

Böhmit a doprovodná zeolitová mineralizace ze Soutěsek u Děčína (Česká republika)

Böhmite and accompanying zeolite mineralization from Soutěsky near Děčín (Czech Republic)

PETR PAULIŠ^{1,2)*}, LIBOR HRŮZEK³⁾, OLDŘICH JANEČEK⁴⁾, ZDENĚK DOLNÍČEK²⁾, LUBOŠ VRTIŠKA²⁾, RADANA MALÍKOVÁ²⁾, ONDŘEJ POUR⁵⁾ A FERRY FEDIUK⁶⁾

¹⁾Smíškova 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⁾Pobřežní 1016, 471 14 Kamenický Šenov

⁴⁾Albrechtická 613, 434 01 Most

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

⁶⁾Na Petřínách 1897, 162 00 Praha 6

PAULIŠ P, HRŮZEK L, JANEČEK O, DOLNÍČEK Z, VRTIŠKA L, MALÍKOVÁ R, POUR O, FEDIUK F (2021) Böhmit a doprovodná zeolitová mineralizace ze Soutěsek u Děčína (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 29(1): 164-177 ISSN 2570-7337

Abstract

A new locality of böhmite and zeolite minerals, called „Soutěsky above the quarry“, occurs near the quarry „Soutěsky“ on the SW slope of the Hlídka hill, eastward of the Soutěsky village, about 5 km SW of the town of Děčín (Czech Republic). The mineralization is bound to vugs of Cenozoic volcanics. Böhmite forms mostly whitish to brownish hemispherical to spherical clusters up to 5 mm in size. The unit-cell parameters of böhmite, refined from the X-ray powder data, are a 2.871 (3), b 12.216(9), c 3.699(4) Å and V 129.7(2) Å³. Chemical analyses correspond to the empirical formula $(Al_{0.92}Si_{0.06})_{\Sigma 0.98}O(OH)$. The following zeolites have been found in association with böhmite: thomsonite-Ca, phillipsite-K, gismondine, chabazite-Ca and analcime, as well as calcite. Minerals crystallized in following succession: calcite I → phillipsite-K → böhmite → calcite II → thomsonite-Ca → gismondine → calcite III. Independently, (older) analcime and (younger) chabazite-Ca occur. These minerals probably crystallized from low tempered solutions, enriched in Al ions and alkalies, the source of which can be found in altered rock-forming aluminosilicates (analcime, nepheline).

Key words: böhmite, thomsonite-Ca, phillipsite-K, gismondine, chabazite-Ca, analcime, powder X-ray diffraction data, unit-cell parameters, chemical composition, Cenozoic volcanics, Soutěsky – nad lomem, Czech Republic

Obdrženo 6. 5. 2021; přijato 30. 6. 2021

Úvod

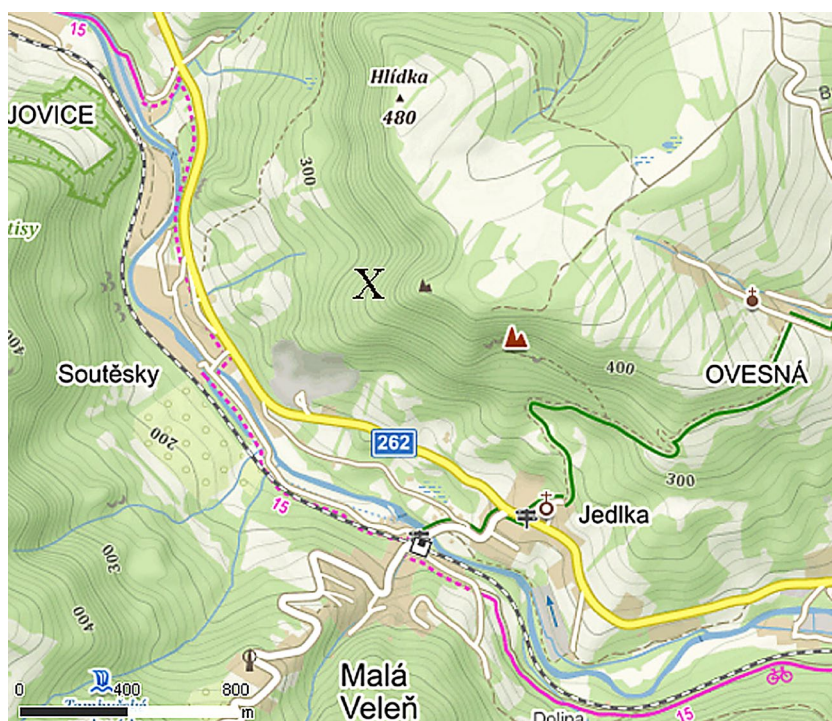
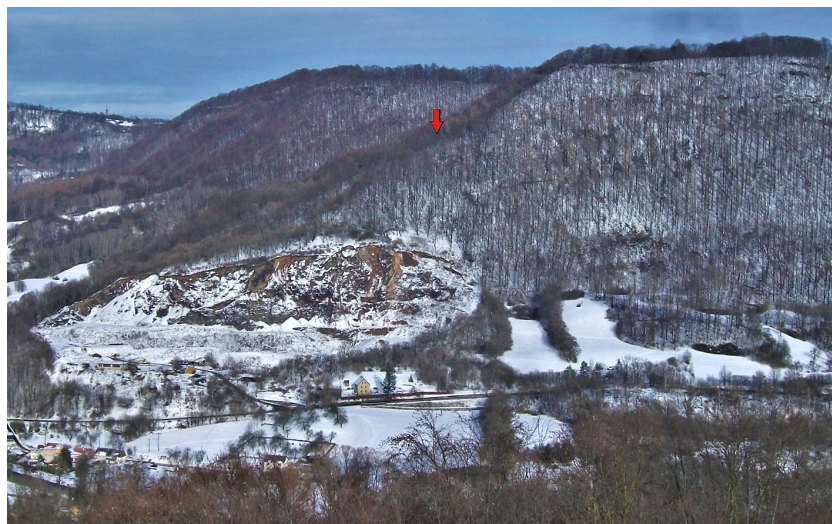
Lokalita nazvaná autory Soutěsky - nad lomem se nachází nedaleko známé zeolitové lokality Soutěsky - lom, na jihozápadním svahu vrchu Hlídka, v. od Soutěsek, cca 5 km jz. od Děčína. Tento rozsáhlý a členitý vulkanický vrch o plošných rozměrech cca 3.6 × 2.5 km je na jihu a západě omezen tokem řeky Ploučnice, na severu Dobrnským potokem a na východě silnicí Dobrná - Ovesná - Benešov n. Ploučnicí (obr. 1). Morfologicky nejvýraznějším prvkem vrchu je jeho strmý, asi 300 m vysoký jižní a západní svah se dvěma dílčími vrcholy poblíž hrany svahu, Hlídka (dříve Hutberg, 480 m n. m.) na západě a bezejmennou kótou 474 m na jihovýchodě. Vrcholová plochá část široká 300 až 400 m s políčky, pastvinami a četnými remízky je protažena ve směru SZ - JV, s výběžkem na severovýchodě. Na východ vrch pokračuje pozvolným svahem do mělkého sedla, kterým vede silnice. Jižní a západní svah je zalesněný, v jeho vyšší a strmější polovině je řada výchozů a skalek vulkanických hornin, z nichž nejznámější jsou Havraní kameny nad Jedlkou. Spodní, pozvolnější polovina svahu, je tvořena mocným svahovým suťovým materiálem. Vlastní naleziště (GPS:

50°45'2.8"N; 14°16'7.8"E) se nachází na katastru obce Soutěsky (část obce Malá Veleň), asi 500 m severně od horní hrany stávajícího kamenolomu (obr. 2). Na lokalitu vede od silnice podél lomu nezřetelná lesní cesta. Lokalita se nachází poblíž rozcestí, z něhož jedna cesta vede po vrstevnici na sever k vrchu Hlídka a druhá se klikatí na východ k bezejmenné kótě 474 m n. m. Asi 100 m jv. je po spádnicí orientovaná rozsáhlá hromada vysbíraného kamení. Většina studovaných vzorků minerálů s böhmitem a zeolitovou mineralizací pochází z bloků vulkanitů nacházejících se volně na povrchu (obr. 3). Jejich zdrojem byla patrně nedaleká nevýrazná skalka (obr. 4, 5) obsahující drobné dutiny s obdobnou mineralizací, ze které byl zřejmě odebírán materiál na údržbu cesty a stavbu náspu a ochranných zídek. V jedné z nich byly též nalezeny vzorky se zeolitovou mineralizací.

