

# Nordstrandit a zeolitová mineralizace fonolitu Tachovského vrchu u Doks (Česká republika)

## Nordstrandite and zeolite mineralization in phonolite of Tachovský Hill near Doks (Czech Republic)

PETR PAULIŠ<sup>1,2)\*</sup>, OLDŘICH JANEČEK<sup>3)</sup>, LIBOR HRŮZEK<sup>4)</sup>, JIŘÍ SEJKORA<sup>2)</sup>, RADANA MALÍKOVÁ<sup>2)</sup>, FERRY FEDIUK<sup>5)</sup> A ONDŘEJ POUR<sup>6)</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>Albrechtická 613, 434 01 Most

<sup>4)</sup>Pobřežní 1016, 471 14 Kamenický Šenov

<sup>5)</sup>Na Petřínách 1897, 162 00 Praha 6

<sup>6)</sup>Česká geologická služba, Geologická 6, 152 00 Praha 5

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 ISSN 2570-7337

### Abstract

The rare Al-hydroxide, nordstrandite, has been recently found in the cenozoic Ti-garnet bearing hauyne phonolite body of the Tachovský Hill near Doks (Czech Republic). It occurs in fissures of phonolite as irregular aggregates of colorless to yellowish crystals up to 1 mm in length, spherical aggregates with pearly lustre up to 1 cm across and rarely honey yellow hemispherical aggregates with crystalline surface up to 4 mm in size in association with natrolite, calcite, aragonite and fluorite. Nordstrandite is triclinic, space group *P*-1 with following unit-cell parameters *a* 5.119(6), *b* 5.082(6), *c* 5.125(6) Å,  $\alpha$  70.3(7)°,  $\beta$  73.9(8)°,  $\gamma$  58.4(7)° and *V* 106.0(2) Å<sup>3</sup>. Chemical analyses of nordstrandite correspond to the empirical formula (Al<sub>0.99</sub>Si<sub>0.01</sub>)<sub>Σ=1.00</sub>(OH)<sub>3</sub>. The most abundant zeolite in studied material is analcime, it forms crystals up to 15 mm in size. Its unit-cell parameter is *a* 13.709(6) Å and *V* 2576(1) Å<sup>3</sup>. Other determined zeolites (chabasite-Ca, natrolite, phillipsite-Ca, thomsonite-Ca) are more rare. The unit-cell parameters of chabazite-Ca are *a* 13.833(8), *c* 15.0213(3) Å and *V* 2490(1) Å<sup>3</sup>. Its chemical analyses correspond to the empirical formula Ca<sub>1.13</sub>Sr<sub>0.58</sub>Na<sub>0.18</sub>K<sub>0.10</sub>Ba<sub>0.01</sub>(Si<sub>7.81</sub>Al<sub>4.13</sub>Fe<sub>0.12</sub>)O<sub>24</sub>·12 H<sub>2</sub>O. The unit-cell parameters of natrolite, are *a* 18.344(3), *b* 18.558(4), *c* 6.587(1) Å and *V* 2242.4(9) Å<sup>3</sup>. Its chemical analyses correspond to the empirical formula Na<sub>1.88</sub>Ca<sub>0.01</sub>(Si<sub>3.03</sub>Al<sub>1.96</sub>)O<sub>10</sub>·2 H<sub>2</sub>O. The unit-cell parameters of phillipsite-Ca are *a* 9.926(2), *b* 14.303(4), *c* 8.742(2) Å,  $\beta$  124.92(5)° and *V* 1017.7(4) Å<sup>3</sup>. Its chemical composition is possible to express by empirical formula Ca<sub>1.15</sub>K<sub>1.09</sub>Na<sub>0.87</sub>Ba<sub>0.16</sub>(Si<sub>10.86</sub>Al<sub>5.06</sub>Fe<sub>0.27</sub>)O<sub>32</sub>·12 H<sub>2</sub>O. The unit-cell parameters of thomsonite-Ca are *a* 13.1081(14), *b* 13.0558(18), *c* 13.2448(16) Å and *V* 2266.7(5) Å<sup>3</sup>. Two types of thomsonite-Ca with various Sr content were determined with empirical formulae Ca<sub>1.68</sub>Na<sub>1.01</sub>Sr<sub>0.19</sub>(Si<sub>5.23</sub>Al<sub>4.78</sub>)O<sub>20</sub>·6 H<sub>2</sub>O and Ca<sub>1.63</sub>Na<sub>1.02</sub>Sr<sub>0.36</sub>(Si<sub>5.10</sub>Al<sub>4.86</sub>)O<sub>20</sub>·6 H<sub>2</sub>O, respectively.

**Key words:** nordstrandite, analcime, chabazite-Ca, natrolite, phillipsite-Ca, thomsonite-Ca, powder X-ray diffraction data, unit-cell parameters, chemical composition, phonolite Tachovský Hill, Czech Republic

Obdrženo: 27. 7. 2017; přijato: 28. 8. 2017

### Úvod

Tachovský vrch (historický název Tachaberg) je výrazná lesnatá terénní elevace, chlum vystupující 2.5 km jv. od Doks v jv. extravilánu obce Tachov (Česká republika, GPS: 50°32'19"N; 14°38'44"E). Ve stavu z poloviny minulého století představoval mezi řadou dalších sopečných kopců Dokeské pahorkatiny v její části zvané Jestřebská kotlina nápadnou, ve směru ZJZ - VSV mírně protáhlou krajinou dominantu, kulminující kótou 498 m. Těžbou kamene byl však v závěru minulého století silně destruován do dnešní podoby antropogenní trosky, snížené zhruba o 50 m, na vrcholu třepené a uvnitř odlesněné a „kráterově“ vykotlané prohlubni pětietážového kamenolomu o šířce 180 m, délce 550 m a hloubce 50 m (obr. 1 - 3). Na

dalším porušení přírodního rázu kopce se též podepsaly technické stavby lomu, příjezdová komunikace a depozice těžebního odpadu. Těžbou byla nevratně likvidována specifická zvláštnost lokality, 7 m dlouhá puklinová jeskyně, zvaná Geldkeller (Kühn 2006), ve vrcholové, dnes již odtěžené části kopce. Lesem porostlý svah vně kamenolomu skrývá balvanitou suť s náznakovými mrazovými sruby. Kamenolom byl založen v roce 1937, v současnosti zde těží a drcené kamenivo vyrábí společnost Eurovia Kamenolomy. Hornina byla dříve používána, mimo jiné, na dlažební kameny (Doksy) a na zpevňování přístavních hrází.



**Obr. 1** Celkový pohled na kamenolom na Tachovském vrchu od západu, v pozadí Bezděz, letecký snímek fy Fotoport, L. Mimra, 2014.



**Obr. 2** Kamenolom na Tachovském vrchu, foto P. Pauliš, 2017.



**Obr. 3** Kamenolom na Tachovském vrchu, pohled na spodní etáž, foto P. Pauliš, 2017.

## Geologie a petrologie lokality

Základní jednotkou geologické stavby širšího okolí Tachovského vrchu jsou sedimenty české křídové pánve. Jsou tu zastoupeny jejími vyššími členy stáří svrchního turonu a coniaku. Převážně mají povahu kalinických pískovců přecházejících do pískovců s podstatným podílem jílovité až slítné složky. Tachovský vrch obepínají v širokém kruhu a do dobývacího prostoru kamenolomu pronikají v jeho nejnižším zjz. okraji. Zde vystupují v bezprostředním, subvertikálně probíhajícím kontaktu s tachovským fonolitem. V endokontaktu (ve vyvělině), v úzké stykové zóně, je vyvinut tzv. zchlazený okraj (chilled margin), v exokontaktu (v sedimentu) „žehličkový efekt“, způsobený vypuzením vlhkosti a s ní i železitého barviva, projevující se vznikem přikontaktní sloupcovité odlučnosti, simulující obdobné rozpukání v přilehlém vulkanitu. Tento subvertikálně probíhající styk je perfektně stěnově obnažen a patří k nejpozoruhodnějším odkryvům daného typu, jaké jsou u nás ke spatření (Fediuk 1995).

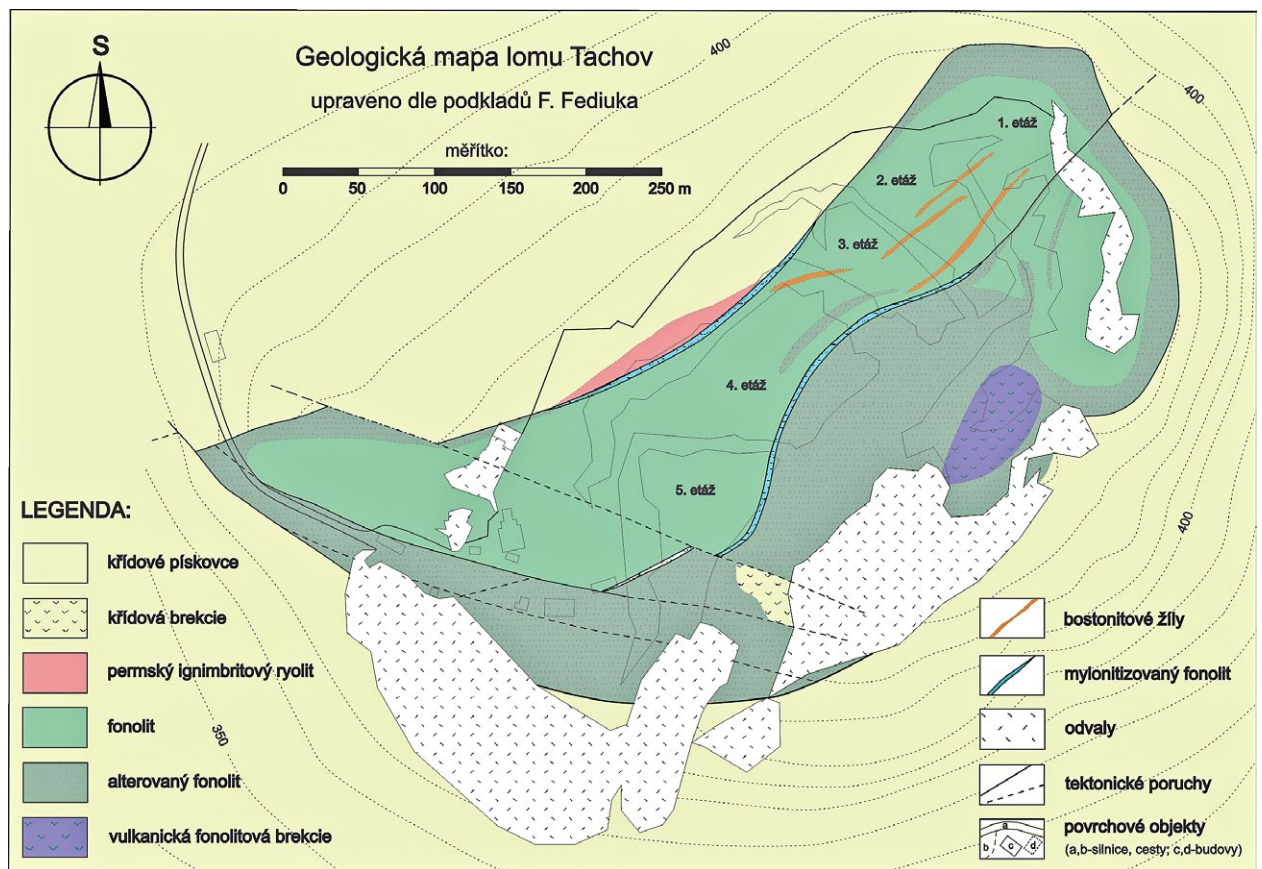
Ačkoliv má křídový útvar a jeho sedimenty na Dokesku zcela převažující rozlohu, horninami, které se tu krajinně nejvýrazněji prosazují, jsou horniny mladší, a totiž terciérní vulkanity. Prorážejí na řadě míst sedimentárním podkladem a díky svým geotechnickým vlastnostem vytvářejí nejnápadnější dominanty ve tváři krajiny. Jejich vůdčím reprezentantem tu je impozantní kužel Velkého Bezdězu o výšce 604 m, který je od Tachovského vrchu vzdálen východním směrem 4.5 km. Tyto vulkanity jsou součástí severočeské kenozoické alkalické vulkanické provincie a ve zdejší oblasti jsou zastoupeny jednak alkalickými bazaltoidy, jednak fonolity. K řadě místních fonolitů patří kromě obou Bezdězů, Vrátné hory a Maršovického vrchu také hornina Tachovského vrchu, jejíž petrologická charakteristika bude uvedena níže.

