartin ( $\text{SiKa}$ ,  $\text{MnKa}$ ),  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  ( $\text{MgKa}$ ), fluorapatit ( $\text{PKa}$ ,  $\text{CaKa}$ ), almadin ( $\text{FeKa}$ ), gahnit ( $\text{ZnKa}$ ) a topaz ( $\text{FKa}$ ). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985). Vyšší sumy chemických analýz po dopočtu teoretického obsahu vody jsou vyvolány částečnou dehydratací studovaných vzorků ve vakuu elektronového mikroanalýzátoru.

Chemické složení erionitu-Ca bylo sledováno na energiově disperzním (EDS) mikroanalýzátoru Bruker Quantax (elektronová mikrosonda Cameca SX 100, Národní muzeum) operujícím při urychlovacím napětí 15 kV. Výsledky analýz byly po dopočtu teoretického obsahu  $\text{H}_2\text{O}$  přepočteny na 100 hm. %.



**Obr. 4** Cowlesit z Hackenbergu. Velikost dutiny 10  $\times$  5 mm. Foto P. Fuchs.

**Obr. 5** Cowlesit z Hackenbergu. Velikost dutiny 10  $\times$  6 mm. Foto P. Fuchs.

**Obr. 6** Cowlesit s analcimem z Hackenbergu. Velikost cowlesitu 6 mm. Foto P. Fuchs.

### Charakteristika cowlesitu a doprovodné zeolitové mineralizace

Čerstvý čedič v lůmcích, ale i skalních výchozech, běžně obsahuje drobné dutiny se zeolity. Každé dílčí naleziště má svůj vlastní charakter mineralizace a vzhled dutin. Bohatší a mineralogicky zajímavější jsou hlavně kontakty čedičových žil s vulkanickou brekcií a tufy. Do vzdálenosti 10 až 20 cm od kontaktu je vulkanit plný drobných dutin a mandlí se zeolity a kalcitem. Směrem k brekcií jejich velikost roste. Typický je výskyt dutin s různým obsahem minerálů hned vedle sebe; zjištěny zde dosud byly: analcim, cowlesit, gismondin, chabazit-Ca, kalcit, lévyn-Ca, natrolit, erionit-Ca, phillipsit-K a thomsonit-Ca.

Nejzajímavějším zeolitem této lokality je **cowlesit**, pro který je Hackenberg v pořadí druhou českou lokalitou. Poprvé byl zjištěn na Farském vrchu u Žežic (Ry-

povrchem připomínající thomsonit. Jde o mimořádně velké agregáty i ve světovém měřítku. Po rozštípnutí těchto plochých dutin se většinou objeví bezbarvý radiálně praprsčitý agregát cowlesitu s charakteristickým perleťovým leskem, na který často narůstají lévyn-Ca, chabazit-Ca a analcim.

Rentgenová prášková data cowlesitu z Hackenbergu (tab. 1) odpovídají teoretickému záznamu vypočtenému ze strukturních dat (Wise et al. 1975). Zpřesněné parametry studovaného cowlesitu dobře odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi (tab. 2). V BSE obraze je studovaný minerál chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 3) byly zjištěny obsahy pouze Si, Al, Ca, K, Mg a Na; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec cowlesitu z Hackenbergu (průměr tří bodových analýz) je na bázi 10 kyslíků

Tabulka 1 Rentgenová prášková data cowlesitu z Hackenbergu

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> <sub>obs.</sub>	<i>l</i> <sub>obs.</sub>	<i>d</i> <sub>calc.</sub>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> <sub>obs.</sub>	<i>l</i> <sub>obs.</sub>	<i>d</i> <sub>calc.</sub>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> <sub>obs.</sub>	<i>l</i> <sub>obs.</sub>	<i>d</i> <sub>calc.</sub>
0	1	0	15.197	100	15.255	2	0	3	3.259	1	3.260	0	3	5	2.1694	<1	2.1692
1	0	0	11.465	2	11.266	2	4	0	3.150	2	3.158	0	2	6	1.9332	<1	1.9333
1	0	1	8.112	3	8.211	3	1	2	3.111	2	3.116	2	4	5	1.9106	1	1.9100
0	2	0	7.632	12	7.628	2	4	1	3.056	7	3.054	0	3	6	1.8610	<1	1.8601
2	0	0	5.670	1	5.633	0	5	1	2.964	11	2.957	1	8	2	1.7946	<1	1.7940
0	3	0	5.090	10	5.085	3	3	1	2.932	2	2.930	3	1	6	1.7533	<1	1.7526
2	1	1	4.819	1	4.836	4	0	0	2.820	2	2.817	0	9	0	1.6943	<1	1.6950
0	2	2	4.711	4	4.714	2	4	2	2.798	1	2.794	2	6	5	1.6673	<1	1.6665
2	2	0	4.507	1	4.531	4	0	1	2.742	2	2.742	6	5	1	1.5852	<1	1.5851
2	2	1	4.266	1	4.239	2	5	1	2.622	1	2.618	3	9	1	1.5296	1	1.5323
2	0	2	4.071	6	4.106	0	6	0	2.545	<1	2.543	0	10	0	1.5254	<1	1.5255
0	4	0	3.818	12	3.814	3	5	1	2.3275	<1	2.3232	6	3	4	1.5180	<1	1.5187
3	1	0	3.652	6	3.647	1	6	2	2.2917	1	2.2918	7	1	3	1.4862	<1	1.4859
1	4	1	3.459	9	3.459	3	4	3	2.2205	1	2.2236						

Tabulka 2 Parametry základní cely cowlesitu (pro ortorombickou prostorovou grupu Pmmm)

	tato práce	Wise et al. (1975)
<i>a</i> [Å]	11.267(7)	11.27(1)
<i>b</i> [Å]	15.255(7)	15.25(1)
<i>c</i> [Å]	11.992(8)	12.61(3)
<i>V</i> [Å <sup>3</sup> ]	2061(2)	2062.41

chlý, Tschernich 1998, 1999; Rychlý et al. 1996, 1999). V současnosti se počet lokalit tohoto poměrně vzácného zeolitu rozšířil o další naleziště v okolí České Kamenice. Jedná se o Malou Hůrku (Janeček, Hružek 2009b), Eschlers Bergel (Hružek et al. 2013), Rollberg (Hružek, Janeček 2013) a Lysou horu u Bělé pod Bezdězem (Janeček, Hružek 2009a).