Geologie a petrologie lokality

Mateřskou horninou studované mineralizace je alterací postižená a četnými vesikulami prostoupená okrajová vulkanická facie, která je nositelem zvláště bohatého a pestrého zeolitového společenství. Na rozdíl od čerstvé

čedičové horniny těžené kamenolomem, která má barvu tmavošedou až modravě černošedou, se vzorky z okrajové facie nad lomem vyznačují barvou kalně tmavohnědou až šedohnědou. Navíc je pro ně příznačná přítomnost četných dutinek, zčásti poloprázdných, většinou však mandlovcovitě zaplněných bělavými minerály zeolitové skupiny. Tyto většinou nepravidelné dutiny o délce do 5 cm, ale i přes 10 cm, jsou zpravidla výrazně protáhlé a subparalelně orientované. Vlastní čedičová hmota, v níž jsou vesikuly víceméně pravidelně rozmístěny, je velmi jemnozrná, s minerálními součástkami značně pod makroskopickou rozzeznatelností. Zatímco makroskopicky nejsou vyrostlice prakticky viditelné, ve výbruse je porfyrická stavba horniny patrná zřetelně. Vyroستlice o celkovém podílu cca 15 % jsou výhradně zastoupeny prismatickým, hypauto-morfně až automorfně omezeným klinopyroxenem nafialovělé barvy, místy se zonální strukturou. Velikost těchto vyrostlic kolísá v dolních desetinách mm. Základní hmota se skládá z izometricky zrnitého klinopyroxenu, xenomorfně zrnitého analcimu, malého množství mikrolitovitěho plagioklasu a rudních (magnetitových, zčásti alterovaných) zrn. Velikost minerálních zrn v základní hmotě kolísá kolem 0.01 mm. Vulkanické sklo nebylo pozorováno, jeho přítomnost v malém množství však nelze zcela vyloučit. Struktura horniny je drobně porfyrická s mikrokrystalickou strukturou základní hmoty, textura je mírně proudovitě uspořádaná. Na základě mikroskopického popisu lze horninu označit jako analcimit s mírnou afinitou k analcimickému tefritu.



Obr. 1 Hřbet s vrcholovou kótou Hlídka s kamenolomem Soutěsky. Lokalita Soutěsky - nad lomem je označena šipkou, foto P. Zeman.

Obr. 2 Plánek lokality Soutěsky - nad lomem (lokalita označena X). Podle www.mapy.cz.

Obr. 3 Stará cesta, v jejímž okolí se vyskytují bazaltoidní vulkanity s popisovanou mineralizací. Foto P. Pauliš (2020).



Zatímco bazaltoidní hornina z lomu je označována jako analcimický bazanit (Kužvar ed. 1983), tedy bazaltoidní hornina s olivínem, ve zkoumané okrajové facii olivín zjištěn nebyl.

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 $\text{CuK}\alpha$ záření (40 kV, 40 mA). Práškové preparáty byly naneseny v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku a následně pak byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.01° , načítací čas 8 s/krok detektoru, celkový čas experimentu cca 15 hodin). Pozice jednotlivých difrakčních maxim byly popsány profilovou funkcí Pseudo-Voigt a upřesněny profilovým fitováním v programu HighScore Plus. Mřížkové parametry byly zpřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Celref (Laugier, Bochu 2011).

Chemické složení minerálů bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha, analytik Z. Dolníček) za podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 5 nA, průměr svazku 5 μm . Měření byly Al, Ba, Ca, Cl, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, P, Pb, Rb, S, Si, Sr a Zn. Při analýzách byly využity následující standardy a analytické čáry: baryt ($\text{BaL}\alpha$), albit ($\text{NaK}\alpha$), sanidin ($\text{AlK}\alpha$, $\text{SiK}\alpha$, $\text{KK}\alpha$), rodonit ($\text{MnK}\alpha$), diopsid ($\text{MgK}\alpha$), TiO_2 ($\text{TiK}\alpha$), apatit ($\text{PK}\alpha$), halit ($\text{ClK}\alpha$), hematit ($\text{FeK}\alpha$), ZnO ($\text{ZnK}\alpha$), celestin ($\text{SK}\alpha$, $\text{SrL}\beta$),



Obr. 4 Soutěšky – nad lomem, nevelký výchoz vulkanitů s popisovanou mineralizací. Foto P. Pauliš (2020).

Obr. 5 Dutinatý vulkanit s popisovanou mineralizací. Foto P. Pauliš (2020).

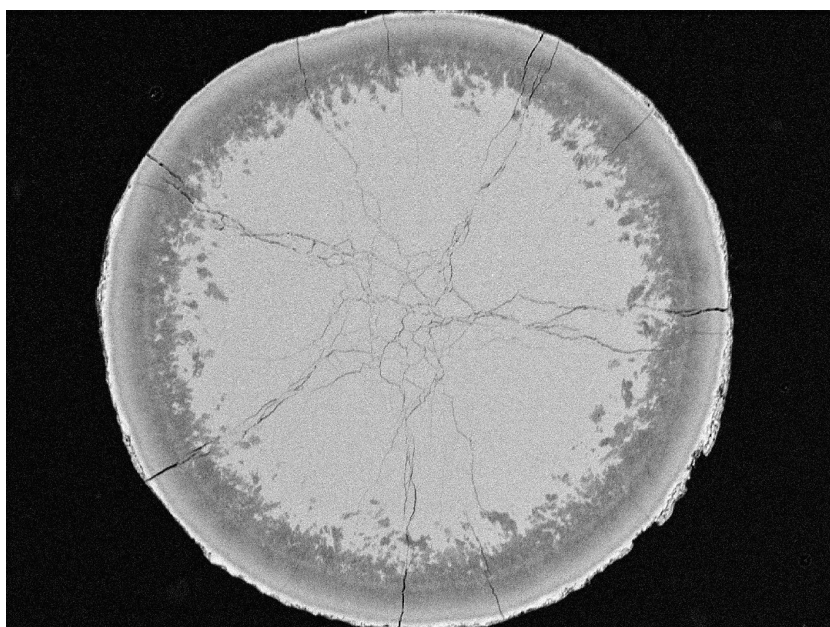
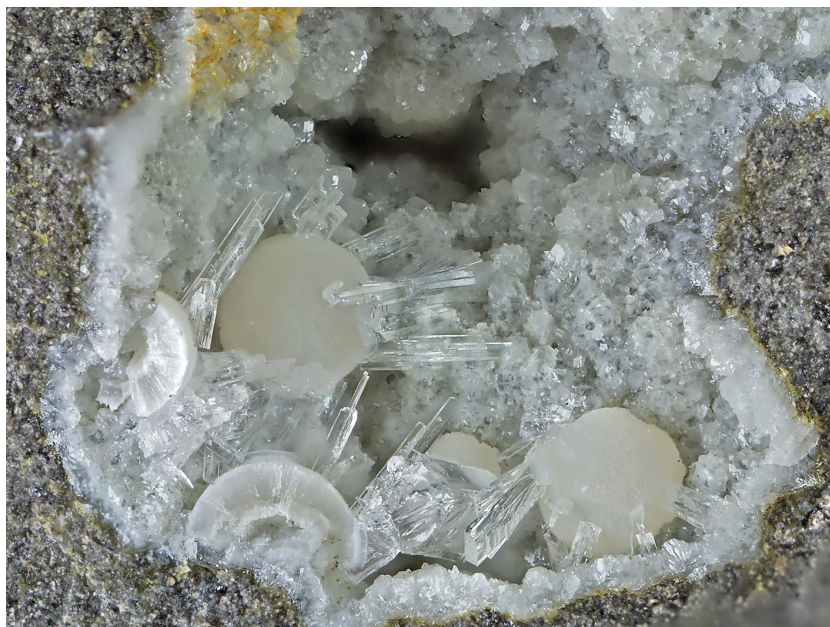
Obr. 6 Böhmit narůstající na phillipsit-K, lokalita Soutěšky – nad lomem. Šířka záběru 9.8 mm, foto B. Bureš.

vanadinit ($PK\alpha$), BN ($NK\alpha$), wollastonit ($CaK\alpha$), ZnO ($ZnK\alpha$) a LiF ($FK\alpha$). Získaná data byla přepočítána na hm. % oxidů za použití algoritmu PAP (Pouchou, Pichoir 1985). Obsahy měřených prvků, které nejsou uvedeny v níže prezentovaných tabulkách minerálních analýz, byly ve všech případech pod mezí stanovitelnosti, která se pohybovala nejčastěji mezi 0.05 - 0.1 hm. %.