V prostoru Dokeské pahorkatiny jsme daleko od okrajů české křídové pánve. Přesto však již od konce 18. století (viz Horný a kol. 1963) je z tohoto území o Maršovickém vrchu, situovaného 6 km k ZSZ od Tachovského vrchu, známo, že se tu tektonickým zdvihem na tzv. maršovicko-bezdězské elevaci, ve spojitosti s terciérním fonolitem, vynořuje předkřídové podloží. Je zastoupeno spodnopaleozoickými epirolyty (kvarckeratofyry), zelenými břidlicemi a fylity. Epirolytová (kvarckeratofyrová) hornina podobná

té z Maršovického vrchu byla v ojedinělých úlomcích zjištěna na sz. úbočí Malého Bezdězu (Fediuk 1997). V roce 1915 zaznamenal Müller drobný výskyt permského ryolitu jako tektonického „útržku“ na s. úbočí terciárního vulkanitu Koreckého vrchu, vystupujícího 2.5 km ZJZ od Tachovského vrchu. Podstatně rozsáhlejší výskyt permského ryolitového ignimbritu, jako 150 m dlouhé a několik desítek metrů široké kry, byl nově zjištěn přímo na Tachovském vrchu Fediukem (1995). Vystupuje podél příjezdové cesty ke 3. etáži kamenolomu. Geologické poměry studované lokality jsou demonstrovány na obrázku 4.

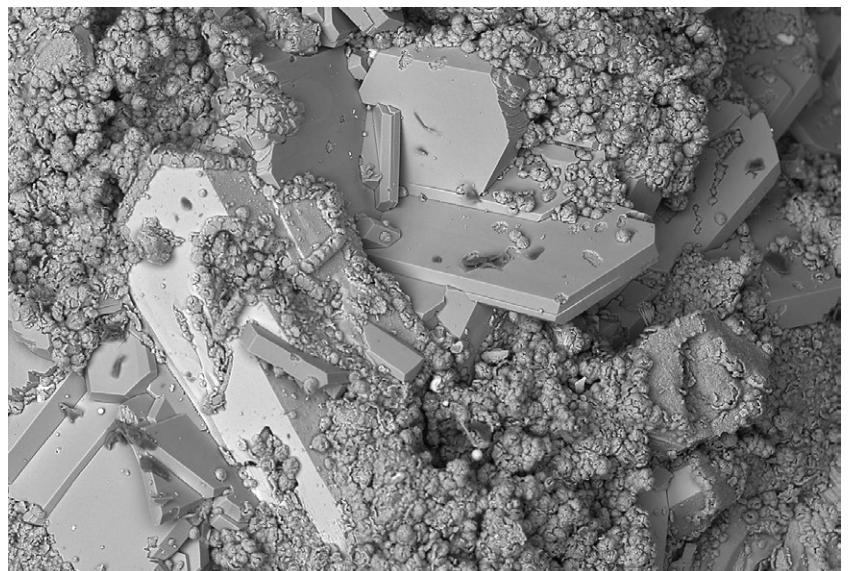
Petrografické povaze vlastního třetihorního vulkanitu Tachovského vrchu, ústřední hornině lokality a výhradního předmětu lomové těžby, byla věnována značná pozor-

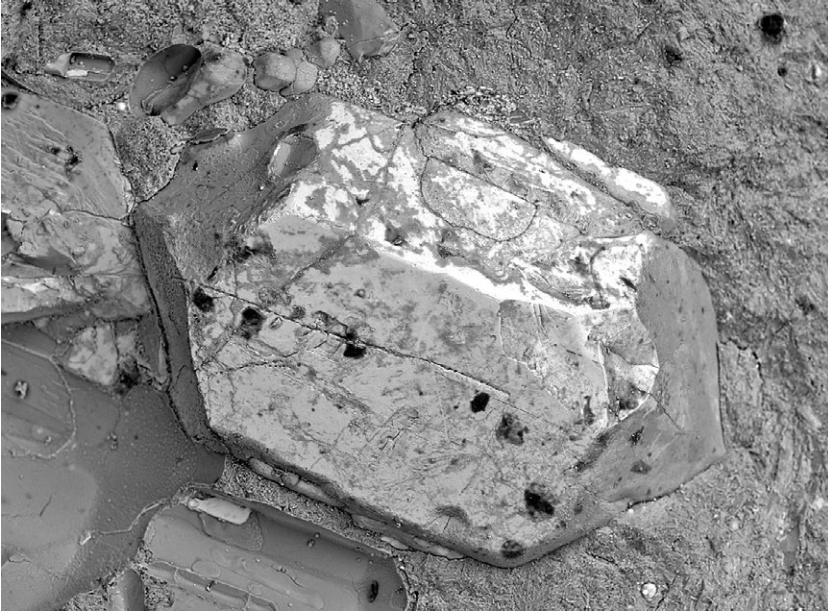
nost dlouhé řady autorů (Wurm 1904; Scheumann 1913; Müller 1915; Senger 1930; Preller 1949; Bahenský 1950; Kopecký 1951; Stejskal, Pelíšek 1956; Hejtmán 1957; Vilímek a kol. 1961; Shrbený, Macháček 1973; Kavka 1960, 1975; Jablonský a kol. 1984; Honsa 1985; Pivec, Dubanská 1990; Vaněčková et al. 1993; Fediuk 1995; Fediuk, Fediuková 1996). Zdejší vulkanit má, ať ho klasifikujeme v petrologickém nebo chemickém ohledu, povahu fonolitu. Jeho barva je relativně tmavší - mezi českými fonolity patří k nejtmaším - a místo nefelinu je v něm jako felsická součástka, vedle převládajícího sanidinu, zastoupen minerál sodalitové skupiny, obvykle doprovázený analcím. Lze ho označit za hauynický, případně analcimicko-hauynický fonolit.



Obr. 4 Geologická mapa Tachovského vrchu (podle Fediuka 1995 upravil K. Babka).

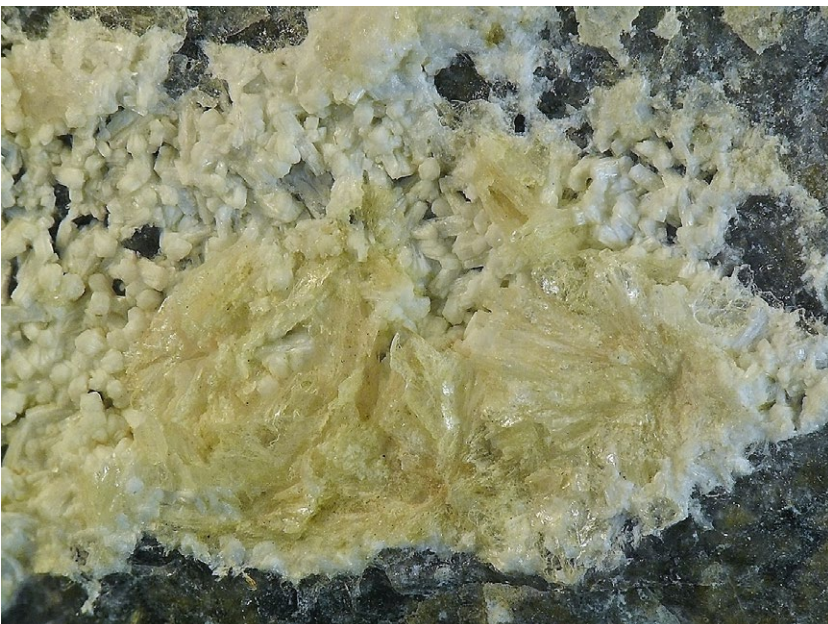
Obr. 5 Tabulkovité krystaly sanidinu z Tachovského vrchu; šířka záběru 700  $\mu$ m. BSE foto L. Váchová.





V minerálním složení tachovského fonolitu patří vůdčí role jednoznačně sanidinu. Ve vyrostlicových rozměrech se sice objevuje jen zřídka, zato v základní hmotě jasně dominuje. V drobných dutinách tvoří i velmi malé tabulkovité krystaly (obr. 5). Mikrosondové analýzy (Fediuk, Fediuková 1997) prokázaly, že v jeho okrajových lemech stoupá někdy obsah barya na hodnoty, kdy je tento živec nutno klasifikovat jako hyalofán. Za živcem ve značném kvantitativním odstupu následuje vyrostlicový hauyn, v základní hmotě analcim a egirin, jako podružná akcesorie se objevuje titanit, sporadicky se vyskytne rudní minerál. Oranžové protáhle psaníčkové krystaly titanitu, vzácně až 5 mm velikosti, bývají často zdvojitě a vytvářejí kontaktní dvojčata v partiích analcimizovaného fonolitu, často v doprovodu až 4 mm dlouhých bezbarvých, šedých či světle fialových jehličkových a sloupečkových krystalů fluorapatitu (obr. 6). Kromě toho je standardní součástí zdejší fonolitové minerální asociace ještě Ti-andradit (*melanit*). I přes malé rozměry zrn kolem 0.05 mm a celkové množství do 4 % je pro zdejší horninu naprosto charakteristickým markantem (Fediuk 1998). Objevil ho zde Wurm (1904), podrobně se jím zabýval Senger (1930) a jeho chemické složení a z něj plynoucí klasifikační postavení v rámci granátové skupiny stanovili Fediuková a Fediuk (2010).

Všechny horninové chemické analýzy, jichž je z tachovského vulkanitu k dispozici řada, klasifikační zařazení k fonolitu jednoznačně prokazují. Suma alkálií tu při obsahu  $\text{SiO}_2$  v rozmezí 50 až 54.5 % kolísá od 10 do 14.5 % s mírnou převahou  $\text{Na}_2\text{O}$  nad  $\text{K}_2\text{O}$ . Proti průměru českých fonolitů Shrubného (1995) tu můžeme konstatovat především zvýšenou bazicitu horniny. Obsahy stopových prvků ze studie Fediuka (1995) jsou v souladu s intradeskovou tektonomagmatickou



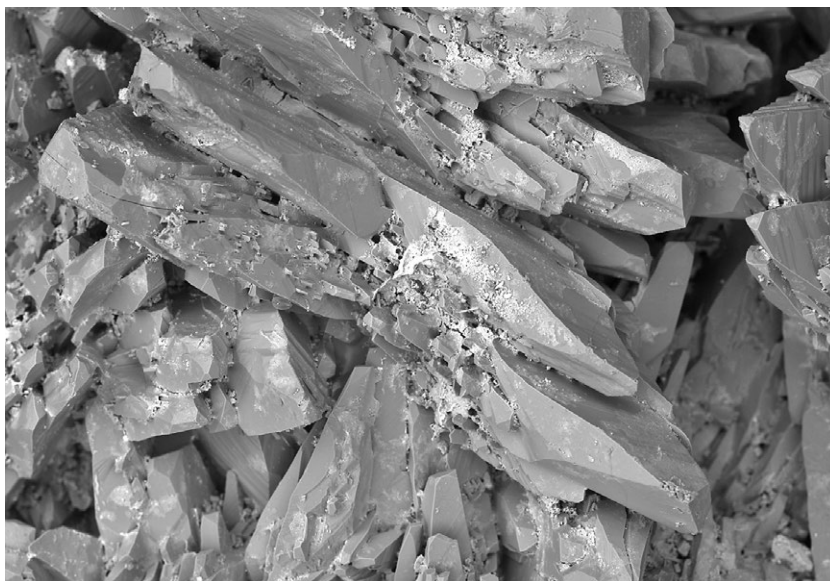
**Obr. 6** Krystal apatitu z Tachovského vrchu; šířka záběru 1000  $\mu\text{m}$ . BSE foto L. Váchová.