Na Hackenbergu se cowlesit vyskytuje pouze lokálně ve dvou formách. V dutinách se objevuje většinou samostatně v souvislých výstelkách, tvořených drobnými hemisférickými a štětičkovitými agregáty s charakteristickým čistým bělavým nerovným povrchem (obr. 4, 5 a 6). Největší nalezená dutina dosáhla rozměru 15 × 8 mm. Vzácněji se cowlesit vyskytuje v dutinách spolu s lévynem-Ca, analcitem a chabazitem-Ca, které ho porůstají. V těchto dutinách (největší o rozměrech 30 × 10 mm) byly nalezeny poměrně velké (obvykle kolem 5 mm, maximálně až 10 mm) hemisférické agregáty cowlesitu s hladkým

Tabulka 3 Chemické složení cowlesitu z Hackenbergu (hm. %)

	mean	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	48.90	48.52	48.76	49.41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.28	25.13	25.60	25.11
CaO	13.27	12.96	13.58	13.26
MgO	0.12	0.12	0.12	0.13
K <sub>2</sub> O	0.09	0.08	0.08	0.12
Na <sub>2</sub> O	0.94	0.93	0.94	0.96
H <sub>2</sub> O	18.93	18.74	19.00	19.02
total	107.53	106.48	108.08	108.01
Si <sup>4+</sup>	3.098	3.104	3.077	3.115
Al <sup>3+</sup>	1.887	1.895	1.904	1.866
Ca <sup>2+</sup>	0.901	0.888	0.918	0.896
Mg <sup>2+</sup>	0.011	0.012	0.011	0.012
K <sup>+</sup>	0.008	0.006	0.006	0.010
Na <sup>+</sup>	0.116	0.115	0.115	0.117
ΣCa+Mg+K+Na	1.036	1.021	1.050	1.035
H <sub>2</sub> O	4	4	4	4
Si/Al	1.641	1.638	1.616	1.669
T <sub>Si</sub>	0.62	0.62	0.62	0.62

Empirické vzorce jsou přepočteny na bázi 10 kyslíků. H<sub>2</sub>O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 4 H<sub>2</sub>O.



Obr. 7 Chabazit-Ca z Hackenbergu. Velikost krystalu 12 mm. Foto L. Hrůzek.



Obr. 8 Chabazit-Ca z Hackenbergu. Velikost největšího krystalu 14 mm. Foto L. Hrůzek.

možno vyjádřit jako  $\text{Ca}_{0.90}\text{Na}_{0.12}\text{Mg}_{0.01}\text{K}_{0.01}(\text{Al}_{1.89}\text{Si}_{3.10})\text{O}_{10} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Analyzovaný cowlesit má oproti ideálnímu složení, které je vyjádřené chemickým vzorcem -  $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_3)\text{O}_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , nevelký deficit  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Obdobné, ale často i větší rozdíly v chemickém složení zeolitů, jsou poměrně běžným jevem, způsobeným rozdílnou distribucí vyměnitelných kationtů, stupně uspořádanosti hliníku a křemíku v tetraedrech kostry zeolitu apod. (Gottardi 1978; Gottardi, Galli 1985; Tschernich 1992). Hodnota  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.62$  cowlesitu z Hackenbergu se nachází při horní hranici rozmezí uváděného pro tento minerální druh (0.60 - 0.62) (Coombs et al. 1997).

Nejhojnějšími zeolity lokality jsou chabazit-Ca a phillipsit-K. Historické vzorky chabazitu-Ca z velkých dutin z kontaktu jedné z již vydobytých čedičových žil s vulkanickou brekcií patří k vůbec nejkrásnějším českým chabazitům. V dutinách čerstvého čediče (běžně o velikosti do 5 cm) tvoří několik mm velké bezbarvé skelně lesklé klenče i jejich penetrační dvojčata se seseklými hranami či rohy (obr. 7), častý je i ve formě *fakolitu* (obr. 8). Zajímavostí je, že dutinky s *fakolitem* se běžně nacházejí v těsném sousedství dutin vystlaných klenčí. Krystaly *fakolitu* běžně vytvářejí méně obvyklé hojnoploché tvary. Menší dutinky chabazit-Ca často zcela vyplňuje v podobě bezbarvých agregátů. Na nejbohatších vzorcích chabazit-Ca bohatě porůstá až 10 cm velké členité dutiny v čediči, ale i v alterované vulkanické brekcií, v podobě samostatně vyvinutých klenčů o velikosti do 1 cm. Největší nalezený bělavý klenčový krystal má délku hranu 18 mm. Větší, 7 - 10 mm velké, krystaly *fakolitu* bývají častější v brekcií.

Rentgenová prášková data chabazitu-Ca z Hackenbergu (tab. 4) odpovídají teoretickému záznamu vypočtenému ze strukturních dat (Yakubovich et al. 2005). Zpřesněné parametry studovaného chabazitu-Ca dobře odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi (tab. 5). V BSE obraze je studovaný minerál chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 6) byly zjištěny obsahy pouze Si, Al, Ca, Sr, K a Na; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec chabazitu-Ca z Hackenbergu (průměr 4 bodových analýz) je na bázi 24 kyslíků možno vyjádřit jako  $\text{Ca}_{1.54}\text{Na}_{0.20}\text{K}_{0.14}\text{Sr}_{0.04}(\text{Al}_{3.46}\text{Si}_{8.53})\text{O}_{24} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ . Hodnota  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.71$  chabazitu-Ca z Hackenbergu se nachází ve středním rozsahu rozmezí uváděného pro chabazit-Ca (0.58 - 0.80) (Coombs et al. 1997).

Druhým nejrozšířenějším zeolitem lokality je **phillipsit-K**, který obvykle tvoří v dutinách v čerstvém čediči základní výstelku z typických krátce sloupečkových, 1 - 2 mm velkých bezbarvých až bělavých krystalů. Vzácněji vytváří až 4 mm velké křížové prorostlice. Phillipsit se běžně vyskytuje v asociaci s chabazitem-Ca, natrolitem, thomsonitem-Ca nebo je v dutinkách osamocen.

Rentgenová prášková data phillipsitu-K z Hackenbergu (tab. 7) odpovídají teoretickému záznamu vypočtenému ze strukturních dat (Gatta et al. 2009). Zpřesněné parametry studovaného phillipsitu-K dobře odpovídají