Ramanovo spektrum böhmitu bylo pořízeno za pomoci disperzního spektrometru DXR (Thermo Scientific) spojeného s konfokálním mikroskopem Olympus (Národní muzeum Praha). Podmínky měření: zvětšení objektivu 20 \times , použitý laser 633 nm, rozsah měření 45 - 1200 cm^{-1} , doba expozice 1800 s, výkon laseru 4 mW, apertura 50 μm pinhole, velikost měřené stopy 1.6 μm . Vizuální kontrolou povrchu po měření a sledováním případných změn spektra v průběhu měření nebylo zjištěno termické poškození měřených bodů. Spektrometr byl kalibrován pomocí softwarově řízené procedury s využitím emisních linií neonu (kalibrace vlnočtu), Ramanových pásů polystyrenu (kalibrace frekvence laseru) a standardizovaného zdroje bílého světla (kalibrace intenzity). Získaná spektra byla zpracována pomocí programu Omnic 9 (Thermo Scientific).

Popis mineralizace

Výskyt zeolitové mineralizace na lokalitě Soutěšky - nad lomem objevil v roce 1993 třetí z autorů tohoto příspěvku (OJ). Poměrně hojný böhmit byl identifikován až v rámci revize lokality v roce 2020.



Obr. 7 Böhmit narůstající na phillipsit-K, lokalita Soutěšky - nad lomem. Šířka záběru 10 mm, foto B. Bureš.

Obr. 8 Typická ukázka nárůstu krystalů thomsonitu-Ca na böhmit, lokalita Soutěšky - nad lomem. Šířka záběru 7 mm, foto B. Bureš.

Obr. 9 Průřez kulovitým agregátem böhmitu, světlejší vnitřní část obsahuje menší příměs SiO_2 a je méně hydratovaná než tmavší lem, tenká ohruba je tvořena opálem. Šířka záběru 1.3 mm, BSE foto Z. Dolníček.

Tabulka 1 Rentgenová prášková data böhmítu ze Soutěsek

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
0	2	0	6.075	100	6.108	0	2	2	1.7712	5	1.7701
0	2	1	3.159	36	3.164	1	5	1	1.6608	4	1.6622
1	3	0	2.3431	18	2.3466	0	8	0	1.5268	5	1.5270
0	6	0	2.0454	1	2.0360	1	3	2	1.4546	1	1.4525
1	3	1	1.9803	1	1.9815	2	0	0	1.4363	4	1.4357
1	5	0	1.8612	18	1.8607	1	7	1	1.3817	4	1.3831
0	0	2	1.8499	31	1.8495	0	6	2	1.3673	1	1.3690

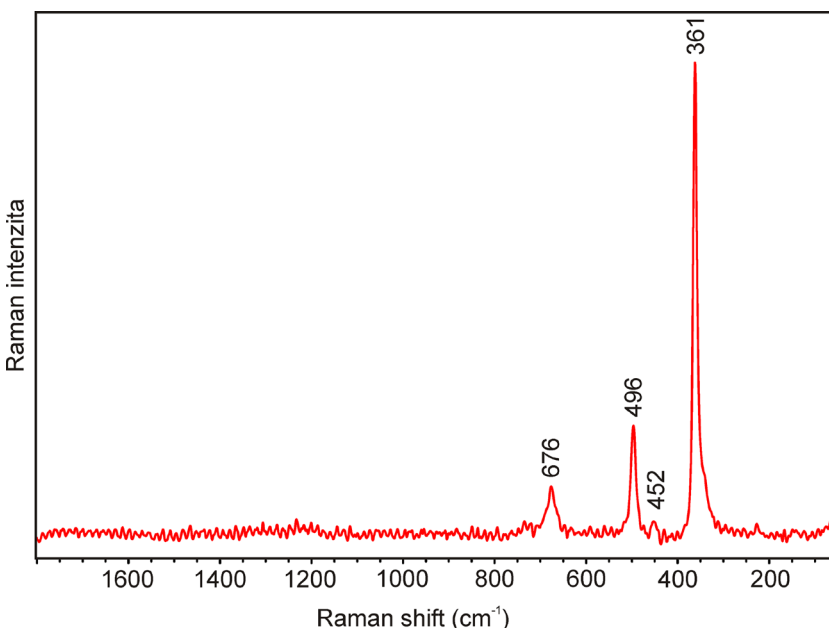
Tabulka 2 Parametry základní cely böhmítu (pro ortorombickou prostorovou grupu Cmc₂)

	tato práce	Bokhimi et al. (2001)	Pauliš et al. (2015a)
<i>a</i> [Å]	2.871(3)	2.8678(1)	2.869(1)
<i>b</i> [Å]	12.216(9)	12.2188(4)	12.218(6)
<i>c</i> [Å]	3.699(4)	3.6941(4)	3.699(2)
<i>V</i> [Å ³]	129.7(2)	129.45	129.7(1)

Tabulka 3 Chemické složení böhmítu ze Soutěsek (hm. %)

	mean	1	2	3
SiO ₂	2.90	3.52	1.95	2.87
Al ₂ O ₃	73.87	74.98	74.17	72.46
MgO	0.40	0.50	0.25	0.45
CaO	0.38	0.43	0.33	0.39
H ₂ O	14.22	14.67	14.28	13.99
total	91.77	94.10	90.98	90.16
Si ⁴⁺	0.061	0.073	0.042	0.062
Al ³⁺	0.918	0.903	0.942	0.915
Mg ²⁺	0.012	0.015	0.008	0.014
Ca ²⁺	0.009	0.009	0.008	0.009
H ⁺	1.000	1.000	1.000	1.000
Σ Si+Al+Mg+Ca	1.000	1.000	1.000	1.000

Koeficienty empirických vzorců počítány na bázi Si+Al+Mg+Ca = 1 *apfu*. Obsahy H₂O dopočteny na bázi ideálního vzorce.



Obr. 10 Ramanovo spektrum böhmítu ze Soutěsek.

Böhmít, ortorombický AlO(OH), je patrně nejzajímavějším minerálem popisované asociace. Vytváří v dutinách charakteristické polokulovité, kulovité a méně často i snopkovité agregáty s radiálně paprscitou stavbou. Velikost agregátů dosahuje běžně 1 až 2 mm, vzácněji až 5 mm (obr. 6). Jen malá část agregátů má vnitřní stavbu strukturně i barevně homogenní, u některých je patrná barevná zonalita. Část agregátů má stavbu výrazně slupkovitou - jsou evidentně složeny z několika koncentrických vrstviček odlišné barvy, ostře oddělených tenoučkou vrstvičkou jiného minerálu. Některé vrstvy obsahují jemně zrnitý kalcit a mohou být zčásti vyloužené. Zjištěny byly i duté útvary tvořené tenkou perimorfózou jílovité nebo železité hmoty, místy druhotně vyplněné thomsonitem-Ca. Barva vrstev böhmítu je nejčastěji bělavá, krémová, žlutavá, nahnědlá či nazelenalá. Povrch agregátů bývá jen vzácně čistý, hladký a bělavý, mnohem častěji je zrnitý, drsný až hrubý, špinavě bílý, krémový, medový, zelenavý i hnědočervený. Agregáty jsou často pokryty produkty zvětrávání, železitými a jílovými hmotami (obr. 7). Někdy je radiálně paprscitá stavba málo výrazná, agregát je až celistvý.

Böhmít v dutinách nasedá na phillipsit-K a je porostlý thomsonitem-Ca (obr. 8) a gismondinem. Kuličky böhmítu jsou často základem kulovitých agregátů thomsonitu-Ca.

Rentgenová prášková data böhmítu ze Soutěsek (tab. 1) jsou blízka datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry dobře odpovídají publikovaným údajům (tab. 2). V BSE obraze se u studovaných vzorků projevuje výrazná chemická zonalita (obr. 9). Vnější zóna sférických agregátů je více hydratovaná a oproti centrální části (cca 2 hm. %) má vyšší příměs SiO₂ (cca 3.5 hm. %). Povrch agregátů často povléká tenká vrstva tvořená SiO₂ (opál?). Kromě Si (až 0.073 *apfu*) byly zjištěny minoritní obsahy Mg (0.008 - 0.015 *apfu*) a Ca (0.009 *apfu*); ostatní měřené prvky jsou pod mezí detekce (tab. 3). Empirický vzorec (průměr tří bodových analýz) na bázi Si+Al+Mg+Ca = 1 *apfu* je možno vyjádřit jako (Al_{0.92}Si_{0.06})_{Σ0.98}O(OH). Ramanovo spektrum (obr. 10) je identické s referenčním spektrem böhmítu.