**Obr. 7** Krystal nordstranditu z Tachovského vrchu, šířka záběru 3 mm, foto P. Fuchs.

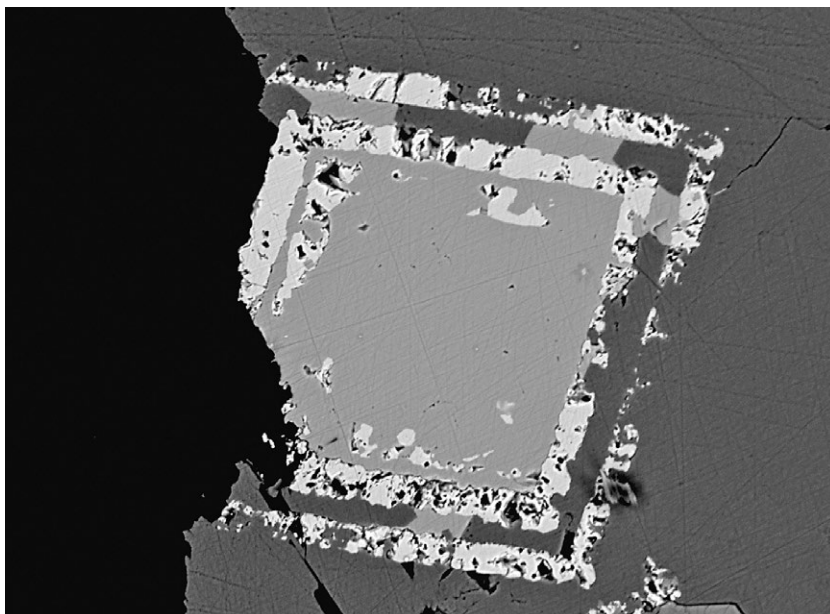
**Obr. 8** Nordstrandit narůstající na trolit z Tachovského vrchu, šířka záběru 10 mm, foto P. Fuchs.

příslušností horniny, korelační křivky hodnot vzácných zemin (tamtéž) se vyznačují mírnou pozitivní europiovou anomálií a značně vysokými hodnotami poměru LREE/HREE. Hodnoty izotopů Nd a Sr (Fediuk, Fediuková 1996) jsou blízké plášťovému referenčnímu poli HIMU („high U/P mantle“).

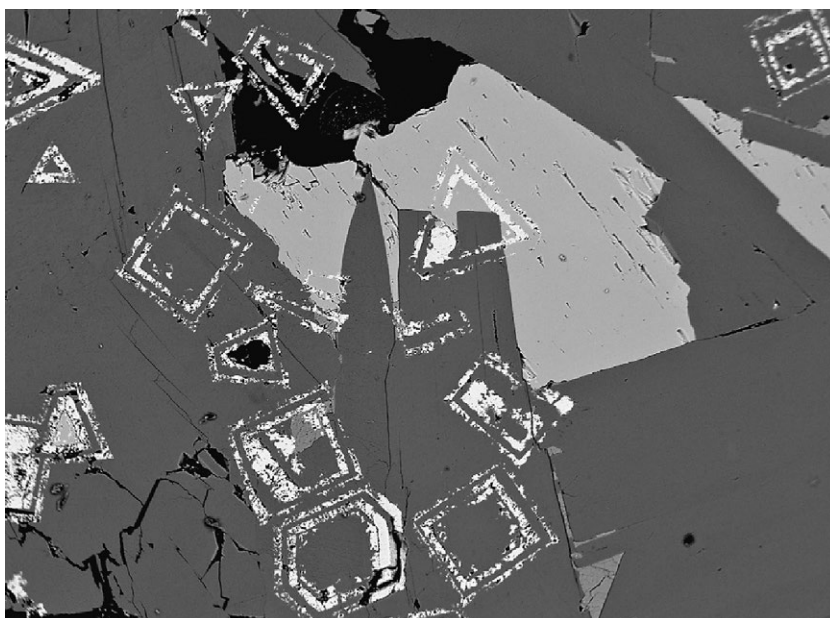
O vulkanologické povaze fonolitového tělesa Tachovského vrchu existují protichůdné interpretace. Rozhodně tu však nejde o půdorysově izometrickou intruzi lakolitové či dómové formy, jaká je pro většinu našich fonolitů typická, ani o ložní žílu, pronikající podle vrstevních ploch konkordantně do sedimentárního ekranu, ani o výlevný útvar, jaký se vyskytuje například v nedalekých Lužických horách (Pěnkavčí vrch). Těleso nemá izometrický, ale výrazně protáhlý („praporový“) tvar (viz obr. 4). Perfektní odkryv při zjz. okraji kamenolomu dokazuje, že fonolit intruzivně proráží napříč křídovými sedimenty prakticky kolmo k jejich vrstevnatosti a má zde povahu nikoliv ložní, ale pravé žíly. O povaze výstupu fonolitového magmatu podél tektonicky (zlomově) predisponované plochy podává svědectví odkrytý styk s permským ignimbritem při ssz. okraji fonolitu. Intruzivní fázi vývoje finalizují drobné směrné proniky žil blízkých tinguaítům. Pak je tu však ještě výskyt vulkanické brekcie v jižní části vrcholové části lokality, dokumentovaný studií Fediuka (1995). Sotva ho lze interpretovat jinak, než jako komínovou brekciu, vyplňující sopouch, který částečně otevřel fonolitovému magmatu výstup až na povrch. Souhrnné hodnocení těchto tří skutečností vede k závěru, že tachovské fonolitové těleso je značně ztluštěná rozsedinová pravá žíla využívající k intruzi regionálně významné zlomové slabiny a v závěrečné fázi svého vulkanického vývoje dílčím sopouchem otvírající komínovou brekciu výstup sopouchem až na povrch.



**Obr. 9** Skupina krystalů nordstranditu z Tachovského vrchu; šířka záběru 1000  $\mu\text{m}$ . BSE foto L. Váchová.



**Obr. 10** Relikt krystalu fluoritu (světle šedý) vyplněný kalcitem (středně šedý) v nordstranditu (tmavě šedý); šířka záběru 240  $\mu\text{m}$ . BSE foto J. Sejkora.



**Obr. 11** Relikty krystalů fluoritu (světle šedý) v kalcitu (středně šedý) a nordstranditu (tmavě šedý); šířka záběru 1200  $\mu\text{m}$ . BSE foto J. Sejkora.

## 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 a upřesněny profilovým fitováním v programu HighScore Plus. Mřížkové parametry byly vypřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Celref (Laugier, Bochu 2011).

Chemické složení nordstranditu a doprovodných 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  $\mu$ m, standardy: baryt (BaLa), albit (NaK $\alpha$ ), sanidín (SiK $\alpha$  AlK $\alpha$ , KK $\alpha$ ), spessartin (MnK $\alpha$ ), pyrop (MgK $\alpha$ ), fluorapatit (PK $\alpha$ , CaK $\alpha$ ), almandin (FeK $\alpha$ ), gahnit (ZnK $\alpha$ ), SrSO $_4$  (SrLa), titanit (TiK $\alpha$ ), polucit (CsK $\alpha$ ), vanadinit (ClK $\alpha$ ), wollastonit (CaK $\alpha$ ) a topaz (FK $\alpha$ ). Obsahy prvků Mn, Zn a F byly pod mezí detekce přístroje (cca 0.03 - 0.05 hm. %). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

## Charakteristika zjištěné mineralizace

V historických pramenech je ze znělce Tachovského vrchu uveden pouze medově žlutý titanit (Reuss 1797 in Kratochvíl 1963). Nověji byly z činného kamenolomu popsány drobné (do 2 mm) krystaly analcimu, až 3 mm dlouhé jehličky natrolitu, krystaly kalcitu, černošedá lesklá zrna magnetitu, zrna *melanitu* a titanit. V ojedinělém xenolitu gabra byly zjištěny vtroušený pyrit, chalkopyrit a magnetit (Lázníčka 1965; Tuček 1962). Ze zeolitů, kromě běžného analcimu, zmiňuje Honsa (1985) natrolit a chabazit. Na základě mikrosondových analýz základní hmoty vulkanitu usuzují Fediuk a Fediuková (1996) na přítomnost

**Tabulka 1** Rentgenová prášková data nordstranditu z Tachovského vrchu

<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>
0	0	1	4.786	100	4.786	0	0	2	2.394	<1	2.393	2	3	1	1.6704	<1	1.6715
-1	0	0	4.314	<1	4.326	1	2	0	2.388	4	2.392	-2	1	0	1.6315	<1	1.6331
0	1	0	4.208	1	4.207	0	1	2	2.325	<1	2.329	-3	-1	0	1.6222	<1	1.6211
-1	-1	0	4.153	<1	4.166	-1	1	1	2.263	<1	2.267	3	2	0	1.5952	<1	1.5950
1	1	1	3.886	<1	3.896	2	1	2	2.017	<1	2.019	2	1	3	1.5502	<1	1.5501
0	1	1	3.599	<1	3.608	-1	0	2	1.989	<1	1.992	3	1	2	1.5139	<1	1.5141
1	0	1	3.428	<1	3.429	0	-1	2	1.897	<1	1.897	1	-2	1	1.4712	<1	1.4704
-1	0	1	3.028	<1	3.027	0	2	2	1.8047	<1	1.8042	-3	-1	1	1.4391	<1	1.4379
0	-1	1	2.851	<1	2.845	0	-2	1	1.7763	1	1.7777	2	3	3	1.3892	<1	1.3883
-1	-1	1	2.705	<1	2.705	2	0	2	1.7151	<1	1.7144	0	3	2	1.3586	<1	1.3570
1	2	1	2.501	<1	2.502	-2	-2	1	1.7032	<1	1.7026						

**Tabulka 2** Parametry základní cely nordstranditu (pro triklinickou prostorovou grupu P-1)

	tato práce	Bosmans (1970)	Svejkovský et al. (2015)
<i>a</i> [Å]	5.119(6)	5.114	5.10(2)
<i>b</i> [Å]	5.082(6)	5.082	5.07(2)
<i>c</i> [Å]	5.125(6)	5.127	5.12(2)
$\alpha$ [°]	70.3(7)	70.27	70.5(3)
$\beta$ [°]	73.9(8)	74.00	73.8(3)
$\gamma$ [°]	58.4(7)	58.47	58.2(3)
<i>V</i> [Å <sup>3</sup> ]	106.0(2)	106.09	105(3)

**Tabulka 3** Chemické složení nordstranditu z Tachovského vrchu u Doks (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5
SiO $_2$	0.16	0.02	0.20	0.15	0.17	0.27
Al $_2$ O $_3$	63.20	63.87	63.32	63.21	62.58	63.00
MgO	0.07	0.01	0.05	0.05	0.11	0.11
H $_2$ O*	33.62	33.87	33.69	33.51	33.32	33.59
total	97.05	97.77	97.26	97.02	96.18	96.97
Si $^{4+}$	0.005	0.0002	0.006	0.005	0.005	0.009
Al $^{3+}$	0.992	0.9996	0.992	0.993	0.991	0.987
Mg $^{2+}$	0.003	0.0002	0.002	0.002	0.004	0.004
H $^+$	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000

H $_2$ O\* bylo dopočítáno na bázi ideálního vzorce; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi Si+Al+Mg = 1 *apfu*.

mezolitu. Svejkovský (2009) popisuje z dutin tefritického fonolitu analcím tvořící naředlé, až 15 mm velké spojky krychle a trapezodru. Mikroskopický hyalofán, který se vyskytuje ve směsi s analcím, kalcitem, natrolitem a fluoritem, vznikající přeměnou primárního hauynu v trachytu, tu zjistili Pivec a Dubanská (1990). Od roku 1993 tuto lokalitu pravidelně navštěvoval O. Janěček, který zpracoval stručný popis zdejších mineralogických poměrů do přehledu českých zeolitových lokalit (Pauliš et al. 2015a).