Tabulka 4 Rentgenová prášková data chabazitu-Ca z Hackenbergu

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d<sub>obs</sub></i>	<i>I<sub>obs</sub></i>	<i>d<sub>calc</sub></i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d<sub>obs</sub></i>	<i>I<sub>obs</sub></i>	<i>d<sub>calc</sub></i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d<sub>obs</sub></i>	<i>I<sub>obs</sub></i>	<i>d<sub>calc</sub></i>
1	0	1	9.282	100	9.364	1	3	4	2.4901	5	2.4878	6	2	4	1.5171	1	1.5194
1	1	0	6.857	8	6.918	4	0	4	2.3452	1	2.3410	7	1	3	1.5134	2	1.5129
0	1	2	6.320	3	6.360	3	3	0	2.3052	1	2.3062	4	5	2	1.4991	<1	1.5032
0	2	1	5.521	10	5.564	5	0	2	2.2898	1	2.2830	5	3	5	1.4856	1	1.4870
0	0	3	4.978	21	5.002	3	1	5	2.2289	<1	2.2275	8	0	2	1.4727	1	1.4689
2	0	2	4.653	8	4.682	3	2	4	2.2164	1	2.2175	4	3	7	1.4505	<1	1.4506
2	1	1	4.305	54	4.336	1	0	7	2.1140	1	2.1103	4	2	8	1.4467	<1	1.4446
1	1	3	4.033	1	4.054	6	0	0	2.0069	<1	1.9972	5	4	4	1.4202	<1	1.4201
3	0	0	3.971	2	3.994	2	1	7	1.9303	<1	1.9377	1	5	8	1.4149	<1	1.4141
1	2	2	3.853	10	3.878	3	4	2	1.9066	1	1.9054	1	6	7	1.3899	<1	1.3907
1	0	4	3.565	31	3.580	5	1	4	1.8660	5	1.8669	1	8	2	1.3775	<1	1.3786
2	2	0	3.438	6	3.459	1	3	7	1.8009	7	1.8016	2	7	4	1.3627	1	1.3638
1	3	1	3.229	2	3.245	6	1	2	1.7820	<1	1.7755	3	4	8	1.3592	<1	1.3585
0	2	4	3.166	3	3.180	4	4	0	1.7278	1	1.7296	7	1	6	1.3392	<1	1.3401
3	1	2	3.022	<1	3.039	3	2	7	1.6917	2	1.6906	3	5	7	1.3372	<1	1.3377
0	1	5	2.919	33	2.911	3	4	5	1.6449	<1	1.6469	5	5	3	1.3341	2	1.3336
2	1	4	2.879	14	2.889	1	6	4	1.6417	1	1.6429	3	7	2	1.3271	<1	1.3270
2	2	3	2.834	1	2.845	0	4	8	1.5912	<1	1.5899	6	1	8	1.3108	<1	1.3090
0	4	2	2.773	1	2.782	2	4	7	1.5550	4	1.5569	1	2	11	1.3079	1	1.3063
2	0	5	2.688	1	2.684	2	3	8	1.5498	2	1.5495	6	0	9	1.2810	1	1.2800
4	1	0	2.600	9	2.615	5	1	7	1.5200	1	1.5189	7	3	4	1.2679	<1	1.2688
2	3	2	2.570	1	2.581												

Tabulka 5 Parametry základní cely chabazitu-Ca (pro trigonální - prostoro-ovou grupu R-3m)

	tato práce	Yakubovich et al. (2005)
<i>a</i> [Å]	13.837(6)	13.831(3)
<i>c</i> [Å]	15.0073(4)	15.023(5)
<i>V</i> [Å <sup>3</sup> ]	2488(1)	2488.83

publikovaným údajům pro tuto minerální fázi (tab. 8). V BSE obraze je studovaný minerál chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 9) byly zjištěny obsahy pouze Si, Al, Ca, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec phillipsitu-K z Hackenbergu (průměr čtyř bodových analýz) je na bázi 32 kyslíků možno vyjádřit jako  $K_{1.95}Ca_{1.91}Na_{0.12}(Si_{10.09}Al_{5.91})O_{32} \cdot 12H_2O$ . Hodnota  $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.63$  phillipsitu-K z Hackenbergu se nachází při spodní hranici rozmezí uváděného pro phillipsit-K (0.59 - 0.76) (Coombs et al. 1997).

Zajímavým a jen vzácně zjištěným minerálem je **lévyn-Ca**, tvořící charakteristické hexagonální tence tabulkové bezbarvé až čiré krystaly o průměrně velikosti 2 až 4 mm (obr. 9 a 10). Téměř vždy je porostlý epitaxiální nárůsty bělavého jemně vláknitého erionitu-Ca (na plochách 0001). Nejčastěji vytváří charakteristické mřížkovité agregáty zvýrazněné zářivě bílými lemy erionitu-Ca. Největší nalezená mandle vyplněná lévynem měří 2 cm. Jen vzácně byly v drobných dutinách nalezeny nepoškozené tabulkové krystaly o velikosti do 2 mm. V některých dutinách se lévyn objevuje spolu s cowlesitem, analcím a chabazitem. Lévyn-Ca na cowlesit obvykle

Tabulka 6 Chemické složení chabazitu-Ca z Hackenbergu (hm. %)

	mean	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	51.72	51.95	51.98	52.38	50.55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.78	17.87	17.63	17.75	17.85
CaO	8.69	8.93	8.50	8.67	8.66
SrO	0.40	0.56	0.31	0.32	0.40
Na <sub>2</sub> O	0.64	0.56	0.56	0.66	0.77
K <sub>2</sub> O	0.69	0.59	0.76	0.70	0.72
H <sub>2</sub> O	23.63	23.76	23.62	23.83	23.28
total	103.55	104.22	103.36	104.31	102.23
Si <sup>4+</sup>	8.532	8.523	8.577	8.569	8.462
Al <sup>3+</sup>	3.457	3.454	3.429	3.423	3.522
Ca <sup>2+</sup>	1.536	1.569	1.503	1.520	1.553
Sr <sup>2+</sup>	0.039	0.053	0.030	0.031	0.039
Na <sup>+</sup>	0.204	0.177	0.178	0.208	0.249
K <sup>+</sup>	0.145	0.124	0.161	0.146	0.153
ΣCa+Sr+Na+K	1.924	1.923	1.872	1.905	1.994
H <sub>2</sub> O	13	13	13	13	13
T <sub>Si</sub>	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 24 kyslíků. H<sub>2</sub>O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 13 H<sub>2</sub>O.

narůstá a vyplňuje zbytek prostoru. Nejbohatší vzorky lévynu-Ca poskytl nález z kontaktu jedné z čedičových žil s alterovanou vulkanickou brekcií z jara 2014, kdy byly v pravidelných oválných dutinách velikosti 5 mm - 10 mm (největší o rozměrech 15 × 10 mm) nalezeny až 2 mm velké, dokonale vyvinuté a nepoškozené skelné lesklé tabulky lévynu-Ca, někdy porostlé až 1 mm velkými čirými analcimy. Některé tyto tabulky porůstá velice tenká a nevýrazná vrstva erionitu-Ca, jiné jsou zcela čisté.

Rentgenová prášková data lévynu-Ca z Hackenbergu (tab. 10) odpovídají teoretickému záznamu vypočtenému ze strukturních dat (Merlino et al. 1975). Zpřesně-



**Obr. 9** Lévyň-Ca z Hackenbergu. Velikost dutiny 5 mm. Foto P. Fuchs.



**Obr. 10** Lévyň-Ca s cowlesitem z Hackenbergu. Velikost krystalu lévyňu-Ca 1.5 mm. Foto P. Fuchs.



**Tabulka 11** Parametry základní cely lévyňu-Ca (pro trigonální R-3mH)

	tato práce	Merlino et al. (1975)
a [Å]	13.330(3)	13.338(4)
c [Å]	23.0122(3)	23.0140(90)
V [Å <sup>3</sup> ]	3541.3(9)	3545.72