Thomsonit-Ca je na lokalitě minerálem poměrně běžným, lze ho nalézt i v největších dutinách. Nasedá na phillipsit-K a böhmít (obr. 11 - 14), porůstá jej gismondin. Vytváří dokonale vyvinuté, tlusté tabulkovité i sloupečkové, bezbarvé, často dokonale čiré, skelně lesklé krystaly ukončené plochou bází. Délka krystalů se pohybuje obvykle mezi 1 až 2 mm, vzácněji dosahuje až 4 mm. Thomsonit-Ca často vytváří polokulovité až kulovité útvary o průměru do 8 mm. Agregáty mají charakteristický povrch tvořený tabulkami různé délky, ukončenými bází. Agregáty jsou přítomné v dutinách většinou jednotlivě, ale mohou tvořit i souvislou plochu s ledvinitým povrchem. Další formou výskytu jsou jednotlivé, pěkně vyvinuté tabulky a jejich nahodilě srostlice většinou až 2 mm velké a též svazečkovité a jemně štětičkovité agregáty (obr. 15), vzácně i křížové prorstlice. Zajímavé jsou vzorky, kdy na agregátu böhmítu narůstá jediný, dokonale vyvinutý sloupečkovitý krystal thomsonitu-Ca. Thomsonit-Ca často vyplňuje prázdné prostory v agregátech böhmítu, někdy v podobě zrnitého agregátu, většinou jen jednotlivými prorůstajícími sloupečky.

Rentgenová prášková data thomsonitu-Ca ze Soutěsek (tab. 4) jsou blízká datům pro tento minerální druh, zpřesněné parametry dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit (tab. 5). V BSE obraze je studovaný minerál homogenní. Chemickou analýzou byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Sr a Na; ostatní měřené prvky jsou pod mezí detekce (tab. 6). Empirický vzorec thomsonitu-Ca (průměr šesti bodových analýz) je na bázi 20 atomů kyslíku možno vyjádřit



Obr. 11 Thomsonit-Ca narůstající na böhmít a phillipsit-K, lokalita Soutěsky - nad lomem. Šířka záběru 5.8 mm, foto B. Bureš.

Obr. 12 Thomsonit-Ca, lokalita Soutěsky - nad lomem. Šířka záběru 20 mm, foto B. Bureš.

Obr. 13 Thomsonit-Ca, lokalita Soutěsky - nad lomem. Šířka záběru 6.8 mm, foto B. Bureš.

jako $(Ca_{1.69}Sr_{0.13})_{\Sigma 1.82}(Al_{4.84}Si_{5.17}O_{20}) \cdot 6 H_2O$. Zvýšené hodnoty stroncia (max. 2.28 hm. % SrO; 0.183 *apfu* Sr) nejsou u thomsonitu-Ca v ČR velkou vzácností, například z Tachovského vrchu u Doks je uváděn obsah až 4.5 hm. % SrO (Pauliš et al. 2017) a z Babětína u Těchlovic až 4.7 hm. % SrO (Pauliš et al. 2018a). Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.52$ thomsonitu-Ca ze Soutěsek je ve spodní části rozmezí publikovaného Coombs et al. (1997).

Phillipsit-K je nejstarším a nejhojnějším zeolitem na lokalitě. V dutinách je většinou minerálem jediným. Vytváří v nich souvislou výstelku velmi drobných (pod 0.5 mm), izometrických, bezbarvých až bělavých, skelně lesklých krystalů (např. obr. 6 a 11). Na jiných lokalitách běžné sloupečkové krystaly zde zjištěny nebyly. Povrch krystalů je často povlečen špinavě bílými nerozpustnými produkty větrávání. Na phillipsit-K narůstají ostatní minerály.



Obr. 14 Základem většiny srostlic thomsonitu-Ca jsou kulovité agregáty bohmitu, lokalita Soutěšky – nad lomem. Šířka záběru 6 mm, foto B. Bureš.



Obr. 15 Tenké jehlicovité krystaly thomsonitu-Ca, lokalita Soutěšky – nad lomem. Šířka záběru 6 mm, foto B. Bureš.

Rentgenová prášková data (tab. 7) a zpřesněné mřížkové parametry (tab. 8) phillipsitu-K ze Soutěsek dobře odpovídají publikovaným údajům. V BSE obraze je phillipsit-K chemicky poměrně homogenní. Při studiu jeho chemického složení byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Ba, Na a K; ostatní měřené prvky jsou pod mezí detekce (tab. 9). Empirický vzorec (průměr šesti bodových analýz) je na bázi 32 atomů kyslíku možno vyjádřit jako $(K_{2.22}Ca_{1.74}Na_{0.38}Ba_{0.01})_{\Sigma 4.35}(Al_{5.37}Si_{10.44}O_{32}) \cdot 12 H_2O$. Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.66$ u studovaného phillipsitu-K je ve střední části uváděného rozmezí (Coombs et al. 1997). Obsah BaO (harmotomová složka) je nízký (0.010 - 0.021 *apfu* Ba).

Gismondin se v dutinách velkých 4 až 5 cm vyskytuje spolu s phillipsitem-K, thomsonitem-Ca a bohmitem (obr. 16 a 17), je však poměrně vzácný. Vytváří typické

skelně lesklé, bezbarvé až dokonale čiré dipyramidální krystaly až 2 mm velké. Vzácně vytváří, podobně jako na lokalitě Dobrná („Dobranka“), křížové prorostlice. Nejčastěji se vyskytuje v podobě nenápadných, velice drobných (kolem 0.1 mm) krystalů pravděpodobně zákonitě narůstajících na phillipsit-K. Souvisle porůstá i pseudooktaedrické srostlice phillipsitu-K. Méně často vytváří v dutinách bohaté až souvislé výstelky z větších krystalů. V dutinách může být jediným zeolitem (narostlý na kalcitové výstelce) nebo porůstá phillipsit-K a thomsonit-Ca.

Rentgenová prášková data studovaného gismondinu (tab. 10) jsou blízka datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné mřížkové parametry dobře odpovídají publikovaným údajům (tab. 11). V BSE obraze je studovaný minerál chemicky homogenní. Při studiu chemického složení (tab. 12) byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca a Na; ostatní měřené prvky jsou pod mezí detekce. Empirický vzorec (průměr pěti bodových analýz) na bázi 8 atomů kyslíku je možno vyjádřit jako $(Ca_{0.96}Na_{0.02})_{\Sigma 0.98}(Al_{1.94}Si_{2.06}O_8) \cdot 4.5 H_2O$. Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.51$ se nachází na spodní hranici publikovaného rozmezí gismondinu (Coombs et al. 1997).

Chabazit-Ca byl spolu s analcitem zjištěn v jediném kusu tmavě šedého, silně drobně bublinatého vulkanitu s obsahem hojných, až 3 mm velkých vyrostlic černého pyroxenu. Velikost oválných dutinek se souvislým povlakem jemně krystalovaného phillipsitu-K v této hornině obvykle nepřesahuje 8 mm. V největších dutinkách (do 2 cm délky) tvoří chabazit bezbarvá, skelně lesklá penetrační dvojčata (fakolity) až 7 mm velká.

Rentgenová prášková data chabazitu-Ca ze Soutěsek (tab. 13) jsou blízka datům pro tento minerál-