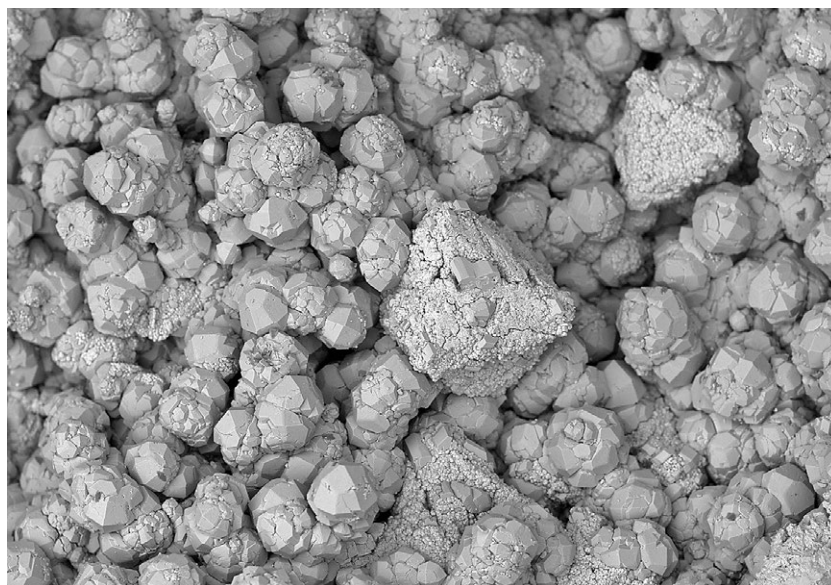
### Nordstrandit

Nejzajímavějším nově zjištěným minerálem Tachovského vrchu je *nordstrandit*. Jde o poměrně vzácnou polymorfní triklinickou modifikaci  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , která je z České republiky známa z kamenolomu v Mokré u Žlutic, kde tvoří příměs v gibbsitu (Černý et al. 2002) či vytváří žlutavé až žlutohnědé polokulovité radiálně lupenité agregáty až 8 mm velké (Svejkovský et al. 2015). Druhou lokalitou nordstranditu je bazaltový kamenolom Děpoltovice u Karlových Varů (Sejkora et al. 2010), kde tvoří až 5 mm velké béžové a nahnědlé, perleťově lesklé, polokulovité až kulovité agregáty, tvořené tabulkovitými krystaly, tmavě oranžově hnědé, drobně krystalické agregáty asociující s bílým gonnarditem a hnědavé ježkovité agregáty.

Na Tachovském vrchu byl zjištěn v roce 2016 v jz. části 5. patra kamenolomu. Vyskytuje se spolu s natrolitem, kalcitem, aragonitem a fluoritem ve výplni tenkých (1 - 2 cm), většinou strmých žil, v čerstvém fonolitu či na jeho puklinách. Na lokalitě je vzácný, hojněji byl nalezen pouze ve výplni jediné pukliny, v ostatních se objevuje sporadicky. Vyskytuje se v několika formách. Nejčastěji vytváří spolu



Obr. 12 Drúza krystalů analcimu z Tachovského vrchu, šířka záběru je 2 cm, foto P. Fuchs.



Obr. 13 Drúza krystalů analcimu z Tachovského vrchu; šířka záběru 2100 μm. BSE foto L. Váchová.

Tabulka 4 Rentgenová prášková data analcimu z Tachovského vrchu

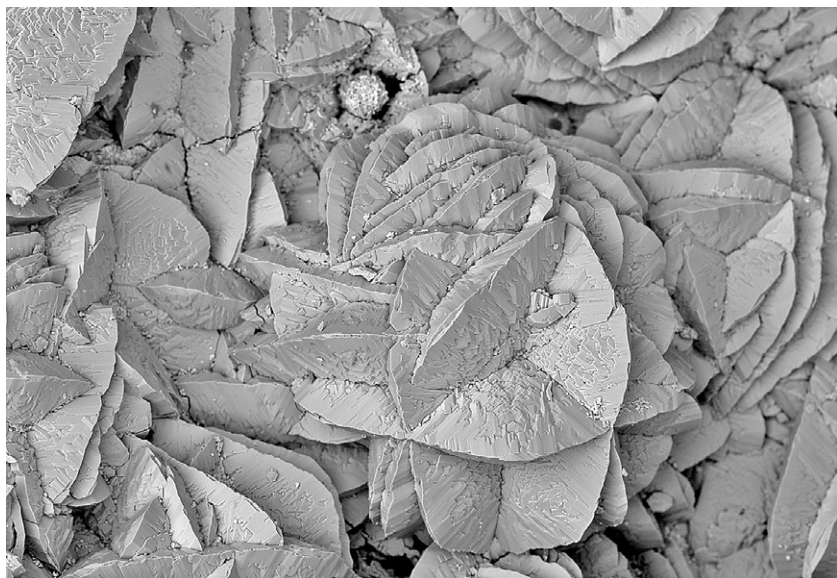
<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	$d_{obs}$	$I_{obs}$	$d_{calc}$	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	$d_{obs}$	$I_{obs}$	$d_{calc}$	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	$d_{obs}$	$I_{obs}$	$d_{calc}$
1	1	2	5.608	69	5.597	4	0	4	2.4269	3	2.4238	0	0	8	1.7164	3	1.7139
2	0	2	4.856	9	4.848	2	3	5	2.2270	3	2.2242	0	2	8	1.6601	1	1.6627
1	2	3	3.673	4	3.664	0	2	6	2.1687	4	2.1679	6	3	5	1.6368	1	1.6388
0	0	4	3.431	100	3.428	4	4	4	1.9770	2	1.9790	6	0	6	1.6182	1	1.6158
3	2	3	2.920	33	2.923	6	0	4	1.9045	3	1.9014	3	4	7	1.5952	2	1.5939
2	2	4	2.805	4	2.799	2	5	5	1.8682	2	1.8658	6	5	5	1.4821	1	1.4785
1	3	4	2.687	19	2.689	6	2	4	1.8260	1	1.8322	6	0	8	1.3692	1	1.3711
2	1	5	2.508	6	2.503	2	3	7	1.7400	4	1.7413	2	7	7	1.3550	1	1.3576

Tabulka 5 Parametry základní cely analcimu (pro kubickou prostorovou grupu *I a-3d*)

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



Obr. 14 Srostlice krystalů chabazitu-Ca z Tachovského vrchu; šířka záběru 240  $\mu\text{m}$ . BSE foto L. Váchová.



Obr. 15 Krystaly chabazitu-Ca (fakolitu) z Tachovského vrchu; šířka záběru 1200  $\mu\text{m}$ . BSE foto L. Váchová.

s natrolitem agregáty různě orientovaných, jednotlivě vyvinutých, bezbarvých a žlutavých krystalů (obr. 7 - 9), někdy i zrnité výplně žilek. Pěkně vyvinuté krystaly charakteristického tvaru dosahují velikosti 1 mm; je na nich patrná štěpnost podle plochy báze. Spolu s ním se vyskytuje bezbarvý až mléčně bílý kalcit, který vzácně vytváří ve více otevřených puklinách až 1 cm velké, tlustě cvočkovité a klencové krystaly. Druhou formou nordstranditu jsou bezbarvé a žlutavé, radiálně lupenité až sférické agregáty, na lomu perleťově lesklé, jejichž průměr dosahuje až 1 cm. Vzácně jsou samostatně vyvinuté, až 4 mm velké hemisférické agregáty medové barvy s typickým hroťitým povrchem.

Rentgenová prášková data nordstranditu z Tachova (tab. 1) jsou blízká datům pro tento minerální druh; současně se zřetelně odlišují od dat uváděných pro další polymorfní modifikace  $\text{Al}(\text{OH})_3$  - minerály gibbsit, bayerit a doyleit. Obdobně jako u nordstranditu z Děpoltovic (Sejkora et al. 2010) či z Mokré u Žlutic (Svejkovský et al. 2015) je z hodnot intenzit difrakcí v tabulce 1 zřejmá výrazná přednostní orientace preparátu vyvolaná dokonale štěpností studovaného minerálu. Vypřesněné parametry jeho základní cely (tab. 2) dobře odpovídají publikovaným údajům pro nordstrandit (Bosmans 1970; Svejkovský et al. 2015).

Výsledky kvantitativní chemické analýzy nordstranditu z Tachovského vrchu jsou uvedeny v tabulce 3; vedle převažujícího  $\text{Al}_2\text{O}_3$  zde byly zjištěny i minoritní obsahy  $\text{SiO}_2$  (0.02 - 0.27 hm. %) a  $\text{MgO}$  (0.01 - 0.11 hm. %). Empirický vzorec tohoto nordstranditu je možno na bázi  $\text{Si}+\text{Al}+\text{Mg} = 1$  apří vyjádřit jako  $(\text{Al}_{0.99}\text{Si}_{0.01})_{\Sigma=1.00}(\text{OH})_3$ .

Tabulka 6 Rentgenová prášková data chabazitu-Ca z Tachovského vrchu

<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	1	9.339	85	9.370	2	1	4	2.902	30	2.891	1	6	1	1.8140	4	1.8149
0	1	2	6.322	9	6.365	0	4	2	2.772	4	2.784	4	1	6	1.8103	1	1.8088
0	2	1	5.523	37	5.567	3	2	1	2.707	6	2.705	1	3	7	1.8001	6	1.8030
0	0	3	4.980	30	5.007	1	3	4	2.4875	10	2.4895	2	0	8	1.7951	6	1.7918
2	0	2	4.683	6	4.685	4	0	4	2.3406	1	2.3426	1	5	5	1.7512	1	1.7501
2	1	1	4.308	100	4.338	4	1	3	2.3126	2	2.3187	3	5	1	1.7007	2	1.7017
3	0	0	3.968	13	3.996	3	1	5	2.2321	1	2.2291	3	3	6	1.6988	2	1.6966
1	2	2	3.868	17	3.880	4	2	2	2.1672	3	2.1691	1	6	4	1.6432	4	1.6438
1	0	4	3.564	25	3.584	5	1	1	2.1342	1	2.1315	6	0	6	1.5606	1	1.5617
2	2	0	3.435	15	3.461	1	0	7	2.1160	1	2.1123	2	4	7	1.5589	4	1.5580
1	3	1	3.247	14	3.246	2	2	6	2.0303	1	2.0285	2	3	8	1.5501	2	1.5507
0	2	4	3.193	4	3.182	0	2	7	2.0169	2	2.0203	7	1	3	1.5152	3	1.5136
3	0	3	3.122	2	3.123	6	0	0	2.0031	1	1.9981	4	3	7	1.4504	1	1.4516
3	1	2	3.033	11	3.040	3	4	2	1.9071	2	1.9064	1	5	8	1.4163	3	1.4152
4	0	1	2.943	6	2.939	5	0	5	1.8754	2	1.8740	3	4	8	1.3601	1	1.3595
0	1	5	2.920	76	2.914	0	1	8	1.8591	2	1.8550	0	1	11	1.3546	1	1.3568



Při studiu chemického složení nordstranditu byly v ploše nábrusu zjištěny kostrovité reliktové krystaly fluoritu o velikosti kolem 0.1 mm, jejichž chemické složení odpovídá stechiometrii. Vyloučené prostory fluoritových krystalů vyplňuje v některých případech zcela chemicky čistý kalcit (obr. 10), zčásti nordstrandit či sodný alumosilikát chemicky blízký analcimu (obr. 11). Lze předpokládat, že v rámci této paragenetické sekvence je fluorit nejstarším puklinovým minerálem, který byl korodován následnými roztoky, ze kterých postupně vznikl Na-zeolit, kalcit a jako nejmladší nordstrandit.