**Tabulka 12** Chemické složení lévyňu-Ca z Hackenbergu (hm. %)

	mean	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	48.31	50.33	47.34	47.76	47.79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.43	23.11	22.03	22.18	22.41
CaO	10.71	10.94	10.95	10.66	10.27
SrO	0.12	0.12	0.09	0.12	0.14
Na <sub>2</sub> O	0.37	0.33	0.31	0.26	0.56
K <sub>2</sub> O	2.22	1.65	1.97	1.76	3.49
H <sub>2</sub> O	21.18	21.90	20.81	20.90	21.03
total	105.34	108.38	103.50	103.64	105.69
Si <sup>4+</sup>	14.459	13.984	14.717	14.655	14.566
Al <sup>3+</sup>	6.362	6.340	6.361	6.403	6.362
Ca <sup>2+</sup>	2.762	2.728	2.874	2.786	2.667
Sr <sup>2+</sup>	0.017	0.017	0.013	0.018	0.020
Na <sup>+</sup>	0.173	0.148	0.147	0.123	0.262
K <sup>+</sup>	0.683	0.489	0.615	0.548	1.078
ΣCa+Sr+K+Na	3.635	3.382	3.649	3.475	4.027
H <sub>2</sub> O	17	17	17	17	17
Si/Al	2.27	2.20	2.31	2.28	2.29
T <sub>Si</sub>	0.65	0.65	0.65	0.65	0.64

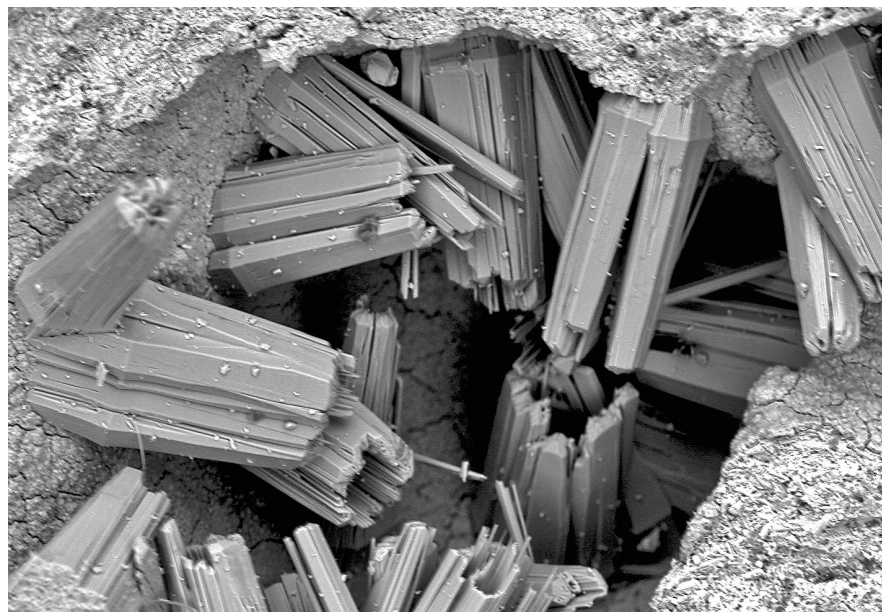
Empirický vzorec byl přepočten na bázi 36 kyslíků. H<sub>2</sub>O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 17 H<sub>2</sub>O.

**Tabulka 13** Chemické složení erionitu-Ca z Hackenbergu (hm. %)

	mean	1	2
SiO <sub>2</sub>	50.14	50.83	49.46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.98	18.94	19.01
CaO	6.15	5.73	6.56
K <sub>2</sub> O	4.42	4.18	4.66
Na <sub>2</sub> O	0.10	0.10	0.09
MgO	0.22	0.22	0.22
H <sub>2</sub> O	20.00	20.00	20.00
total	100.00	100.00	100.00
Si <sup>4+</sup>	25.125	26.190	24.929
Al <sup>3+</sup>	11.207	11.520	11.268
Ca <sup>2+</sup>	3.314	3.158	3.090
K <sup>+</sup>	2.832	2.724	2.698
Na <sup>+</sup>	0.121	0.124	0.121
Mg <sup>2+</sup>	0.151	0.155	0.151
ΣCa+Na+K+Mg	6.418	6.161	6.060
H <sub>2</sub> O	30	30	30
T <sub>Si</sub>	0.69	0.69	0.69

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 72 kyslíků. H<sub>2</sub>O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 30 H<sub>2</sub>O.





Obr. 11 Erionit-Ca z Hackenbergu. Maximální délka krystalů je 0.4 mm. Foto B. Ekrť.

obsahy pouze Si, Al, Ca, Sr, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec lévynu-Ca z Hackenbergu (průměr čtyř bodových analýz) je na bázi 36 kyslíků možno vyjádřit jako  $\text{Ca}_{2.76}\text{K}_{0.68}\text{Na}_{0.17}\text{Sr}_{0.02}(\text{Si}_{14.46}\text{Al}_{6.36})\text{O}_{36}\cdot 18\text{H}_2\text{O}$ . Hodnota  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.65$  lévynu-Ca z Hackenbergu se nachází ve střední části rozmezí (0.62 - 0.70) uváděném pro tento minerální druh (Coombs et al. 1997).

Lévyn-Ca je nejčastěji doprovázen **erionitem-Ca**, který tvoří bělavé epitaxní nárusty na plochách (0001) lévynu-Ca. Tyto nárusty jsou složené z jemných jehliček orientovaných kolmo k ploše lévynu. Délka erionitových jehliček může i několikrát přesahovat tloušťku lévynové tabulky. Jen v jediném vzorku jem-

Tabulka 14 Rentgenová prášková data gismondinu z Hackenbergu

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> <sub>obs</sub>	<i>I</i> <sub>obs</sub>	<i>d</i> <sub>calc</sub>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> <sub>obs</sub>	<i>I</i> <sub>obs</sub>	<i>d</i> <sub>calc</sub>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> <sub>obs</sub>	<i>I</i> <sub>obs</sub>	<i>d</i> <sub>calc</sub>
1	0	0	10.166	<1	10.011	0	1	3	3.126	12	3.128	3	2	3	2.1000	<1	2.1008
1	1	0	7.273	82	7.288	-3	1	1	3.056	1	3.066	4	3	0	2.0426	3	2.0442
0	1	1	7.196	17	7.212	3	1	1	2.990	1	2.992	1	5	1	2.0294	1	2.0306
-1	1	1	5.936	2	5.943	1	1	3	2.945	2	2.951	1	4	3	2.0087	1	2.0095
1	1	1	5.759	3	5.764	0	3	2	2.870	1	2.873	4	3	1	1.9895	<1	1.9872
2	0	0	5.002	<1	5.006	3	2	0	2.823	1	2.826	1	3	4	1.9662	1	1.9642
0	0	2	4.905	13	4.909	-1	3	2	2.778	1	2.780	3	2	4	1.8205	4	1.8200
0	2	1	4.668	5	4.674	2	3	1	2.753	1	2.755	-4	4	1	1.8022	2	1.8017
-1	2	1	4.262	23	4.269	-3	2	1	2.740	6	2.743	0	5	3	1.7832	1	1.7828
1	2	1	4.196	11	4.202	3	0	2	2.709	3	2.705	6	0	0	1.6683	2	1.6685
-2	1	1	4.170	2	4.176	3	2	1	2.687	8	2.689	-1	6	2	1.6488	5	1.6477
-1	1	2	4.127	3	4.133	0	4	0	2.656	5	2.657	4	2	4	1.6317	5	1.6324
2	1	1	4.048	4	4.052	3	1	2	2.621	1	2.622	0	5	4	1.6077	<1	1.6069
2	2	0	3.639	1	3.644	0	4	1	2.561	1	2.565	0	4	5	1.5789	1	1.5792
0	2	2	3.601	3	3.606	-2	3	2	2.518	1	2.520	-5	3	3	1.5634	<1	1.5634
-1	2	2	3.423	2	3.428	-2	2	3	2.4719	3	2.4743	4	4	4	1.4412	<1	1.4411
3	0	0	3.335	15	3.337	0	3	3	2.4063	3	2.4041	-7	1	1	1.4123	3	1.4115
2	1	2	3.267	2	3.265	2	2	3	2.4023	6	2.3971	-7	2	1	1.3764	<1	1.3756
-1	3	1	3.181	30	3.176	0	4	2	2.3351	1	2.3369	2	1	7	1.3256	<1	1.3250
1	3	1	3.141	4	3.148	-4	0	2	2.2692	1	2.2703	1	8	1	1.3057	2	1.3044