Tabulka 4 Rentgenová prášková data thomsonitu-Ca ze Soutěsek

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
2	0	0	6.553	20	6.553	0	4	4	2.3178	<1	2.3241	0	7	3	1.7172	<1	1.7178
1	0	2	5.906	4	5.910	5	2	2	2.2837	3	2.2831	3	7	0	1.7154	7	1.7150
1	2	1	5.334	7	5.345	4	4	1	2.2762	2	2.2777	5	3	5	1.7133	9	1.7127
2	2	0	4.623	35	4.624	0	5	3	2.2480	16	2.2471	4	6	3	1.6771	3	1.6766
2	2	1	4.350	20	4.366	6	0	0	2.1847	12	2.1842	7	0	4	1.6294	4	1.6297
0	1	3	4.174	2	4.182	1	0	6	2.1782	10	2.1766	5	6	2	1.6214	8	1.6230
1	3	0	4.111	76	4.129	1	6	1	2.1187	9	2.1185	7	4	1	1.6120	16	1.6119
2	2	2	3.768	3	3.791	1	6	2	2.0432	3	2.0416	3	7	3	1.5997	<1	1.5986
2	3	1	3.493	47	3.496	5	4	1	2.0201	1	2.0196	7	2	4	1.5822	7	1.5811
4	0	0	3.268	15	3.276	5	3	3	2.0033	1	2.0012	6	3	5	1.5712	5	1.5714
0	4	0	3.261	22	3.263	2	6	2	1.9718	1	1.9711	1	6	6	1.5390	1	1.5387
2	2	3	3.193	9	3.193	2	4	5	1.9617	<1	1.9622	3	4	7	1.5327	2	1.5327
3	2	2	3.184	8	3.183	5	4	2	1.9531	2	1.9527	1	8	3	1.5202	<1	1.5201
4	1	1	3.094	<1	3.090	3	1	6	1.9481	5	1.9480	3	2	8	1.5065	2	1.5062
1	4	1	3.071	9	3.080	3	6	2	1.8690	2	1.8683	6	3	6	1.4621	14	1.4623
4	0	2	2.939	21	2.937	5	3	4	1.8583	<1	1.8582	6	6	3	1.4554	3	1.4552
2	4	0	2.922	18	2.921	1	7	0	1.8458	<1	1.8462	3	5	7	1.4453	<1	1.4456
4	2	1	2.858	13	2.859	6	0	4	1.8229	3	1.8232	5	7	3	1.4374	3	1.4367
2	4	1	2.850	100	2.853	0	6	4	1.8192	3	1.8182	5	6	5	1.4147	1	1.4151
2	3	3	2.801	1	2.801	4	6	0	1.8123	12	1.8124	7	2	6	1.3949	1	1.3948
4	2	2	2.682	3	2.678	6	4	1	1.7971	3	1.7983	5	1	8	1.3918	1	1.3917
2	4	2	2.668	80	2.673	7	2	1	1.7823	1	1.7832	1	3	9	1.3860	2	1.3861
5	1	0	2.5707	10	2.5698	2	6	4	1.7521	2	1.7520	0	9	3	1.3786	1	1.3779
1	5	0	2.5591	11	2.5603	4	6	2	1.7469	2	1.7481	5	8	2	1.3563	1	1.3558
1	5	1	2.5161	1	2.5138	2	7	2	1.7329	3	1.7312	6	7	3	1.3504	<1	1.3502
2	3	4	2.4444	2	2.4446												

Tabulka 5 Parametry základní cely thomsonitu-Ca (pro ortorombickou prostorovou grupu Pncn)

			<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
thomsonit-Ca	Soutěsky	tato práce	13.105(3)	13.053(2)	13.243(3)	2265.5(6)
thomsonit-Ca		Stahl et al. (1990)	13.1043(14)	13.0569(18)	13.2463(30)	2266.46
thomsonit-Ca	Tachov	Pauliš et al. (2017)	13.1081(14)	13.0558(18)	13.2448(16)	2266.7(5)
thomsonit-Ca	Jehla	Pauliš et al. (2015b)	13.104(2)	13.056(1)	13.247(2)	2266.4(6)
thomsonit-Ca	Babětín	Pauliš et al. (2018a)	13.1049(12)	13.0559(13)	13.2464(12)	2266.4(4)
thomsonit-Ca	Heřmanice	Pauliš et al. (2018b)	13.104(2)	13.0570(19)	13.245(3)	2266.2(6)
thomsonit-Ca	Hackenberg	Pauliš et al. (2014)	13.104(2)	13.056(1)	13.247(2)	2266.4(6)

Tabulka 6 Chemické složení thomsonitu-Ca ze Soutěsek (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	37.47	37.28	37.20	36.94	37.63	36.78	38.96
Al ₂ O ₃	29.74	29.46	29.69	29.84	30.04	30.27	29.13
CaO	11.45	11.53	11.34	11.47	11.77	11.62	10.99
SrO	1.60	1.32	2.28	1.95	1.84	1.16	1.06
Na ₂ O	4.39	4.71	3.84	4.45	4.21	4.23	4.92
H ₂ O	13.04	13.01	12.96	12.99	13.14	12.98	13.70
total	97.69	97.31	97.31	97.64	98.63	97.04	98.76
Si ⁴⁺	5.169	5.156	5.163	5.117	5.150	5.098	5.115
Al ³⁺	4.836	4.802	4.857	4.872	4.845	4.945	4.507
Ca ²⁺	1.693	1.709	1.686	1.702	1.726	1.726	1.546
Sr ²⁺	0.128	0.145	0.183	0.156	0.146	0.093	0.081
Na ⁺	1.174	1.263	1.034	1.195	1.117	1.136	1.253
ΣCa+Sr	1.302	1.408	1.217	1.351	1.263	1.229	1.334
H ₂ O	6	6	6	6	6	6	6
T _{Si}	0.52	0.52	0.52	0.51	0.52	0.51	0.53

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 20 atomů kyslíku. H₂O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 6 H₂O.

Tabulka 7 Rentgenová prášková data phillipsitu-K ze Soutěsek

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>
-1	1	1	7.087	85	7.103	0	1	3	2.3561	1	2.3561	4	0	1	1.7160	2	1.7157
0	1	1	6.354	22	6.408	-1	6	1	2.2896	1	2.2903	-2	1	5	1.6765	2	1.6766
1	2	0	5.339	32	5.374	2	4	1	2.2534	2	2.2515	1	5	3	1.6417	1	1.6411
0	2	1	5.028	33	5.064	-4	2	3	2.2312	5	2.2315	2	8	0	1.6378	2	1.6379
-2	0	1	4.910	15	4.962	-4	2	1	2.2251	4	2.2242	-5	1	5	1.6260	1	1.6257
-2	1	1	4.649	7	4.688	-1	4	3	2.1860	2	2.1846	-6	2	3	1.6105	<1	1.6114
1	0	1	4.294	18	4.295	3	0	1	2.1603	1	2.1600	-3	6	4	1.6059	1	1.6063
1	3	0	4.113	16	4.116	2	0	2	2.1475	4	2.1473	-2	3	5	1.5910	<1	1.5915
-2	0	2	4.086	50	4.091	2	1	2	2.1253	1	2.1236	3	4	2	1.5625	1	1.5622
2	1	0	3.908	8	3.913	2	2	2	2.0556	1	2.0568	-4	7	3	1.5430	2	1.5422
2	2	0	3.532	1	3.537	2	5	1	2.0370	1	2.0362	-1	6	4	1.5357	1	1.5361
0	1	2	3.461	7	3.476	-3	3	4	1.9770	2	1.9773	-5	6	2	1.5166	<1	1.5164
1	3	1	3.188	100	3.192	-3	5	3	1.9734	1	1.9746	-5	4	5	1.4876	3	1.4881
-2	3	2	3.112	39	3.106	-4	4	1	1.9581	2	1.9585	-4	5	5	1.4787	1	1.4780
-2	0	3	2.911	18	2.913	-1	2	4	1.9318	<1	1.9330	1	4	4	1.4387	<1	1.4384
1	0	2	2.751	18	2.750	-4	3	4	1.8783	1	1.8799	-6	3	1	1.4295	<1	1.4295
-3	0	3	2.738	42	2.727	-2	7	2	1.8304	2	1.8291	5	0	1	1.4211	1	1.4209
-1	5	1	2.703	29	2.702	-5	1	1	1.8150	1	1.8142	3	6	2	1.4040	1	1.4039
-2	4	2	2.690	46	2.693	1	6	2	1.8002	1	1.8019	-2	9	3	1.3958	<1	1.3959
-3	3	1	2.667	19	2.668	0	8	0	1.7893	5	1.7893	4	6	1	1.3930	<1	1.3929
1	2	2	2.5672	3	2.5667	-4	4	4	1.7758	3	1.7757	-5	3	6	1.3696	3	1.3692
3	2	0	2.5356	1	2.5361	4	4	0	1.7692	4	1.7684	-5	7	4	1.3668	2	1.3664
-4	1	2	2.4499	3	2.4444	-3	5	4	1.7307	<1	1.7306	0	7	4	1.3482	1	1.3475
1	3	2	2.3833	9	2.3823												

Tabulka 8 Parametry základní cely phillipsitu (pro monoklinickou prostorovou grupu $P2_1/m$)

			<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	β [°]	<i>V</i> [Å ³]
phillipsit-K	Soutěský	tato práce	9.924(3)	14.314(4)	8.740(2)	124.93(2)	1017.9(5)
phillipsit-Ca	Poustevna	Pauliš et al. (2019)	9.9206(19)	14.315(3)	8.7387(19)	124.92(6)	1017.5(4)
phillipsit-Ca	Zaječí vrch	Pauliš et al. (2019)	9.9226(19)	14.314(3)	8.7396(17)	124.92(5)	1017.8(4)
phillipsit-Ca	Heřmanice	Pauliš et al. (2018b)	9.922(19)	14.314(4)	8.742(18)	124.91(3)	1018.0(4)
phillipsit-K	Svor	Pauliš et al. (2016b)	9.924(2)	14.315(3)	8.742(2)	124.93(7)	1018.2(4)
phillipsit-K	Nový Oldřichov	Pauliš et al. (2016a)	9.925(1)	14.312(3)	8.740(2)	124.92(3)	1018.0(3)
phillipsit-Ca	Nový Oldřichov	Pauliš et al. (2016a)	9.922(1)	14.313(3)	8.743(2)	124.91(2)	1018.1(3)
phillipsit		Gatta et al. (2009)	9.9238(6)	14.3145(5)	8.7416(5)	124.920(9)	1018.2