### Analcim

Nejhojnějším zeolitem Tachovského vrchu je *analcim*, který se v hojném množství vyskytoval ve svrchních patrech lomu především v pružích analcimizovaného zeleně zbarveného fonolitu a ve vulkanické brekcii na vrcholu kopce. V jihovýchodní stěně lomu v minulosti pokrýval pukliny o ploše až několik čtverečních metrů krustami drobných nízkých, většinou křídově bílých krystalů o rozměrech obvykle jen 1 až 3 mm, tvaru běžného deltooidového dvacetičtyřstěnu. Vzácně se tu objevovaly krusty plochých krystalů 10 - 15 mm velkých (obr. 12 a 13). S postupem těžby k severovýchodu se v zelených pružích analcimizovaných hornin začaly objevovat dutiny

1 až 5 cm velké s pěkně vyvinutými bezbarvými i bělavými, skelně lesklými krystaly analcimu o velikosti do 5 mm. Některé měly zonální stavbu s ostře vymezeným bělavým jádrem a bezbarvou vnější zónou. Na analcim často nasedaly drúzy drobných bezbarvých skaleoedrů kalcitu. Mineralogicky nejzajímavější vzorky s největšími krystaly byly v posledních letech nalezeny v severovýchodní části lomu. V hojných čočkovitých i členitých dutinách velikosti až 10 - 15 cm se objevovaly až 15 mm velké bezbarvé, šedé, nažloutlé až nahnědlé krystaly. Dobře vyvinuté krystaly analcimu vyplňovaly dutiny jednotlivě. Morfologicky se jedná o typ známý z Kyklopských ostrovů, jde o spojku více či méně dominantní krychle s rohy seseklými třemi ploškami trapezoedru (Tschernich 1992). Tyto dutiny byly často zcela zaplněny zrnitým kalcitem, vzácněji radiálně paprscitým zonálním aragonitem, často i hnědým práškovým agregátem *wadu*.

Rentgenová prášková data analcimu z Tachovského vrchu (tab. 4) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jejichž zprůměrované parametry (tab. 5) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit. Chemické složení analcimu z této lokality uvádějí Pivec a Dubanská (1990). Jejich analýza vykazovala příměs  $K_2O$  (1.20 hm. %) a  $Fe_2O_3$  (2.00 hm. %). V analcimu nebyl zjištěn zvýšený obsah  $CaO$ , který by mohl indikovat podíl wairakitové komponenty.

**Tabulka 7** Parametry základní cely chabazitu (pro trigonální prostorovou grupu  $R-3m$ )

			a [Å]	c [Å]	V [Å <sup>3</sup> ]
chabazit-Ca	Tachovský vrch	tato práce	13.833(8)	15.0213(3)	2490(1)
chabazit-Ca	Svor	Pauliš et al. (2016b)	13.826(6)	15.0196(3)	2486(1)
chabazit-Ca	Oldřichov	Pauliš et al. (2016a)	13.820(7)	15.0364(8)	2487.1(9)
chabazit-K	Oldřichov	Pauliš et al. (2016a)	13.832(8)	15.0265(6)	2489(1)
chabazit-K	Chibiny	Yakubovich et al. (2005)	13.831(3)	15.023(5)	2488.83
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 8** Chemické složení chabazitu-Ca z Tachovského vrchu u Doks (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	45.26	46.12	46.02	46.19	46.54	44.79	44.35	44.45	43.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.28	20.30	20.35	20.41	20.80	19.54	20.16	20.12	20.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.96	1.27	0.81	1.02	0.93	1.00	0.99	0.69	0.98
CaO	6.90	7.38	6.99	7.33	7.48	6.48	6.75	6.60	6.17
BaO	0.11	0.15	0.09	0.09	0.20	0.04	0.10	0.04	0.16
SrO	5.78	5.37	5.32	5.34	5.88	5.79	5.99	6.07	6.44
Na <sub>2</sub> O	0.53	0.36	0.48	0.30	0.25	0.73	0.70	0.71	0.69
K <sub>2</sub> O	0.47	0.47	0.48	0.39	0.24	0.55	0.53	0.52	0.57
H <sub>2</sub> O	20.85	21.18	21.03	21.16	21.41	20.48	21.60	20.52	21.60
total	101.14	102.60	101.57	102.23	103.73	99.40	101.17	99.72	100.80
Si <sup>4+</sup>	7.812	7.834	7.872	7.856	7.823	7.867	7.389	7.794	7.266
Al <sup>3+</sup>	4.125	4.195	4.103	4.091	4.120	4.044	3.958	4.157	4.040
Fe <sup>3+</sup>	0.124	0.065	0.105	0.131	0.117	0.133	0.124	0.091	0.122
Ca <sup>2+</sup>	1.126	1.343	1.281	1.335	1.347	1.220	1.205	1.240	1.101
Ba <sup>2+</sup>	0.007	0.010	0.006	0.006	0.013	0.003	0.007	0.003	0.010
Sr <sup>2+</sup>	0.579	0.529	0.527	0.526	0.573	0.590	0.579	0.617	0.623
Na <sup>+</sup>	0.178	0.118	0.158	0.098	0.081	0.249	0.226	0.327	0.226
K <sup>+</sup>	0.104	0.102	0.105	0.084	0.051	0.122	0.112	0.116	0.122
H <sub>2</sub> O	12	12	12	12	12	12	12	12	12
T <sub>Si</sub>	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.65	0.65	0.64

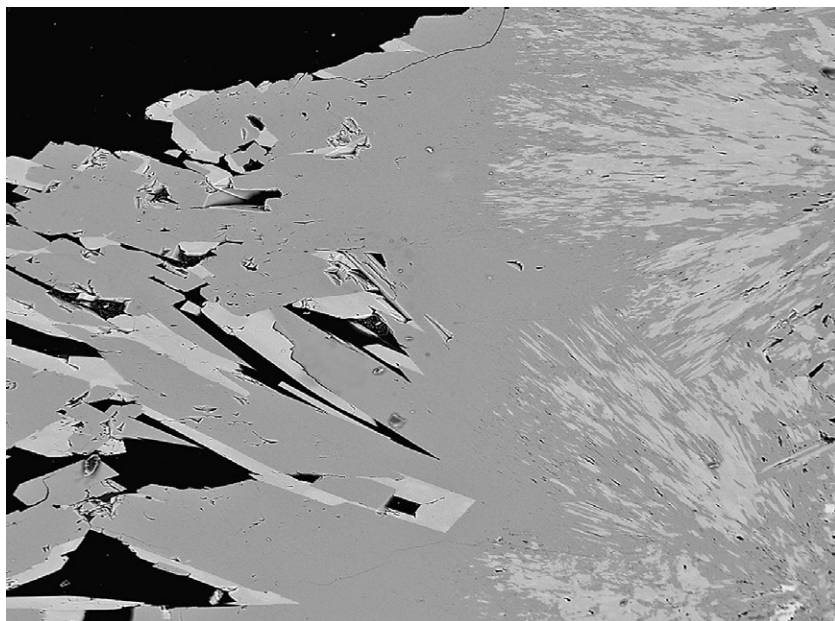
Empirické vzorce jsou přepočteny na bázi 24 kyslíků. H<sub>2</sub>O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 12 H<sub>2</sub>O.

### Chabazit-Ca

Chabazit-Ca vzácně vytváří zrnité agregáty jasně oranžové až hnědé barvy vyplňující dutiny o velikosti do 1.5 cm. Ojedinele byly pozorovány i jeho až 1 mm velké krystaly - žlutavá až světle hnědá či jasně oranžová, výrazně rýhovaná hojnoplochá fakolitová penetrační dvojčata (obr. 14 - 15).

Rentgenová prášková data chabazitu-Ca z Tachovského vrchu (tab. 6) jsou blízka datům pro tento minerální druh, jejichž zprůměrované parametry (tab. 7) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit. V BSE obraze je studovaný minerál většinou chemicky homogenní. Byly analyzovány tři morfologicky odlišné typy, které však nevykázaly signifikantní rozdíly v chemickém složení.

Při studiu jeho chemického složení (tab. 8) byly zjištěny obsahy Si, Al, Fe, Ca, Ba, Sr, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec chabazitu-Ca z Tachovského vrchu (průměr 8 bodových analýz) je na bázi 24 kyslíků možno vyjádřit jako  $\text{Ca}_{1.13}\text{Sr}_{0.58}\text{Na}_{0.18}\text{K}_{0.10}\text{Ba}_{0.01}(\text{Si}_{7.81}\text{Al}_{4.13}\text{Fe}_{0.12})\text{O}_{24} \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ . Hodnota  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.65$  studovaného minerálu je ve spodní části rozmezí uváděného pro chabazit-Ca (Coombs et al. 1997). Zdejší chabazit má nevykykle vysoký obsah Sr (0.53-0.62 *apfu*), zdaleka nejvyšší v ČR. Zvýšené obsahy Sr (0.16 *apfu*) v chabazitu jsou v ČR uváděny pouze z Řepčic (Ulrych, Rychlý 1981). Ze zahraničních výskytů byly obdobně vysoké hodnoty Sr zjištěny pouze v chabazitech z italského Casal Brunori (0.56 *apfu*) a lomu Vallerano (0.40 *apfu*) (Passaglia 1970). Nejvyšší obsahy Sr



Obr. 16 Prizmatické krystaly natrolitu (tmavě šedý) uzavírající relikty thomsonitu-Ca (světle šedý) obrůstané další generací thomsonitu-Ca (světle šedý); šířka záběru 1100  $\mu\text{m}$ . BSE foto J. Sejkora.

Tabulka 9 Rentgenová prášková data natrolitu z Tachovského vrchu

<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>
2	2	0	6.499	100	6.523	6	6	0	2.1746	3	2.1744	11	3	1	1.5647	2	1.5641
1	1	1	5.865	20	5.880	8	4	0	2.0557	4	2.0557	5	7	3	1.5364	2	1.5357
0	4	0	4.644	32	4.640	3	1	3	2.0520	3	2.0537	12	0	0	1.5276	1	1.5287
4	0	0	4.566	21	4.586	6	4	2	2.0174	1	2.0177	4	10	2	1.5244	3	1.5248
1	3	1	4.376	15	4.379	3	3	3	1.9610	2	1.9600	10	4	2	1.5135	2	1.5148
3	1	1	4.364	10	4.356	1	9	1	1.9551	4	1.9566	12	2	0	1.5087	3	1.5084
2	4	0	4.135	34	4.140	1	5	3	1.8814	5	1.8798	4	4	4	1.4694	2	1.4700
4	2	0	4.094	27	4.111	3	9	1	1.8733	16	1.8732	8	8	2	1.4618	6	1.4614
3	3	1	3.620	2	3.629	2	10	0	1.8209	4	1.8190	3	9	3	1.4585	1	1.4596
1	5	1	3.186	13	3.185	6	6	2	1.8143	3	1.8146	10	8	0	1.4400	4	1.4389
2	0	2	3.099	5	3.100	3	5	3	1.8067	4	1.8055	2	6	4	1.4362	1	1.4356
2	2	2	2.938	11	2.940	10	2	0	1.8011	2	1.7996	6	10	2	1.4277	2	1.4293
2	6	0	2.929	9	2.931	7	7	1	1.7939	8	1.7934	7	7	3	1.4211	1	1.4209
3	5	1	2.858	36	2.859	8	4	2	1.7413	2	1.7439	9	9	1	1.4164	4	1.4157
5	3	1	2.838	34	2.846	9	5	1	1.7252	5	1.7243	9	5	3	1.3859	2	1.3858
2	4	2	2.576	6	2.577	4	10	0	1.7206	8	1.7203	4	12	2	1.3382	1	1.3389
4	6	0	2.567	5	2.564	5	5	3	1.6807	1	1.6800	8	10	2	1.3220	1	1.3214
1	7	1	2.4368	7	2.4376	8	8	0	1.6319	3	1.6308	3	11	3	1.3068	1	1.3069
0	8	0	2.3202	4	2.3198	7	3	3	1.6249	4	1.6240	9	7	3	1.3022	3	1.3014
4	4	2	2.3164	5	2.3175	10	0	2	1.6031	4	1.6026	3	1	5	1.2846	1	1.2847
3	7	1	2.2821	13	2.2818	6	10	0	1.5861	2	1.5864	8	12	0	1.2815	1	1.2822
0	6	2	2.2554	4	2.2546	7	9	1	1.5756	3	1.5736	12	8	0	1.2761	1	1.2765
6	0	2	2.2413	4	2.2407	9	7	1	1.5688	3	1.5694	11	9	1	1.2724	1	1.2723

(1.08 *apfu*) má samostatně vyčleněný minerální druh chabazit-Sr, který byl popsán z alkalického pegmatitu v Lovozerském masivu na Kolském poloostrově v Rusku (Pekov et al. 2000). Z dalších minoritních prvků byl zaznamenán nízký obsah Ba (0.01 *apfu*) a zvýšený obsah Fe (0.07 - 0.13 *apfu*), který však nepřekonává obsahy zjištěné v chabazitu-Ca z polské Strzegomi (0.17 *apfu*) (Passaglia 1970).