Tabulka 15 Parametry základní cely gismondinu (pro monoklinickou prostorovou grupu  $P 2_1/c$ )

	tato práce	Rinaldi, Vezzalini (1985)
<i>a</i> [Å]	10.021(2)	1.0197(7)
<i>b</i> [Å]	10.630(3)	10.6347(7)
<i>c</i> [Å]	9.828(3)	9.8323(5)
$\beta$ [°]	92.51	92.511(7)
<i>V</i> [Å <sup>3</sup> ]	1045.8(5)	1046.69

né parametry studovaného lévynu-Ca dobře odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi (tab. 11). V BSE obraze je studovaný minerál chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 12) byly zjištěny

ně proplyněného čediče se erionit-Ca vyskytl samostatně v podobě droubočkových (délky do 0.4 mm) vertikálně rýhovaných sloupečků posazených přímo na stěny dutin (obr. 11). Ze SEM snímku je patrné, že jde o agregáty složené z jehličkových krystalů uspořádaných do dutých šestibokých agregátů.

V BSE obraze je studovaný minerál chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 13) byly zjištěny obsahy pouze Si, Al, Ca, Mg, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec erionitu-Ca z Hackenbergu (průměr dvou bodových analýz) je na bázi 72 kyslíků možno vyjádřit jako  $\text{Ca}_{3.31}\text{Mg}_{0.15}\text{K}_{2.83}\text{Na}_{0.12}(\text{Al}_{11.21}\text{Si}_{25.13})\text{O}_{72}\cdot 30\text{H}_2\text{O}$ . Hodnota  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.69$  erionitu-Ca z Hackenbergu se nachází při spodní hranici rozmezí uváděného pro erionit-Ca (0.68 - 0.79) (Coombs et al. 1997).

**Tabulka 16** Chemické složení gismondinu z Hackenbergu (hm. %)

	mean	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	38.42	38.02	38.60	38.80	38.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.63	30.80	30.39	30.92	30.40
CaO	17.31	17.50	17.19	17.46	17.10
Na <sub>2</sub> O	0.31	0.25	0.33	0.31	0.33
H <sub>2</sub> O	22.46	22.41	22.44	22.68	22.31
total	109.13	108.98	108.95	110.17	108.41
Si <sup>4+</sup>	4.106	4.070	4.126	4.104	4.113
Al <sup>3+</sup>	3.855	3.886	3.830	3.855	3.852
Ca <sup>2+</sup>	1.981	2.007	1.969	1.978	1.969
Na <sup>+</sup>	0.064	0.051	0.068	0.064	0.068
ΣCa+Na	2.045	2.058	2.037	2.042	2.037
H <sub>2</sub> O	8	8	8	8	8
T <sub>Si</sub>	0.52	0.51	0.52	0.52	0.52

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 16 kyslíků. H<sub>2</sub>O bylo do počítáno na základě teoretického obsahu 8 H<sub>2</sub>O.

Nejvzácnějším zeolitem lokality je **gismondin**, který vytváří až 1 mm velké charakteristické bezbarvé až bělavé dipyramidální krystaly. Nalezen byl pouze v jednom malém skalním útesu v několika až 15 mm velkých mandlovitých dutinách spolu s phillipsitem-K, natrolitem či thomsonitem-Ca.

Rentgenová prášková data gismondinu z Hackenbergu (tab. 14) odpovídají teoretickému záznamu vypočtenému ze strukturních dat (Rinaldi, Vezzalini 1985). Zpřes-

něné parametry studovaného gismondinu dobře odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi (tab. 15). V BSE obraze je studovaný minerál chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 16) byly zjištěny obsahy pouze Si, Al, Ca a Na; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec gismondinu z Hackenbergu (průměr čtyř bodových analýz) je na bázi 16 kyslíků možno vyjádřit jako Ca<sub>1.98</sub>Na<sub>0.06</sub>(-Si<sub>4.10</sub>Al<sub>3.85</sub>)O<sub>16</sub>·8H<sub>2</sub>O. Hodnota T<sub>Si</sub> = Si/(Si+Al) = 0.52 gismondinu z Hackenbergu se nachází při spodní hranici rozmezí uváděného pro tento minerální druh (0.51 - 0.54) (Coombs et al. 1997).

Z běžných zeolitů byl na lokalitě zjištěn především **thomsonit-Ca**, tvořící až 4 mm velké bezbarvé až žlutavé tabulkové krystaly, vějířové a hemisférické agregáty narůstající obvykle na jemně krystalovaný phillipsit-K, vzácněji asociuje s chabazitem-Ca. Agregáty thomsonitu-Ca mají obvykle, na rozdíl od cowlesitu, hrubší lištovitý povrch. Největší nalezené hemisféry dosahují průměru 10 mm.

Rentgenová prášková data thomsonitu-Ca z Hackenbergu (tab. 17) odpovídají teoretickému záznamu vypočtenému ze strukturních dat (Stahl et al. 1990). Zpřesněné parametry studovaného thomsonitu-Ca dobře odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi (tab. 18). V BSE obraze je studovaný minerál chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 19)