Tabulka 9 Chemické složení phillipsitu-K ze Soutěsek (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	47.94	47.93	47.00	47.47	47.67	48.72	48.85
Al ₂ O ₃	20.93	21.25	21.53	21.25	20.77	20.82	19.96
CaO	7.44	7.51	7.65	7.52	7.34	7.48	7.16
BaO	0.16	0.13	0.24	0.20	0.13	0.12	0.15
K ₂ O	7.97	8.53	8.19	7.35	7.48	8.08	8.20
Na ₂ O	0.91	0.93	1.07	1.00	1.09	0.91	0.48
H ₂ O	16.51	16.62	16.48	16.45	16.39	16.68	16.46
total	101.86	102.90	102.16	101.24	100.87	102.81	101.26
Si ⁴⁺	10.445	10.373	10.258	10.383	10.461	10.509	10.676
Al ³⁺	5.375	5.420	5.539	5.478	5.372	5.293	5.143
Ca ²⁺	1.737	1.741	1.789	1.763	1.726	1.729	1.677
Ba ²⁺	0.013	0.010	0.021	0.017	0.011	0.010	0.013
K ⁺	2.215	2.356	2.279	2.050	2.094	2.224	2.285
Na ⁺	0.385	0.390	0.454	0.423	0.464	0.381	0.202
ΣCa+Ba+K+Na	4.350	4.497	4.543	4.253	4.295	4.344	4.177
H ₂ O	12	12	12	12	12	12	12
T _{Si}	0.66	0.65	0.65	0.65	0.66	0.66	0.67

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 32 atomů kyslíku. H₂O byla doložena na základě teoretického obsahu 12 H₂O.

ní druh, zpřesněné mřížkové parametry dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit (tab. 14). V BSE obraze je minerál chemicky poměrně homogenní. Chemickou analýzou byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Ba, Sr, K a Na; ostatní měřené prvky jsou pod mezí detekce (tab. 15). Empirický vzorec (průměr čtyř bodových analýz) na bázi 24 atomů kyslíku je možno vyjádřit jako $(Ca_{1.44}K_{1.26}Sr_{0.26}Na_{0.15}Ba_{0.01})_{\Sigma 3.14}(Al_{3.65}Si_{8.04}O_{24}) \cdot 12 H_2O$. Většinou jde o chabazit-Ca, v jedné bodové analýze však obsah K *apfu* převažuje nad Ca *apfu*. Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.69$ je ve střední části rozmezí uváděného pro chabazit-Ca (Coombs et al. 1997).

Analcim byl zjištěn jen v několika drobných dutinách na vzorku s chabazitem-Ca. Vytváří souvislou výstelku

tvorěnou čirými, skelně lesklými trapezodry maximálně 0.4 mm velkými.

Rentgenová prášková data analcimu ze Soutěsek (tab. 16) jsou blízka datům pro tento minerální druh, zpřesněné mřížkové parametry odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit (tab. 17). V BSE obraze je studovaný minerál homogenní. Při studiu chemického složení byly zjištěny obsahy Si, Al a Na; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce (tab. 18). Empirický vzorec analcimu (průměr tří bodových analýz) na bázi 6 atomů kyslíku je možno vyjádřit jako $Na_{0.98}(Al_{0.94}Si_{2.04}O_6) \cdot H_2O$. Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.68$ se nachází v horním limitu rozmezí uváděného pro analcim (Coombs et al. 1997).

Tabulka 10 Rentgenová prášková data gismondinu ze Soutěsek

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
1	1	0	7.273	61	7.288	-1	4	1	2.4912	18	2.4918	5	3	1	1.7060	1	1.7052
-1	1	1	5.929	5	5.943	2	3	2	2.4630	10	2.4647	-4	2	4	1.6989	2	1.6982
1	1	1	5.755	14	5.765	3	3	0	2.4269	3	2.4293	2	4	4	1.6787	1	1.6793
0	2	0	5.307	3	5.315	0	3	3	2.4021	8	2.4042	2	6	0	1.6699	10	1.6701
2	0	0	4.994	8	5.006	-4	1	1	2.3890	1	2.3885	0	6	2	1.6663	1	1.6664
0	0	2	4.903	39	4.909	-1	3	3	2.3583	<1	2.3550	6	1	0	1.6480	5	1.6484
0	2	1	4.666	16	4.674	2	4	0	2.3474	3	2.3472	1	6	2	1.6397	5	1.6399
2	1	0	4.530	1	4.529	-4	0	2	2.2709	<1	2.2704	5	3	2	1.6251	1	1.6233
-1	0	2	4.476	1	4.486	-2	0	4	2.2409	2	2.2431	1	0	6	1.6033	1	1.6038
0	1	2	4.450	9	4.457	-4	2	1	2.2266	1	2.2259	5	2	3	1.5973	<1	1.5981
1	0	2	4.328	1	4.333	4	2	1	2.1887	4	2.1876	-5	0	4	1.5863	1	1.5860
-1	2	1	4.263	82	4.269	3	3	2	2.1489	2	2.1502	0	4	5	1.5794	2	1.5793
1	2	1	4.196	32	4.202	-2	4	2	2.1325	4	2.1347	4	4	3	1.5721	1	1.5708
-1	1	2	4.129	1	4.133	3	2	3	2.1004	4	2.1009	-3	6	1	1.5503	4	1.5503
2	1	1	4.046	19	4.052	-4	2	2	2.0915	10	2.0879	4	3	4	1.5441	2	1.5439
2	2	0	3.638	10	3.644	0	4	3	2.0625	1	2.0630	2	5	4	1.5169	2	1.5175
-2	0	2	3.577	1	3.584	4	3	0	2.0426	7	2.0443	3	3	5	1.5045	<1	1.5039
-2	2	1	3.450	1	3.452	1	5	1	2.0301	4	2.0307	-6	3	1	1.5007	<1	1.5010
2	2	1	3.375	7	3.381	1	4	3	2.0093	9	2.0096	-6	1	3	1.4985	1	1.4985
1	2	2	3.354	8	3.359	-3	3	3	1.9809	<1	1.9812	-3	0	6	1.4955	2	1.4954
3	0	0	3.336	22	3.337	1	3	4	1.9638	4	1.9643	-1	3	6	1.4780	1	1.4781
2	1	2	3.270	3	3.265	0	1	5	1.9303	3	1.9310	-6	3	2	1.4597	1	1.4592
-1	3	1	3.176	100	3.176	-4	3	2	1.9110	10	1.9116	-6	2	3	1.4561	<1	1.4557
0	1	3	3.125	45	3.128	-2	3	4	1.8949	<1	1.8953	-1	7	2	1.4392	1	1.4384
-1	1	3	3.032	70	3.022	5	2	0	1.8742	7	1.8738	2	7	1	1.4357	1	1.4349
3	1	1	2.988	8	2.992	2	3	4	1.8482	2	1.8485	3	1	6	1.4320	1	1.4313
1	1	3	2.945	2	2.951	3	2	4	1.8209	3	1.8201	-5	1	5	1.4210	6	1.4209
0	3	2	2.870	3	2.873	-4	4	1	1.8023	3	1.8018	3	6	3	1.4012	<1	1.4006
-3	2	1	2.739	52	2.743	-4	0	4	1.7915	3	1.7922	-6	1	4	1.3969	7	1.3967
-3	1	2	2.719	4	2.724	0	5	3	1.7830	6	1.7828	-1	4	6	1.3872	1	1.3872
3	0	2	2.708	35	2.705	0	6	0	1.7722	1	1.7716	1	4	6	1.3740	2	1.3731
0	4	0	2.657	44	2.657	-3	3	4	1.7547	6	1.7549	3	7	1	1.3652	<1	1.3653
3	1	2	2.618	8	2.622	-2	2	5	1.7529	7	1.7522	-2	4	6	1.3561	1	1.3555
2	1	3	2.602	3	2.604	3	4	3	1.7333	<1	1.7335	6	3	3	1.3504	1	1.3506
0	4	1	2.5635	4	2.5652	4	0	4	1.7152	2	1.7153						