**Tabulka 10** Parametry základní cely natrolitu (pro ortorombickou prostorovou grupu *F* *dd*2)

	tato práce	Alberti et al. (1995)	Pauliš et al. (2014)
<i>a</i> [Å]	18.344(3)	18.3469(70)	18.376(5)
<i>b</i> [Å]	18.558(4)	18.5610(40)	18.552(5)
<i>c</i> [Å]	6.587(1)	6.587(4)	6.585(2)
<i>V</i> [Å <sup>3</sup> ]	2242.4(9)	2243.12	2244(1)

**Tabulka 11** Chemické složení natrolitu z Tachovského vrchu u Doks (hm. %)

	mean	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	47.19	47.11	47.58	46.89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.38	26.44	26.04	26.65
CaO	0.15	0.12	0.05	0.28
Na <sub>2</sub> O	14.96	14.83	15.31	14.75
K <sub>2</sub> O	0.03	0.04	0.03	0.03
H <sub>2</sub> O	9.35	9.32	9.36	9.33
total	98.06	97.86	98.37	97.93
Si <sup>4+</sup>	3.028	3.017	3.048	3.015
Al <sup>3+</sup>	1.995	2.004	1.956	2.020
Ca <sup>2+</sup>	0.010	0.008	0.004	0.019
Na <sup>+</sup>	1.879	1.850	1.901	1.839
K <sup>+</sup>	0.002	0.003	0.002	0.002
ΣCa+K+Na	1.891	1.861	1.907	1.860
H <sub>2</sub> O	2	2	2	2
T <sub>Si</sub>	0.60	0.61	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.

## Natrolit

V čerstvém fonolitu vytváří *natrolit* na tenkých puklinách až 15 mm velké radiálně paprscité zonální agregáty s hnědávým jádrem a bělavým či narůžovělým ukončením. Některé agregáty jsou zdánlivě celistvé. Na stěnách více otevřených puklin tvoří kolmo orientované, krátce sloupečkovité ukončené krystaly. Spolu s nordstranditem se vyskytují jeho bělavé, kolem 2 mm dlouhé, různě orientované krátce sloupečkové oboustranně ukončené krystaly. V navětralém vulkanitu, poblíž analcimizované partie, byly nalezeny až 3 cm velké dutiny se souvislou pokrývkou až 1 cm dlouhých jehličkovitých bezbarvých a narůžovělých krystalů natrolitu. V některých dutinách s analcimem byly po odleptání kalcitu objeveny bělavé krátce sloupečkové krystaly natrolitu o délce kolem 2 mm. Vzácně byly nalezeny i duté bělavé perimorfózy po krystalech natrolitu či jeho srůsty s thomsonitem-Ca (obr. 16).

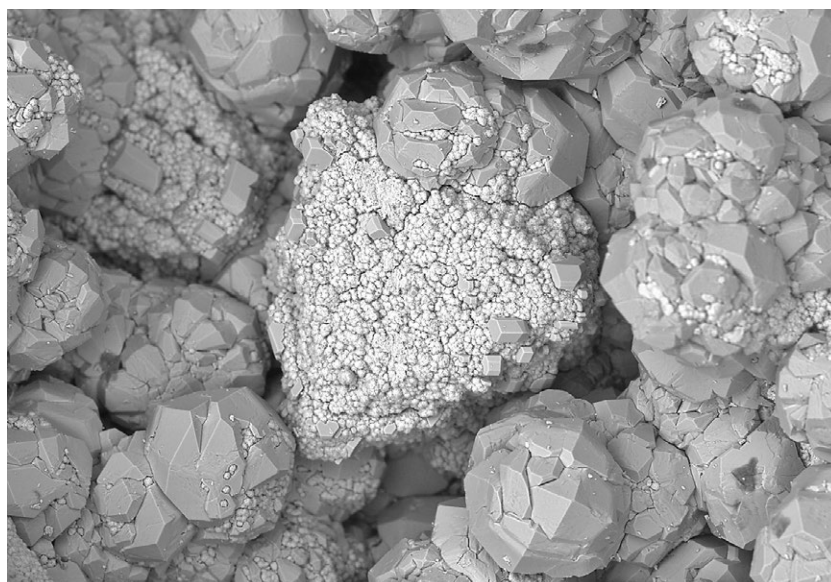
Rentgenová prášková data natrolitu z Tachovského vrchu (tab. 9) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jejichž zpřesněné parametry (tab. 10) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit. V BSE obraze je studovaný minerál většinou chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 11) byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec natrolitu z Tachovského vrchu (průměr 3 bodových analýz) je na bázi 10 kyslíků možno vyjádřit jako Na<sub>1,88</sub>Ca<sub>0,01</sub>(Si<sub>3,03</sub>Al<sub>1,96</sub>)O<sub>10</sub>·2 H<sub>2</sub>O. Hodnota T<sub>Si</sub> = Si/(Si+Al) = 0.60 studovaného natrolitu je ve střední části rozmezí uváděného pro tento minerální druh (Coombs et al. 1997).

## Phillipsit-Ca až phillipsit-K

*Phillipsit-Ca* se zde vyskytuje jen vzácně v drobných dutinách o velikosti do 1 cm.

Tvoří jemně zrnité agregáty jasně oranžové až tmavě hnědooranžové barvy a izometrické, většinou krátce sloupečkovité krystaly o velikosti do 1 mm. Často porůstá krystaly analcimu (obr. 17). Výjimečně vytváří i bezbarvé až běžové zrnité výplně dutin či krápníčkové agregáty.

Rentgenová prášková data phillipsitu-Ca z Tachovského vrchu (tab. 12) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jejichž zpřesněné parametry (tab. 13) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit. V BSE obraze je studovaný minerál chemicky homogenní. Při stu-



**Obr. 17** Krystaly analcimu a drobné krystaly phillipsitu-Ca narostlé na jílovém minerálu (uprostřed); šířka záběru 800 μm. BSE foto L. Váchová.

Tabulka 12 Rentgenová prášková data phillipsitu-Ca z Tachovského vrchu

<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	1	8.168	12	8.183	-2	4	2	2.693	16	2.692	4	0	1	1.7164	3	1.7163
0	2	0	7.153	86	7.151	2	4	0	2.687	19	2.686	-2	0	5	1.6902	1	1.6887
-1	1	1	7.125	100	7.103	-3	3	2	2.676	10	2.673	4	5	0	1.6601	1	1.6581
0	1	1	6.386	15	6.408	1	2	2	2.563	4	2.567	-5	0	5	1.6368	1	1.6366
1	2	0	5.368	17	5.372	-3	4	1	2.3925	2	2.3927	5	1	0	1.6182	1	1.6174
0	2	1	5.045	19	5.063	2	4	1	2.2490	1	2.2513	-5	2	5	1.5952	2	1.5954
-2	0	1	4.977	22	4.963	-4	2	1	2.2270	3	2.2247	-5	3	5	1.5478	2	1.5479
1	0	1	4.291	7	4.296	-3	4	3	2.1687	4	2.1687	-4	7	3	1.5432	1	1.5417
1	1	1	4.113	37	4.115	3	4	0	2.1630	1	2.1613	-2	9	2	1.4821	1	1.4814
-2	2	1	4.081	10	4.077	-3	3	4	1.9770	3	1.9774	-6	4	4	1.4708	<1	1.4711
1	2	1	3.673	4	3.683	-3	5	3	1.9722	3	1.9741	-4	8	3	1.4228	<1	1.4227
2	2	0	3.533	1	3.537	-5	0	2	1.9648	2	1.9649	-5	7	2	1.4163	1	1.4163
0	1	2	3.465	4	3.477	4	3	0	1.8682	2	1.8715	-5	2	6	1.4021	1	1.4019
-2	3	1	3.431	49	3.438	2	7	0	1.8260	1	1.8260	-6	4	5	1.3870	1	1.3874
1	4	0	3.263	17	3.274	1	6	2	1.7997	1	1.8014	0	3	5	1.3728	1	1.3729
-3	0	2	3.227	11	3.228	0	8	0	1.7883	1	1.7878	-5	3	6	1.3692	1	1.3694
1	3	1	3.188	62	3.192	-5	2	4	1.7794	4	1.7793	-6	0	6	1.3647	1	1.3638
-3	1	2	3.151	16	3.149	-5	2	1	1.7722	1	1.7725	-6	6	3	1.3598	1	1.3591
2	3	0	3.094	3	3.095	4	4	0	1.7663	2	1.7685	-7	1	5	1.3550	1	1.3555
-3	2	2	2.943	7	2.942	0	2	4	1.7400	4	1.7383						
-2	4	1	2.904	3	2.901	-5	4	2	1.7224	3	1.7221						

Tabulka 13 Parametry základní cely phillipsitu (pro monoklinickou prostorovou grupu P2<sub>1</sub>/m)

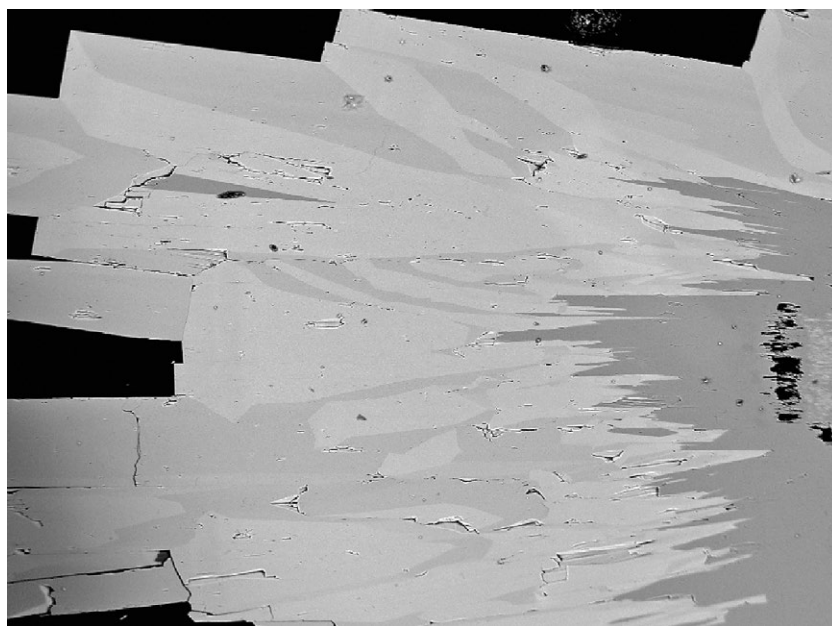
			a [Å]	b [Å]	c [Å]	β [°]	V [Å <sup>3</sup> ]
phillipsit-Ca	Tachovský vrch	tato práce	9.926(2)	14.303(4)	8.742(2)	124.92(5)	1017.7(4)
phillipsit-K	Svor	Pauliš et al. (2016b)	9.924(2)	14.315(3)	8.742(2)	124.93(7)	1018.2(4)
phillipsit-K	Vrbička	Pauliš et al. (2013)	9.919(3)	14.314(3)	8.740(3)	124.93(1)	1017.5(6)
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
phillipsit-Ca	Jehla	Pauliš et al. (2015b)	9.924(2)	14.321(4)	8.737(2)	124.92(3)	1017.4(4)
phillipsit-K	Hackenberg	Pauliš et al. (2014)	9.917(4)	14.314(8)	8.737(4)	124.92(0)	1016.9(9)