**Tabulka 17** Rentgenová prášková data thomsonitu-Ca z Hackenbergu

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> <sub>obs</sub>	<i>I</i> <sub>obs</sub>	<i>d</i> <sub>calc</sub>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> <sub>obs</sub>	<i>I</i> <sub>obs</sub>	<i>d</i> <sub>calc</sub>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> <sub>obs</sub>	<i>I</i> <sub>obs</sub>	<i>d</i> <sub>calc</sub>
1	1	0	9.214	6	9.249	5	2	2	2.2836	1	2.2830	0	6	6	1.5493	<1	1.5498
0	0	2	6.603	2	6.623	4	3	3	2.2507	<1	2.2515	2	8	2	1.5401	<1	1.5402
0	2	0	6.518	100	6.528	3	5	0	2.2387	3	2.2412	0	5	7	1.5325	1	1.5323
2	1	1	5.358	1	5.356	0	6	0	2.1754	37	2.1759	2	3	8	1.5050	<1	1.5061
0	2	2	4.644	2	4.649	1	6	1	2.1212	2	2.1189	6	4	5	1.4969	<1	1.4974
2	2	0	4.613	54	4.624	2	6	0	2.0642	7	2.0650	2	5	7	1.4923	<1	1.4920
2	2	1	4.367	8	4.366	1	6	2	2.0438	<1	2.0420	5	7	2	1.4804	<1	1.4811
1	3	0	4.124	49	4.130	2	6	2	1.9733	1	1.9714	4	4	7	1.4652	2	1.4644
1	3	1	3.939	1	3.943	2	5	4	1.9554	1	1.9568	4	7	4	1.4562	4	1.4558
2	2	2	3.780	1	3.792	3	1	6	1.9493	1	1.9483	5	7	3	1.4374	1	1.4369
2	3	1	3.496	21	3.497	3	6	2	1.8693	1	1.8685	1	9	1	1.4337	1	1.4334
0	0	4	3.315	<1	3.312	0	7	1	1.8471	<1	1.8469	4	8	2	1.4260	1	1.4265
0	4	0	3.267	14	3.264	6	0	4	1.8240	2	1.8232	6	1	7	1.4219	1	1.4217
2	2	3	3.197	6	3.194	4	6	0	1.812	10	1.813	6	5	5	1.4161	1	1.4159
2	3	2	3.173	13	3.180	6	4	1	1.798	3	1.798	6	7	2	1.3871	1	1.3868
1	4	1	3.077	2	3.080	2	7	1	1.778	1	1.778	0	9	3	1.3788	<1	1.3782
4	2	0	2.928	8	2.928	2	2	7	1.752	1	1.751	5	8	2	1.3559	<1	1.3560
2	4	0	2.918	16	2.921	4	6	2	1.748	1	1.748	4	8	4	1.3363	<1	1.3365
1	4	2	2.854	19	2.857	2	7	2	1.733	1	1.731	0	7	7	1.3288	<1	1.3284
2	4	1	2.851	36	2.853	0	7	3	1.717	8	1.718	6	1	8	1.3132	<1	1.3128
2	2	4	2.691	1	2.692	3	7	0	1.714	4	1.715	8	1	6	1.3088	<1	1.3088
2	4	2	2.671	22	2.673	6	3	4	1.683	<1	1.682	9	2	4	1.3062	3	1.3059
1	4	3	2.576	4	2.574	4	6	3	1.677	1	1.677	4	9	2	1.3004	<1	1.3006
4	3	1	2.567	2	2.568	6	2	5	1.632	6	1.632	2	8	6	1.2871	<1	1.2868
1	5	0	2.560	5	2.561	7	4	1	1.612	2	1.612	8	6	2	1.2839	<1	1.2838
1	5	1	2.516	<1	2.514	2	4	7	1.587	1	1.588	8	4	5	1.2813	<1	1.2813
3	4	2	2.4277	5	2.4319	2	8	0	1.5836	3	1.5836	1	10	2	1.2754	<1	1.2748
2	5	1	2.3850	<1	2.3859	3	5	6	1.5728	3	1.5728	3	7	7	1.2707	1	1.2709
4	4	0	2.3092	2	2.3122	3	6	5	1.5688	2	1.5692						

**Tabulka 18** Parametry základní cely thomsonitu-Ca (pro ortorombickou prostorovou grupu Pncn)

	tato práce	Stahl et al. (1990)
a [Å]	13.104(2)	13.1043(14)
b [Å]	13.056(1)	13.0569(18)
c [Å]	13.247(2)	13.2463(30)
V [Å <sup>3</sup> ]	2266.4(6)	2266.46

byly zjištěny obsahy pouze Si, Al, Ca, Sr, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec thomsonitu-Ca z Hackenbergu (průměr čtyř bodových analýz) je na bázi 20 kyslíků možno vyjádřit jako  $\text{Ca}_{1.78}\text{Sr}_{0.05}\text{Na}_{1.12}(\text{Al}_{4.69}\text{Si}_{5.29})\text{O}_{20}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Hodnota  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.53$  thomsonitu-Ca z Hackenbergu se nachází ve střední části rozmezí (0.50 - 0.56) publikovaného pro tento minerální druh (Coombs et al. 1997).

K méně rozšířeným zeolitům na lokalitě patří **analcim**. Vyskytuje se v dutinách spolu s většími hemisférami cowlesitu a lévynem-Ca, které porůstá v podobě droboučkých čirých

**Tabulka 20** Rentgenová prášková data analcimu z Hackenbergu

h	k	l	$d_{\text{obs}}$	$l_{\text{obs}}$	$d_{\text{calc}}$
1	1	2	5.581	98	5.594
2	0	2	4.836	5	4.845
1	2	3	3.657	3	3.662
0	0	4	3.423	100	3.426
3	2	3	2.920	3	2.921
2	2	4	2.796	6	2.797
1	3	4	2.687	<1	2.687
2	1	5	2.499	1	2.502
4	0	4	2.4220	1	2.4223
2	3	5	2.2248	1	2.2229
0	4	6	1.8987	<1	1.9002
5	2	5	1.8636	3	1.8647
6	2	4	1.8310	<1	1.8311
1	5	6	1.7397	4	1.7403
0	0	8	1.7125	1	1.7128
1	4	7	1.6862	1	1.6867
8	0	2	1.6633	<1	1.6617
3	4	7	1.5912	<1	1.5929
2	4	8	1.4949	1	1.4951
3	6	7	1.4144	1	1.4133
2	7	7	1.3574	1	1.3568
7	5	6	1.3075	<1	1.3065
1	7	8	1.2830	10	1.2834

**Tabulka 21** Parametry základní cely analcimu (pro kubickou prostorovou grupu Ia-3d)

	tato práce	Gatta et al. (2006)
a [Å]	13.703(5)	13.6999(3)
V [Å <sup>3</sup> ]	2573(1)	2571.3

**Tabulka 19** Chemické složení thomsonitu-Ca z Hackenbergu (hm. %)

	mean	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	39.62	39.81	38.21	40.08	40.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.80	29.69	30.39	29.34	29.79
CaO	12.47	12.47	12.96	12.15	12.28
SrO	0.67	0.62	0.73	0.69	0.72
Na <sub>2</sub> O	4.33	4.21	4.07	4.56	4.49
K <sub>2</sub> O	0.03	0.05	0.04	0.02	0
H <sub>2</sub> O	13.48	13.49	13.35	13.48	14.00
total	100.40	100.34	99.75	101.12	101.64
Si <sup>4+</sup>	5.286	5.309	5.148	5.348	5.186
Al <sup>3+</sup>	4.686	4.667	4.827	4.614	4.512
Ca <sup>2+</sup>	1.783	1.782	1.878	1.737	1.691
Sr <sup>2+</sup>	0.052	0.048	0.057	0.054	0.053
Na <sup>+</sup>	1.121	1.088	1.064	1.180	1.118
K <sup>+</sup>	0.005	0.008	0.006	0.003	0
ΣCa+Sr+Na+K	2.961	2.926	3.005	2.974	2.862
H <sub>2</sub> O	6	6	6	6	6
T <sub>Si</sub>	0.53	0.53	0.52	0.54	0.53

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 20 kyslíků. H<sub>2</sub>O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 6 H<sub>2</sub>O.

skelně lesklých krystalů charakteristického tvaru deltoidového 24-stěnu (obr. 12). V jednom z výchozů vytvářel na hojně bublinatém kontaktu čediče a tufu souvislé výstelky, tvořené 1 - 2 mm velkými krystaly. Největší bělavé čočkovité krystalky analcimu dosahují až 5 mm velikosti a samostatně narůstají na drobně krystalovaný phillipsit-K. Někdy bývá analcim provázen natrolitem.