Tabulka 11 Parametry základní cely gismondinu (pro monoklinickou prostorovou grupu *P2₁/c*)

	tato práce	Rinaldi, Vezzalini (1985)	Pauliš et al. (2014)	Pauliš et al. (2015b)
<i>a</i> [Å]	10.0212(13)	10.0197(7)	10.021(2)	10.019(5)
<i>b</i> [Å]	10.6298(15)	10.6347(7)	10.630(3)	10.639(4)
<i>c</i> [Å]	9.8279(13)	9.8323(5)	9.828(3)	9.832(4)
β [°]	92.51(3)	92.511(7)	92.51	92.54(4)
<i>V</i> [Å ³]	1045.9(2)	1046.69	1045.8(5)	1045(8)

Tabulka 12 Chemické složení gismondinu ze Soutěsek (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5
SiO ₂	37.79	37.88	37.76	37.13	37.98	38.22
Al ₂ O ₃	30.24	30.39	30.93	29.81	29.89	30.16
CaO	16.41	16.47	16.28	16.32	16.59	16.41
Na ₂ O	0.14	0	0.33	0.29	0.10	0
H ₂ O	24.75	24.81	24.96	24.41	24.74	24.85
total	109.33	109.55	110.26	107.96	109.30	109.64
Si ⁴⁺	2.060	2.060	2.041	2.052	2.039	2.076
Al ³⁺	1.943	1.948	1.971	1.942	1.935	1.930
Ca ²⁺	0.958	0.959	0.943	0.966	0.976	0.955
Na ⁺	0.016	0	0.034	0.031	0.011	0
ΣCa+Na	0.974	0.959	0.977	0.997	0.987	0.955
H ₂ O	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
T _{Si}	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 8 atomů kyslíku. H₂O byla dopočítána na základě teoretického obsahu 4.5 H₂O.



Natrolit je na lokalitě, na rozdíl od nedalekého lomu, minerálem vzácným. Nalezen byl pouze v několika málo vzorcích. Vytváří bezbarvé až bělavé štětičkové agregáty z jednotlivě vyvinutých, různě dlouhých jehliček až 2 mm dlouhých, nebo kulovitě agregáty průměru do 4 mm. Pravděpodobně srůstá s thomsonitem-Ca. Analyzována byla pouze nestechiometrická čistě sodná fáze pravděpodobného natrolitu srůstajícího s thomsonitem-Ca.

Kalcit se v dutinách vyskytuje patrně ve třech generacích. V podobě jemně zrnité vrstvy vytváří na některých místech základní výstelku dutin, na kterou nasedají phillipsit-K a gismondin. V další generaci tvoří kalcit opět souvislou vrstvu, vzácně i pěkně vyvinuté krystaly, které porůstají thomsonit-Ca. Kalcit patrně též tvořil zóny v agregátech bohmitu, které po vyloužení poskytly prázdné prostory, místy následně vyplněné thomsonitem-Ca. Nejmladší generace kalcitu tvoří až 1 cm velké bezbarvé, vínové až medové, většinou klencové krystaly v dutinách. Někdy dutiny zcela vyplňuje.

Několik set metrů sz. od lokality bohmitu se nacházejí dvě naleziště pěkně krystalovaného „augitu“. Několik metrů mocná poloha světle hnědých pyroklastik obsahuje matné černé krystaly tlustě tabulkového tvaru o velikosti až 1 cm. Zajímavější jsou krystaly z autometamorfne rozloženého vulkanitu, jehož výchoz o něco níže ve svahu objevil již nežijící teplický sběratel Josef Rychtecký v roce 1985. Křížové prorostlice tenké tabulkovitých, lesklých, dokonale omezených krystalů jsou až 15 mm dlouhé a cca 2 mm tlusté. Ze silně rozloženého vulkanitu je lze vypreparovat bez poškození (obr. 18). Augit někdy vytváří i mnohočetné prorostlice kolem 1 cm velké, složené z velice tenkých

Obr. 16 Vzácná asociace gismondinu s bohmitem, lokalita Soutěšky – nad lomem. Šířka záběru 5.8 mm, foto B. Bureš.

Obr. 17 Gismondin s bohmitem, lokalita Soutěšky – nad lomem. Šířka záběru 3.9 mm, foto B. Bureš.

Tabulka 13 Rentgenová prášková data chabazitu-Ca ze Soutěsek

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
1	0	1	9.396	10	9.359	4	0	4	2.3461	1	2.3398	4	4	3	1.6320	1	1.6333
0	1	2	6.301	4	6.359	3	3	0	2.3029	1	2.3039	1	1	9	1.6182	<1	1.6212
0	2	1	5.513	10	5.560	3	1	5	2.2289	1	2.2267	0	4	8	1.5880	1	1.5896
0	0	3	4.989	8	5.003	3	2	4	2.2199	1	2.2162	7	1	0	1.5861	<1	1.5857
2	1	1	4.303	100	4.332	3	0	6	2.1195	1	2.1195	2	3	8	1.5529	7	1.5492
1	1	3	4.075	2	4.053	1	0	7	2.1136	1	2.1106	6	2	4	1.5182	1	1.5182
3	0	0	4.025	1	3.990	6	0	0	1.9907	1	1.9952	7	1	3	1.5120	<1	1.5116
1	0	4	3.562	24	3.581	2	1	7	1.9403	2	1.9376	5	3	5	1.4869	1	1.4860
2	2	0	3.451	1	3.456	3	4	2	1.9057	4	1.9037	4	3	7	1.4486	1	1.4499
1	3	1	3.245	2	3.242	5	1	4	1.8643	7	1.8656	4	2	8	1.4461	<1	1.4442
0	2	4	3.182	1	3.179	6	0	3	1.8522	<1	1.8533	4	4	6	1.4242	<1	1.4217
3	0	3	3.111	1	3.120	1	3	7	1.7995	17	1.8013	5	4	4	1.4184	<1	1.4190
0	1	5	2.913	66	2.912	4	4	0	1.7292	1	1.7279	1	5	8	1.4144	2	1.4137
2	1	4	2.875	19	2.888	3	2	7	1.6885	3	1.6901	4	1	9	1.4040	1	1.4057
2	2	3	2.827	3	2.843	5	3	2	1.6654	2	1.6675	0	8	4	1.3892	1	1.3900
2	0	5	2.674	9	2.683	1	6	4	1.6418	3	1.6416	3	4	8	1.3610	<1	1.3580
1	3	4	2.4920	14	2.4866												

Tabulka 14 Parametry základní cely chabazitu-Ca (pro trigonální prostorovou grupu R-3m)

	<i>a</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
chabazit (tato práce)	13.824(6)	15.0094(4)	2483.9(8)
chabazit-Ca Poustevna (Pauliš et al. 2019)	13.8088(4)	15.0395(3)	2482.5(7)
chabazit Zaječí vrch (Pauliš et al. 2019)	13.819(6)	15.0186(3)	2483.7(8)
chabazit-Ca Heřmanice (Pauliš et al. 2018b)	13.814(5)	15.0449(3)	2486.3(9)
chabazit-Ca (Yakubovich et al. 2005)	13.831(3)	15.023(5)	2488.83
chabazit-Ca Tachov (Pauliš et al. 2017)	13.833(8)	15.0213(3)	2490(1)
chabazit-Ca Hackenberg (Pauliš et al. 2014)	13.837(6)	15.0073(4)	2488(1)
chabazit-Ca Jehla (Pauliš et al. 2015b)	13.820(6)	15.0226(4)	2484.9(1)

Tabulka 15 Chemické složení chabazitu-Ca ze Soutěsek (hm. %)

	mean	1	2	3	4
SiO ₂	45.26	41.39	43.50	47.33	48.83
Al ₂ O ₃	17.44	17.77	18.56	16.67	16.77
CaO	7.58	7.41	7.48	7.62	7.81
SrO	2.73	3.53	3.63	1.26	2.49
BaO	0.15	0.24	0.13	0.09	0.13
K ₂ O	5.54	6.69	5.96	5.39	4.12
Na ₂ O	0.43	0.44	0.85	0.23	0.20
H ₂ O	20.25	19.33	20.63	20.50	20.99
total	99.38	96.80	101.04	99.09	101.34
Si ⁴⁺	8.042	7.703	7.584	8.308	8.371
Al ³⁺	3.651	3.898	3.814	3.449	3.389
Ca ²⁺	1.444	1.477	1.398	1.433	1.435
Sr ²⁺	0.281	0.381	0.367	0.129	0.247
Ba ²⁺	0.011	0.018	0.011	0.006	0.010
K ⁺	1.256	1.588	1.327	1.205	0.898
Na ⁺	0.147	0.159	0.287	0.078	0.066
ΣCa+Sr+Ba+K+Na	3.139	3.623	3.390	2.851	2.656
H ₂ O	12	12	12	12	12
T _{Si}	0.69	0.66	0.67	0.71	0.71

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 24 atomů kyslíku. H₂O byla dopočítána na základě teoretického obsahu 12 H₂O.