Tabulka 14 Chemické složení phillipsitu-Ca z Tachovského vrchu u Doks (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	49.15	49.99	49.65	49.66	49.61	47.02	48.97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.43	19.54	19.98	19.41	19.19	18.44	19.43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.74	0.48	0.64	0.55	1.15	3.75	0.78
CaO	4.84	5.43	5.45	4.55	4.25	4.30	5.06
BaO	1.87	2.03	1.71	2.08	1.84	1.67	1.88
Na <sub>2</sub> O	2.02	1.61	1.80	2.15	2.73	1.88	1.95
K <sub>2</sub> O	3.87	3.51	3.59	3.93	4.35	3.49	4.33
H <sub>2</sub> O	16.29	16.43	16.50	16.34	16.50	16.34	16.35
total	98.21	99.02	99.32	98.67	99.62	96.89	98.75
Si <sup>4+</sup>	10.858	10.945	10.824	10.936	10.820	10.351	10.773
Al <sup>3+</sup>	5.060	5.042	5.135	5.039	4.933	4.786	5.095
Fe <sup>3+</sup>	0.273	0.176	0.233	0.204	0.419	1.381	0.288
Ca <sup>2+</sup>	1.146	1.274	1.273	1.073	0.993	1.015	1.192
Ba <sup>2+</sup>	0.162	0.174	0.147	0.180	0.157	0.144	0.163
Na <sup>+</sup>	0.865	0.684	0.760	0.918	1.153	0.802	0.833
K <sup>+</sup>	1.091	0.982	0.998	1.103	1.211	0.979	1.216
ΣCa+Ba+K+Na	3.264	3.114	3.178	3.274	3.514	2.940	3.404
H <sub>2</sub> O	12	12	12	12	12	12	12
Si/Al	2.15	2.17	2.11	2.17	2.19	2.16	2.11
T <sub>Si</sub>	0.68	0.68	0.68	0.68	0.69	0.68	0.68

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 32 kyslíků. H<sub>2</sub>O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 12 H<sub>2</sub>O.

diu jeho chemického složení (tab. 14) byly zjištěny obsahy Si, Al, Fe, Ca, Ba, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec phillipsitu-Ca (průměr 6 analýz) je na bázi 32 kyslíků možno vyjádřit jako  $\text{Ca}_{1.15}\text{K}_{1.09}\text{Na}_{0.87}\text{Ba}_{0.16}(\text{Si}_{10.86}\text{Al}_{5.06}\text{Fe}_{0.27})\text{O}_{32}\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Hodnota  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.68$  phillipsitu-Ca se nachází ve střední části rozmezí uváděného pro tento minerální druh (Coombs et al. 1997). Analyzovaný phillipsit obsahuje v kationtové části v průměru vedle dominantního Ca (1.15 *apfu*) i poměrně vysoké obsahy K (1.09 *apfu*) a Na (0.87 *apfu*). Obsahy Ca a K jsou natolik blízké, že u několika bodových analýz převyšuje obsah K obsah Ca a lze tak již hovořit o phillipsitu-K. Zdejší phillipsit obsahuje menší příměs harmotomové komponenty (0.16 *apfu* Ba). Neobvykle vysoký je obsah Fe (0.23 *apfu*), který řádově překračuje hodnoty publikovaných analýz phillipsitů (Tschernich 1992; Deer et al. 2004).



**Obr. 18** Zonální prizmatické krystaly thomsonitu-Ca (různé obsahy Sr) narůstající na jehlicovité krystaly natrolitu (tmavě šedý); šířka záběru 1700  $\mu\text{m}$ . BSE foto J. Sejkora.

**Tabulka 15** Rentgenová prášková data thomsonitu-Ca z Tachovského vrchu

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	$d_{\text{obs}}$	$l_{\text{obs}}$	$d_{\text{calc}}$	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	$d_{\text{obs}}$	$l_{\text{obs}}$	$d_{\text{calc}}$	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	$d_{\text{obs}}$	$l_{\text{obs}}$	$d_{\text{calc}}$
1	1	0	9.251	8	9.250	1	4	3	2.574	3	2.574	2	7	1	1.7770	<1	1.7777
0	0	2	6.626	9	6.622	5	1	0	2.569	1	2.570	3	1	7	1.7216	4	1.7212
2	0	0	6.563	92	6.554	3	4	1	2.566	1	2.565	0	7	3	1.7175	12	1.7181
0	2	0	6.539	70	6.528	4	3	2	2.4333	1	2.4345	5	3	5	1.7134	<1	1.7129
1	0	2	5.916	1	5.911	1	2	5	2.4111	2	2.4126	5	5	3	1.7060	1	1.7063
1	1	2	5.387	2	5.385	4	0	4	2.3271	1	2.3292	3	7	1	1.7018	<1	1.7012
2	0	2	4.660	9	4.658	4	4	0	2.3153	3	2.3126	0	0	8	1.6549	1	1.6556
2	2	0	4.627	100	4.625	5	2	2	2.2856	<1	2.2836	8	0	0	1.6390	<1	1.6385
2	1	2	4.388	2	4.387	3	3	4	2.2562	1	2.2565	5	2	6	1.6345	7	1.6348
3	1	0	4.150	13	4.143	3	4	3	2.2507	1	2.2499	1	1	8	1.6303	<1	1.6297
0	3	1	4.139	14	4.134	5	3	0	2.2440	2	2.2456	4	1	7	1.6259	<1	1.6258
3	1	1	3.959	<1	3.954	3	5	1	2.2098	<1	2.2100	6	4	4	1.5919	1	1.5919
1	2	3	3.522	1	3.523	2	4	4	2.1884	16	2.1908	7	2	4	1.5823	<1	1.5814
1	3	2	3.508	1	3.505	1	0	6	2.1792	82	2.1768	6	3	5	1.5710	<1	1.5717
4	0	0	3.281	28	3.277	5	3	2	2.1265	<1	2.1267	0	6	6	1.5496	<1	1.5497
3	2	2	3.185	1	3.184	6	0	2	2.0754	<1	2.0747	2	8	2	1.5402	2	1.5402
2	3	2	3.180	1	3.180	0	6	2	2.0685	2	2.0672	4	3	7	1.5340	<1	1.5335
3	3	0	3.086	6	3.083	5	0	4	2.0548	<1	2.0554	7	4	3	1.5239	<1	1.5244
1	4	1	3.079	1	3.080	4	2	5	1.9642	<1	1.9646	8	2	3	1.4951	<1	1.4953
0	2	4	2.953	<1	2.953	3	1	6	1.9488	<1	1.9482	8	1	4	1.4596	<1	1.4593
0	4	2	2.927	4	2.928	2	3	6	1.8847	<1	1.8855	2	8	4	1.4285	<1	1.4286
4	2	1	2.860	4	2.860	6	2	3	1.8752	<1	1.8755	6	5	5	1.4162	<1	1.4161
2	4	1	2.853	2	2.853	7	1	0	1.8523	1	1.8536	0	3	9	1.3940	<1	1.3941
4	2	2	2.682	4	2.678	0	4	6	1.8280	1	1.8285	9	3	0	1.3806	<1	1.3812
2	4	2	2.676	1	2.673	3	3	6	1.7947	1	1.7949	8	5	2	1.3582	<1	1.3584
1	3	4	2.583	<1	2.583	5	5	2	1.7813	<1	1.7818						

**Tabulka 16** Parametry základní cely thomsonitu-Ca (pro ortorombickou prostorovou grupu *Pnca*)

	tato práce	Stahl et al. (1990)	Pauliš et al. (2014)
<i>a</i> [Å]	13.1081(14)	13.1043(14)	13.104(2)
<i>b</i> [Å]	13.0558(18)	13.0569(18)	13.056(1)
<i>c</i> [Å]	13.2448(16)	13.2463(30)	13.247(2)
<i>V</i> [Å <sup>3</sup> ]	2266.7(5)	2266.46	2266.4(6)

## Thomsonit-Ca

*Thomsonit-Ca* byl na Tachovském vrchu zjištěn pouze na jediném místě při východním okraji lomu v lehké navětralém vulkanitu při kontaktu s analcimizovanými polohami. V dutinách velkých až 4 cm tvoří hemisférické radiálně tabulkové agregáty, tvořené čirými a narůžovělými krystaly o velikosti do 5 mm, které jsou ukončeny plochou bází. V centru některých agregátů thomsonitu-Ca byly zjištěny krystaly natrolitu (obr. 16 a 18).

Rentgenová prášková data thomsonitu-Ca z Tachovského vrchu (tab. 15) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jejichž zprůměrované parametry (tab. 16) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento minerální druh. V BSE obraze je studovaný minerál nehomogenní (obr. 18) a lze odlišit minimálně dvě variety, které se liší obsahem Sr. Při studiu jejich chemického složení (tab. 17, 18) byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Sr a Na; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Vzhledem k tomu, byly oba typy thomsonitu-Ca studovány odděleně. Empirický vzorec thomsonitu-Ca s vyšším obsahem Sr (tabulka 17) (prů-

měr 3 bodových analýz) je na bázi 20 kyslíků možno vyjádřit jako  $\text{Ca}_{1.63}\text{Na}_{1.02}\text{Sr}_{0.36}(\text{Si}_{5.10}\text{Al}_{4.86})\text{O}_{20}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Hodnota  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.51$  tohoto thomsonitu je ve spodní části rozmezí uváděného pro tento minerální druh (Coombs et al. 1997). Empirický vzorec thomsonitu-Ca s nižším obsahem Sr (tabulka 18) (průměr 4 bodových analýz) je na bázi 20 kyslíků možno vyjádřit jako  $\text{Ca}_{1.68}\text{Na}_{1.01}\text{Sr}_{0.19}(\text{Si}_{5.23}\text{Al}_{4.78})\text{O}_{20}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Hodnota  $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.52$  tohoto thomsonitu je ve spodní části rozmezí uváděného pro thomsonit-Ca (Coombs et al. 1997).

Obdobně jako zdejší chabazity mají i thomsonity neobvykle vysoký obsah Sr (0.17-0.38 *apfu*), zdaleka nejvyšší v ČR. V zahraničí však byly zjištěny strontnaté thomsonity s podstatně vyššími obsahy Sr. Jedná se například o thomsonity-Ca z Yellow Lake v Britské Kolumbii v Kanadě s 0.53 *apfu* Sr (Wise, Tschernich 1978) či z Tajmiru v Rusku s 0.79 *apfu* (Yefimov et al. 1966). Nejvyšší obsahy Sr (1.42 *apfu*) má samostatně vyčleněný minerální druh thomsonit-Sr, který byl popsán z alkalického pegmatitu v Chibinském masivu na Kolském poloostrově v Rusku (Pekov et al. 2001).

**Tabulka 17** Chemické složení thomsonitu-Ca z Tachovského vrchu u Doks (hm. %)

	mean	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	36.25	36.57	36.54	35.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.31	28.79	29.45	29.68
CaO	10.78	10.74	10.99	10.62
SrO	4.43	4.50	4.21	4.58
Na <sub>2</sub> O	3.73	3.40	3.54	3.48
H <sub>2</sub> O	12.78	12.72	12.84	12.70
total	97.28	96.72	97.57	96.71
Si <sup>4+</sup>	5.104	5.171	5.118	5.050
Al <sup>3+</sup>	4.864	4.799	4.861	4.956
Ca <sup>2+</sup>	1.626	1.627	1.650	1.612
Sr <sup>2+</sup>	0.362	0.365	0.342	0.376
Na <sup>+</sup>	1.016	0.933	0.961	0.955
H <sub>2</sub> O	6	6	6	6
T <sub>Si</sub>	0.51	0.52	0.51	0.50

Empirické vzorce jsou přepočteny na bázi 20 kyslíků. H<sub>2</sub>O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 6 H<sub>2</sub>O.