Rentgenová prášková data analcimu z Hackenbergu (tab. 20) odpovídají teoretickému záznamu vypočtenému ze strukturálních dat (Gatta et al. 2006). Zpřesněné parametry studovaného analcimu dobře odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi (tab. 21). V BSE obraze je studovaný minerál chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 22) byly zjištěny obsahy pouze Si, Al, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec analcimu z Hackenbergu (průměr čtyř bodových analýz) je na bázi 6 kyslíků možno vyjádřit jako  $\text{Na}_{0.90}\text{K}_{0.01}(\text{Al}_{0.93}\text{Si}_{2.07})\text{O}_6\cdot \text{H}_2\text{O}$ . Hodnota  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.69$  analcimu z Hackenbergu se nachází při horní hranici rozmezí (0.59 - 0.73) uváděného pro analcim (Coombs et al. 1997).

**Tabulka 22** Chemické složení analcimu z Hackenbergu (hm. %)

	mean	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	57.68	57.65	57.68	57.27	58.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.62	21.52	22.03	21.29	21.62
Na <sub>2</sub> O	12.79	13.06	12.57	12.75	12.77
K <sub>2</sub> O	0.24	0.16	0.26	0.30	0.22
H <sub>2</sub> O	8.26	8.30	8.33	8.23	8.34
total	100.59	100.69	100.87	99.84	101.06
Si <sup>4+</sup>	2.074	2.083	2.077	2.086	2.088
Al <sup>3+</sup>	0.925	0.916	0.935	0.914	0.916
Na <sup>+</sup>	0.901	0.915	0.935	0.914	0.916
K <sup>+</sup>	0.011	0.007	0.012	0.014	0.010
ΣNa+K	0.912	0.922	0.947	0.928	0.926
H <sub>2</sub> O	1	1	1	1	1
T <sub>Si</sub>	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 6 kyslíků. H<sub>2</sub>O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 1 H<sub>2</sub>O.



Obr. 12 Analcim na phillipsitu-K z Hackenbergu. Velikost krystalu analcimu je 5 mm. Foto L. Hružek.

Tabulka 23 Rentgenová prášková data natrolitu z Hackenbergu

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> <sub>obs</sub>	<i>l</i> <sub>obs</sub>	<i>d</i> <sub>calc</sub>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> <sub>obs</sub>	<i>l</i> <sub>obs</sub>	<i>d</i> <sub>calc</sub>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> <sub>obs</sub>	<i>l</i> <sub>obs</sub>	<i>d</i> <sub>calc</sub>
2	2	0	6.517	100	6.528	2	8	0	2.2499	3	2.2484	5	7	3	1.5355	<1	1.5357
1	1	1	5.874	4	5.879	6	0	2	2.2387	3	2.2423	2	4	4	1.5309	<1	1.5296
4	0	0	4.614	36	4.594	6	6	0	2.1762	48	2.1758	5	11	1	1.4918	<1	1.4929
3	1	1	4.365	7	4.359	5	7	1	2.0412	<1	2.0434	8	8	2	1.4627	3	1.4621
4	2	0	4.115	27	4.117	4	6	2	2.0218	<1	2.0234	3	9	3	1.4601	5	1.4593
3	3	1	3.617	<1	3.630	9	1	1	1.9390	<1	1.9394	9	3	3	1.4541	1	1.4530
4	4	0	3.266	6	3.264	1	5	3	1.8785	<1	1.8791	8	10	0	1.4430	<1	1.4432
1	5	1	3.192	3	3.184	8	2	2	1.8465	<1	1.8460	2	6	4	1.4358	<1	1.4352
2	2	2	2.939	4	2.939	5	3	3	1.8012	1	1.8025	9	9	1	1.4153	<1	1.4166
6	2	0	2.918	22	2.908	4	8	2	1.7521	<1	1.7525	7	11	1	1.3870	<1	1.3871
3	5	1	2.853	33	2.859	1	7	3	1.6828	<1	1.6833	6	12	0	1.3797	<1	1.3801
2	4	2	2.575	2	2.577	7	1	3	1.6765	<1	1.6769	2	8	4	1.3280	<1	1.3282
6	4	0	2.560	8	2.556	8	8	0	1.6318	2	1.6319	1	1	5	1.3108	1	1.3102
1	7	1	2.4364	<1	2.4368	7	3	3	1.6225	<1	1.6246	5	13	1	1.3043	1	1.3039
5	5	1	2.4275	5	2.4271	6	8	2	1.6118	2	1.6120	9	7	3	1.3012	<1	1.3020
0	8	0	2.3245	<1	2.3189	6	10	0	1.5875	3	1.5867	12	8	0	1.2781	<1	1.2778
3	7	1	2.2835	1	2.2816	7	9	1	1.5734	3	1.5742	12	6	2	1.2669	<1	1.2666

Tabulka 24 Parametry základní cely natrolitu (pro ortorombickou prostorovou grupu Fdd2)

	tato práce	Alberti et al. (1995)
<i>a</i> [Å]	18.376(5)	18.3469(70)
<i>b</i> [Å]	18.552(5)	18.5610(40)
<i>c</i> [Å]	6.585(2)	6.587(4)
<i>V</i> [Å <sup>3</sup> ]	2244(1)	2243.12

Posledním zjištěným zeolitem lokality je **natrolit**, který zde byl zjištěn pouze na dvou místech. Na západním svahu vrchu vytváří v až 5 cm velkých dutinách bělavé štětičky a hemisféry o velikosti až 1 cm, narůstající na drobně krystalovaný phillipsit-K. Někdy je doprovázen drobnými krystaly analcimu. Vzácně na samostatné jehličky natrolitu narůstají velmi drobné číré klenče chabazitu. V jednom ze silně proplyněných kontaktů čediče s tufy vystýlá jemně vláknitý natrolit 1 - 2 cm velké oválné dutiny. V čerstvém čediči v některých případech zcela vyplňuje drobné mandle v podobě radiálně paprscitých agregátů.

Tabulka 25 Chemické složení natrolitu z Hackenbergu (hm. %)

	mean	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	47.83	47.86	47.84	47.78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.92	26.78	26.82	27.15
CaO	1.16	0.89	1.10	1.49
Na <sub>2</sub> O	14.66	15.04	14.46	14.48
H <sub>2</sub> O	9.54	9.51	9.49	9.55
total	100.11	100.08	99.71	100.45
Si <sup>4+</sup>	3.007	2.992	3.022	3.002
Al <sup>3+</sup>	1.995	1.990	1.997	2.010
Ca <sup>2+</sup>	0.101	0.060	0.074	0.100
Na <sup>+</sup>	1.787	1.839	1.771	1.763
ΣCa+Na	1.888	1.899	1.845	2.023
H <sub>2</sub> O	2	2	2	2
T <sub>Si</sub>	0.60	0.60	0.60	0.60

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 10 kyslíků. H<sub>2</sub>O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 2 H<sub>2</sub>O.