Tabulka 16 Rentgenová prášková data analcimu ze Soutěsek

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
1	1	2	5.575	86	5.593	2	5	5	1.8645	6	1.8643
2	0	2	4.829	18	4.843	6	2	4	1.8303	1	1.8307
1	2	3	3.654	11	3.661	2	3	7	1.7393	10	1.7398
0	0	4	3.419	100	3.423	0	0	8	1.7128	2	1.7124
0	2	4	3.067	1	3.063	1	4	7	1.6853	2	1.6863
3	2	3	2.917	75	2.921	0	2	8	1.6609	1	1.6613
2	2	4	2.794	5	2.796	6	0	6	1.6149	1	1.6145
1	3	4	2.684	29	2.687	3	4	7	1.5927	3	1.5925
2	1	5	2.5014	12	2.5012	4	2	8	1.4955	1	1.4947
4	0	4	2.4199	5	2.4217	6	5	5	1.4779	2	1.4772
2	3	5	2.2206	6	2.2223	6	4	6	1.4612	1	1.4604
0	2	6	2.1627	1	2.1661	5	4	7	1.4435	1	1.4440
1	4	5	2.1130	2	2.1139	3	6	7	1.4133	18	1.4130
3	1	6	2.0192	3	2.0199	5	3	8	1.3847	1	1.3839
4	4	4	1.9776	<1	1.9773	6	0	8	1.3704	1	1.3699
3	4	5	1.9367	1	1.9374	2	7	7	1.3570	4	1.3564
6	0	4	1.8986	22	1.8998						

Tabulka 17 Parametry základní cely analcimu (pro kubickou prostorovou grupu Ia-3d)

	tato práce	Gatta et al. (2006)	Pauliš et al. (2014)	Pauliš et al. (2017)
<i>a</i> [Å]	13.699(4)	13.6999(3)	13.703(5)	13.709(6)
<i>V</i> [Å ³]	2571.1(8)	2571.3	2573(1)	2576(1)

Tabulka 18 Chemické složení analcimu ze Soutěsek (hm. %)

	mean	1	2	3
SiO ₂	55.58	55.96	54.96	56.41
Al ₂ O ₃	21.83	21.72	22.08	21.69
Na ₂ O	13.80	13.64	13.92	13.85
H ₂ O	8.16	8.18	7.69	8.23
total	99.37	99.50	98.06	100.18
Si ⁴⁺	2.041	2.050	1.974	2.056
Al ³⁺	0.945	0.938	1.015	0.932
Na ⁺	0.983	0.985	1.052	0.979
H ₂ O	1	1	1	1
T _{Si}	0.68	0.69	0.66	0.69

Empirický vzorec byl přepočten na bázi šesti atomů kyslíku. H₂O byla do počítána na základě teoretického obsahu 1 H₂O.



(kolem 1 mm), skelně lesklých tabulek. Poměrně estetické křížové srostlice augitu se vyskytují i ve valounech vulkanitů v korytě Ploučnice v údolí pod lokalitou.

Závěr

Popisovaná zeolitová lokalita je zajímavá především poměrně hojným výskytem böhmitu, který byl v českých neovulkanitech dosud zaznamenán pouze na třech místech, v Mokré u Žlutic (Černý et al. 2002), Děpoltovicích u Karlových Varů (Sejkora et al. 2010) a na lokalitě Horní Hrad (Pauliš et al. 2015a). Posloupnost krystalizace minerálů v dutinách zdejších vulkanitů lze zjednodušeně popsat řadou kalcit I → phillipsit-K → böhmit → kalcit II → thomsonit-Ca → gismondin → kalcit III. Samostatně se v dutinách vyskytují analcim (starší) a chabazit-Ca (mladší). Tyto minerály krystalizovaly patrně ze slabě temperovaných roztoků obohacených Al ionty a alkáliemi, jejichž zdroj lze najít v alterovaných horninotvorných aluminosilikátech (analcim, nefelín).

Svahy lemující údolí Ploučnice mezi Benešovem nad Ploučnicí a Březinami zřejmě přinesou další nálezy böhmitu, respektive minerálů jemu blízkých. Vzhledem k nenápadnosti a možné záměně s jinými minerály nebude patrně popisovaný výskyt böhmitu ojedinělý ani v širším kontextu Českého středohoří.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za fotografie B. Burešovi z Prahy, Z. Dvořákovi z Teplic a P. Zemanovi z Verneřic. Oběma recenzentům (J. Tvrď a J. Toman) patří dík za podnětné připomínky, které přispěly ke zvýšení kvality rukopisu. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 - cíl DKRVO 1.1.c).

Obr. 18 Volné krystaly augitu, lokalita Soutěsky – nad lomem. Velikost největšího krystalu je 14 × 8 mm, foto Z. Dvořák.

Literatura

- BOKHIMI X, TOLEDO-ANTONIO JA, GUZMAN-CASTILLO ML, HERNANDEZ-BELTRAN F (2001) Relationship between crystallite size and bond lengths in boehmite. *J Solid State Chem* 159: 32-40
- COOMBS DS, ALBERTI A, ARMBRUSTER T, ARTIOLI G, COLELLA C, GALLI E, GRICE JD, LIEBAU F, MANDARINO JA, MINATO H, NICKEL EH, PASSAGLIA E, PEACOR DR, QUARTIERI S, RINALDI R, ROSS M, SHEPPARD RA, TILLMANN 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
- ČERNÝ P, ČERNÝ P, HABERMANN V, KOLOUŠEK D, ONDRUŠ P, VESELOVSKÝ F (2002) Mokrá u Žlutic, lokalita gibbsitu, böhmitu a zeolitů. *Minerál* 10(6): 403-408
- GATTA GD, CAPPELLETTI P, ROTIROTI 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 GD, NESTOLA F, BOFFA BALLARAN T (2006) Elastic behavior, phase transition, and pressure induced structural evolution of analcime. *Am Mineral* 91: 568-578
- KUŽVART M ED (1983) Ložiska nerudných surovin ČSR. Univerzita Karlova 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
- 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
- PAULIŠ P, DVOŘÁK Z, SVEJKOVSKÝ J, MALÍKOVÁ R, POUR O, SOUMAR J (2015a) Böhmit z klasického naleziště zeolitů Horní Hrad (Hauenštejn) v Krušných horách (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 23(1): 60-62
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, JANEČEK O, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, POUR O, FEDIUK F (2015b) Tschermichit, garronit-Ca a doprovodná mineralizace z Jehly u České Kamenice (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 23(2): 147-170
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, JANEČEK O, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, FEDIUK F (2016a) Zeolitová mineralizace z Nového Oldřichova u Kamenického Šenova (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 24(1): 100-113
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, JANEČEK O, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, POUR O, FEDIUK F (2016b) Zeolitová mineralizace ze Svoru u Nového Boru (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 24, 2: 194-204
- PAULIŠ P, JANEČEK O, HRŮZEK L, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, FEDIUK F, POUR O (2017) Nordstrandit a zeolitová mineralizace fonolitu Tachovského vrchu u Doks (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 25(1): 69-84
- PAULIŠ P, ZEMAN P, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, VRTIŠKA L, DOLNÍČEK Z, FEDIUK F, POUR O (2018a) Zeolitová mineralizace s thomsonitem-Ca z Babětína u Těchlovic v Českém středohoří (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 26(1): 1-11
- PAULIŠ P, ZEMAN P, ZEMAN V, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, VRTIŠKA L, DOLNÍČEK Z, FEDIUK F, POUR O, RADOŇ M (2018b) Zeolitová mineralizace z Heřmanic u České Lípy (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 26(2): 123-137
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, SEJKORA J, DOLNÍČEK Z, MALÍKOVÁ R, EKRT B, POUR O, FEDIUK F, JANEČEK O (2019) Zeolitová mineralizace ze Zaječího vrchu a Poustevny u Nového Boru (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 27(2): 346-370
- POUCHOU JL, PICOIR F (1985) "PAP" ($\varphi\rho Z$) 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 symplex. *Stud Surf Sci Catal* 24: 481-492
- SEJKORA J, JEBAVÁ I, PLÁŠIL J, BUREŠ B, TVRDÝ J (2010) Nordstrandit z lomu v Děpoltovicích u Karlových Varů (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 18(1): 33-41
- STAHL K, KVICK A, SMITH JV (1990) Thomsonite, a neutron diffraction study at 13K. *Acta Crystallogr Sect C* 46: 1370-1373
- YAKUBOVICH OV, MASSA W, GAVRILENKO PG, PEKOV IV (2005) Crystal structure of chabazite. *Kristallografiya* 50(4): 595-604