Rentgenová prášková data natrolitu z Hackenbergu (tab. 23) odpovídají teoretickému záznamu vypočtenému ze strukturních dat (Alberti et al. 1995). Zpřesněné parametry studovaného natrolitu dobře odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi (tab. 24). V BSE obraze je studovaný minerál chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 25) byly zjištěny obsahy pouze Si, Al, Na a Ca; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec natrolitu z Hackenbergu (průměr tří bodových analýz) je na bázi 10 kyslíků možno vyjádřit jako  $\text{Na}_{1.79}\text{Ca}_{0.10}(\text{Si}_{3.01}\text{Al}_{1.99})\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Hodnota  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.60$  natrolitu z Hackenbergu se nachází ve střední části rozmezí uváděného pro natrolit (0.59 - 0.62) (Coombs et al. 1997).

Nejmladším minerálem lokality je **kalцит**, který tvoří drobné žlutavé a bezbarvé krystaly různých tvarů porůstající zeolity. Některé dutiny často zcela vyplňuje. Pěkné větší žlutavé klencové krystaly porůstající chabazit-Ca byly zjištěny na kontaktu čedičové žíly a vulkanické brekcie v lůmku přivráceném k silnici. V brekcií běžně vyplňuje až několik cm silné pukliny. Zjištěny byly i až 4 cm velké duté perimorfózy po starší generaci velkých krystalů kalcitu porostlých chabazitem-Ca.

## Závěr

Vrch Hackenberg u České Kamenice je velmi zajímavou mineralogickou lokalitou, která je jednou z řady (polo)zapomenutých historických nalezišť nacházejících se v okolí České Kamenice. Nově zde bylo zjištěno devět druhů zeolitů, z nichž zejména cowlesit, lévyn-Ca a erionit-Ca (Pauliš et al. 2012) jsou poměrně vzácné. Zeolitovou mineralizaci zde lze v omezené míře nalézt i v současné době.

## Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za fotografie P. Fuchsovi z Teplíc a B. Ekrtovi z Národního muzea v Praze. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci projektu NAKI – DF12P01O-VV021.

## Literatura

- Alberti A., Cruciani G., Dauri I. (1995) Order disorder in natrolite-group minerals. *Eur. J. Miner.* 7, 501-508.
- Coombs D. S., Alberti A., Armbruster T., Artioli G., Collella C., Galli E., Grice J. D., Liebau F., Mandarino J. A., Minato H., Nickel E. H., Passaglia E., Peacor D. R., Quartieri S., Rinaldi R., Ross M., Sheppard R. A., Tillmanns E., Vezzalini G. (1997) Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names. *Can. Mineral.* 35, 1571-1606.
- Gatta G. D., Cappelletti P., Rotiroli N., Slebodnick C., Rinaldi R. (2009) New insights into the crystal structure and crystal chemistry of the zeolite phillipsite. *Am. Mineral.* 94, 190-199.
- Gatta G. D., Nestola F., Boffa Ballaran T. (2006) Elastic behavior, phase transition, and pressure induced structural evolution of analcime. *Am. Mineral.* 91, 568-578.
- Gottardi G. (1978) Mineralogy and crystal chemistry of zeolites. In Sand L. B., Mumpton F. A. Eds. *Natural Zeolites*. Pergamon Press, 31-44. Oxford.
- Gottardi G., Galli E. (1985) *Natural Zeolites*. Springer-Verlag, Berlin.
- Hibsch J. E. (1934) *Die Minerale des Böhmischen Mittelgebirges*. Jena.
- Hrůzek L., Janeček O. (2013) Nová lokalita zeolitů Rollberg u Kunratic u České Kamenice. *Minerál* 21, 6, 523-527.
- Hrůzek L., Janeček O., Fuchs P. (2013) Zapomenutá zeolitová lokalita Eschlers Bergel u Kunratic u České Kamenice. *Minerál* 21, 6, 510-517.
- Janeček O., Hrůzek L. (2008) Lévyň a další zeolity z Hackenbergu u České Kamenice. *Minerál* 16, 1, 15-19.
- Janeček O., Hrůzek L. (2009a) Nová lokalita offretitu a cowlesitu Lysá hora u Bělé pod Bezdězem. *Minerál* 17, 3, 195-199.
- Janeček O., Hrůzek L. (2009b) Zapomenutá lokalita Malá Hůrka u České Kamenice. *Minerál* 17, 3, 200-204.
- Kratochvíl J. (1960) Topografická mineralogie Čech. III (I-K). *Nakladatelství ČSAV, Praha*.
- Merlino S., Galli E., Alberti A. (1975) The crystal structure of lévyňe. *Tschermaks mineral. petrogr. Mitt.* 22, 117-129.
- Pauliš P., Radoň M., Janeček O., Dvořák Z., Svejkovský J., Jebavá I., Řehoř M. (2012) Erionit-Ca z Michlova vrchu u Provodína, jv. od České Lípy (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 20, 2, 213-217.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" (φρZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis (J. T. Armstrong, ed.)*. San Francisco Press, San Francisco, 104-106.
- Rinaldi R., Vezzalini G. (1985) Gismondine: the detailed x-ray structure refinement of two natural samples. *Studies in Surface Science and Catalysis* 24, 481-492.
- Rychlý R., Langrová A., Had J. (1996) Chemistry of cowlesite from Žežice, Bohemia. *Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Masaryk. Brun., Geology* 26, 43-44.
- Rychlý R., Langrová A., Had J. (1999) Chemistry of cowlesite from Žežice, Bohemia. In: *Zeolity a jejich aplikace. Spec. publ. č. 1 České zeolitové skupiny - ČSVVJ*, 31-32. Hradec Králové.
- Rychlý R., Tschernich R. W. (1998) Cowlesit, faujasit, gobbinsit - nové zeolity pro ČR. *Minerál* 6, 2, 94-95.
- Rychlý R., Tschernich R. W. (1999) Cowlesit - nový zeolit pro ČR. In: *Zeolity a jejich aplikace. Spec. publ. č. 1 České zeolitové skupiny - ČSVVJ*, 31. Hradec Králové.
- Slavík F. (1926) Lévyň z Horní Kamenice. *Čas. Nár. Muz., Vědy Přír.* 98, 106-107.
- Stahl K., Kvick A., Smith J. V. (1990) Thomsonite, a neutron diffraction study at 13 K. *Acta Crystal.*, S. C 46, 1370-1373.
- Tschernich R. W. (1992) *Zeolites of the world*. Geoscience Press, Phoenix.
- Wise W. S., Tschernich R. W., Ancharov A. I., Sheromov M. A. (1975) Cowlesite, a new Ca-zeolite. *Am. Mineral.* 60, 951-956.
- Yakubovich O. V., Massa W., Gavrilenko P. G., Pekov I. V. (2005) Crystal structure of chabazite. *Kristallografiya* 50, 595-604.