**Tabulka 18** Chemické složení thomsonitu-Ca (s menším obsahem Sr) z Tachovského vrchu u Doks (hm. %)

	mean	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	37.62	37.75	37.47	37.84	37.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.15	29.52	28.73	29.03	29.36
CaO	11.27	11.09	11.26	11.29	11.42
SrO	2.33	2.51	2.53	2.04	2.13
Na <sub>2</sub> O	3.74	3.83	3.67	3.61	3.83
H <sub>2</sub> O	12.94	13.02	12.85	12.93	12.95
total	97.05	97.72	96.51	96.74	97.11
Si <sup>4+</sup>	5.231	5.216	5.247	5.263	5.199
Al <sup>3+</sup>	4.777	4.807	4.742	4.759	4.808
Ca <sup>2+</sup>	1.679	1.642	1.690	1.682	1.700
Sr <sup>2+</sup>	0.188	0.201	0.205	0.167	0.172
Na <sup>+</sup>	1.008	1.026	0.996	0.973	1.032
H <sub>2</sub> O	6	6	6	6	6
T <sub>Si</sub>	0.52	0.52	0.53	0.53	0.52

Empirické vzorce jsou přepočteny na bázi 20 kyslíků. H<sub>2</sub>O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 6 H<sub>2</sub>O.



**Obr. 19** Radiálně paprscitý agregát aragonitu z Tachovského vrchu, foto L. Hružek.

## Další zjištěné minerální druhy

Vedle nordstranditu a zeolitů se na lokalitě hojně vyskytuje *kalcit*, který běžně zaplňuje zbylé prostory dutin či puklin v podobě zrnitého agregátu nejčastěji bělavé či žlutavé barvy, vzácněji je narůžovělý. Na puklinách vytváří dobře vyvinuté cvočkové či klencové krystaly o velikosti do 1 cm. V dutinách s analcimem se vyskytují jeho až 2 cm velké drúzy tvořené bezbarvými skalenoedry. Vzácnější jsou radiálně uspořádané, hrubě vějířovité agregáty *aragonitu* (obr. 19), tvořené až 5 mm silnými a 10 cm dlouhými krystaly. Nalezena byla i úplná aragonitová „sluníčka“ o průměru kolem 20 cm. Ve velmi estetických ukázkách byl aragonit zjištěn v dutinách zelených analcimizovaných partií spolu s analcimem. Stěny až 5 cm velkých dutin jsou bohatě porostlé až 5 mm velkými dokonale vyvinutými krystaly analcimu, na které nasedá radiálně jehlicovitý zonální agregát aragonitu bílo-žluto-oranžové barvy. Na základě rtg. analýzy se většinou jedná o směs aragonitu a kalcitu v poměru 1:1.

Zajímavým, již zmiňovaným minerálem, je *fluorit*, který patří v neovulkanických horninách Českého středohoří a Lužických hor k minerálům velmi vzácným. Na Tachovském vrchu tvoří drobné (0.0X-0.X mm) bělavé hexaedry, případně kostrovité reliktů v asociaci s nordstranditem. Výskyt červenofialového fluoritu zmiňují i Pivec a Dubanská (1990).

## Závěr

Ve fonolitovém kamenolomu na Tachovském vrchu u Doks byly nově zjištěny a studovány nordstrandit a zeolity chabazit-Ca, natrolit, phillipsit-Ca, phillipsit-K a thomsonit-Ca. Nordstrandit patří k nejmladším minerálům zdejších trhlin, který narůstá na starší fluorit, zeolity a kalcit. Z hlediska chemismu zjištěných zeolitů je zajímavý především zvýšený obsah Sr u chabazitu-Ca a thomsonitu-Ca, který dosud u zeolitů České republiky nebyl zjištěn.

## Poděkování

*Milou povinností autorů je poděkovat za poskytnutí fotografií P. Fuchsovi z Teplic a za spolupráci při laboratorním výzkumu R. Škodovi z Masarykovy univerzity v Brně a L. Váchové z Národního muzea v Praze. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národního muzea (DKRVO 2017/02, 00023272).*

## Literatura

- ALBERTI A, CRUCIANI G, DAURU I (1995) Order disorder in natrolite-group minerals. *Eur J Mineral* 7: 501-508
- BAHENSÝ C (1950) Fonolit z lomu Tachov. MS Ústav sklářství Praha, archiv ČGS - Geofondu Praha P 6091
- BOSMANS HJ (1970) Unit cell and crystal structure of nordstrandite, Al(OH). *Acta Cryst B* 26: 649-652
- 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 S, 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 PETR, HABERMANN V, KOLOUŠEK D, ONDRUŠ P, VESELOVSKÝ F (2002) Mokrá u Žlutic, lokalita gibbsitu, böhmitu a zeolitů. *Mineral* 10(6): 403-408
- DEER WA, HOWIE RA, WISE WS, ZUSSMAN J (2004) *Rock-forming Minerals, Framework Silicates: Silica Minerals, Feldspaths and the Zeolites*. Vol. 4B. The Geological Society London
- FEDIUK F (1995) Záchranný výzkum vnitřní stavby krajinné dominanty Tachov, destruované těžbou kamene. MS, Přehled výsledků geol. prací na ochranu horninového prostředí v r. 1995, MŽP ČR.
- FEDIUK F (1996) Permian ignimbritic rhyolite on Tachov Hill near Doksy, N-Bohemia. *Věst Čes geol Úst* 71(2): 145-150
- FEDIUK F (1997) Staropaleozoický kvarckeratofyr na Malém Bezdězu. *Zpr geol Výzk* 1996: 143-146
- FEDIUK F (1998) Tachovský vrch hill: hauyne phonolite with melanite, a view inside a volcanic apparatus. in Ulrych J, Cajz V, Adamovič J *Magmatism and rift basin evolution*. Czech Geol. Survey Prague, 39-40
- FEDIUK F, FEDIUKOVÁ E (1996) Tachovský vrch, 2. etapa. MS MŽP ČR
- FEDIUK F, FEDIUKOVÁ E (1997) Hyalofán v českých fonolitech. *Zpr geol Výzk* 1996: 145-146
- FEDIUKOVÁ E, FEDIUK F (2010) Melanitové Ti granáty severočeských kenozoických vulkanitů. *Zpr geol Výzk* 2009: 202-207
- 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
- HEJTMAN B (1957) *Systematická petrografie vyvřelých hornin*. Nakl. Čs Akad. Věd, Praha
- HONSA I (1985) Zpráva o ověření možnosti využití odpadu z lomu v zemědělské rostlinné výrobě. MS archiv autora, Mníšek u Liberce
- HORNÝ R A KOLEKTIV (1963) *Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200000 M-33-XV Praha*. Geofond, Nakl. ČSAV Praha
- JABLONSKÝ P A KOLEKTIV (1984) Tachov u Doks, surovina kámen. Etapa průzkumu: dorozvědka 1983. MS Geindustria Praha, závod Dubí, archiv ČGS - Geofondu P 46728
- KAVKA J (1960) Petrografický posudek žnělcové vyvřeliny z Tachovského vrchu. MS Geol. Průzk. Praha, archiv ČGS - Geofondu
- KAVKA J (1975) Petrografická charakteristika severočeských žnělců se zřetelem k výrobě kameniva. MS Úst geol Věd Karlovy Univ Praha
- KOPECKÝ L (1951) Závěrečná zpráva o pracích na výzkumném úkolu „Tavené horniny“, petrografický a lomařský výzkum. MS Ústř Úst geol Praha, archiv ČGS - Geofondu P 6248.
- KRATOCHVÍL J (1963) *Topografická mineralogie Čech VI*. NČSAV, Praha
- KÜHN P (2006) *Geologické zajímavosti Libereckého kraje*. Liberecký kraj, Liberec
- LÁZNIČKA P (1965) *Nové nálezy nerostů v Čechách*. Národní muzeum a Společnost Národního muzea, 11
- 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.

- MÜLLER B (1915) Der geologische Aufbau des Hirschberger Teichgebietes mit petrographischen Beschreibungen. Monogr und Abh 5, 81 S., Leipzig.
- PASSAGLIA E (1970) The crystal chemistry of chabazites. *Am Mineral* 55: 1278-1301
- PAULIŠ P, SVEJKOVSKÝ J, JANEČEK O, HRŮZEK L, DVOŘÁK Z, JEBAVÁ I (2013) Offretit z kamenolomu Vrbička u Valče v Doupovských horách. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz* 21(2): 171-178
- 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, HRŮZEK L, JANEČEK O, DVOŘÁK Z, TOMAN J, SVEJKOVSKÝ J, RADONĚ M (2015a) Nejzajímavější mineralogická naleziště Čech - zeolity a doprovodná mineralizace. Kutná Hora, Kutná Hora
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, JANEČEK O, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, POUR O, FEDIUK F (2015b) Tschernichit, garronit-Ca a doprovodná zeolitová 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 Svory u Nového Boru (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 24(2): 194-204
- PEKOV IV, TÜRCHKOVA AG, CHUKANOV NV, ZADOV AE, GRICHIN VG (2000) Chabazite-Sr, (Sr,Ca)[Al<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>]-6H<sub>2</sub>O, a new zeolite mineral from Lovozero massif, Kola Peninsula. *Zap Vseross mineral Obšč* 129(4): 54-58
- PEKOV IV, LOVSKAYA EV, TÜRCHKOVA AG, CHUKANOV NV, ZADOV AE, RASTSVETAEVA RK, KONONKOVA NN (2001) Thomsonite-Sr (Sr,Ca)<sub>2</sub>Na[Al<sub>2</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>20</sub>]-6-7H<sub>2</sub>O, a new zeolite mineral from Khibiny Massif (Kola Peninsula) and thomsonite-Ca - thomsonite-Sr an isomorphous series *Zap Vseross mineral Obšč* 130(4): 46-55
- PIVEC E, DUBANSKÁ V (1990) Hydrotermální alterace haunovného trachytu z Tachovského vrchu u Doks. *MEGA* 14(3): 165-173
- POUCHOU JL, PICOIR F (1985) "PAP" (φpZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (J. T. Armstrong, ed.). San Francisco Press, San Francisco, 104-106
- PRELLER J (1949) Zpráva o vzorku čediče z lomu v Tachově a ostatních čedičů z okolí Doks, celkem 13 vzorků. MS Liberec, archiv ČGS - Geofondu P 6092
- SEJKORA J, JEBAVÁ I, PLAŠIL 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
- SENGER A (1930) Granatführende jungvulkanische Eruptivgesteine der Hirschberger Gegend. *Firgenwald* 3: 117-118
- SHRBENÝ O (1995) Chemical composition of young volcanites of the Czech Republic. *Czech Geol Survey Spec Papers* 4
- SHRBENÝ O, MACHÁČEK V (1973) Geochemistry of trachytic rocks of the České středohoří Mts. *Čas Mineral Geol* 18(2): 131-161
- SCHEUMANN K (1913) Petrographische Untersuchungen an Gesteinen des Polzengebietes in Nord-Böhmen. *Abh Sächsischen Ges Wiss* 32: 607-776
- STAHL K, KVICK A, SMITH JV (1990) Thomsonite, a neutron diffraction study at 13K. *Acta Cryst C* 46: 1370-1373
- STEJSKAL J, PELÍŠEK J (1956) *Lesnická geologie*. Stát zemědělní Nakl Praha
- SVEJKOVSKÝ J (2009) Klasické zeolity a příbuzné minerály Českého středohoří. *Minerál* 17(2): 127-137
- SVEJKOVSKÝ J, PAULIŠ P, MALÍKOVÁ R (2015) Nordstrandit z kamenolomu Mokrá u Žlutic (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 23(1): 30-33
- TSCHERNICH RW (1992) *Zeolites of the World*. Geoscience, Phoenix
- TUČEK K (1962) Poznámky k charakteristice nových nálezů zeolitů v oblasti Českého masivu. *Sbor Nár Muz Ř B*, 18(5): 121-144
- ULRYCH J, RYCHLÝ R (1981) Strontium-Chabasit von Řepčice, Böhmen. *Chem d Erde* 40: 68-71
- VANĚČKOVÁ M, HOLUB FV, SOUČEK J, BOWES DR (1993) Geochemistry and petrogenesis of the Tertiary alkaline volcanic suite of the Labe Tectono-volcanic Zone. *Czech Republic. Mineral Petrol* 48: 17-34
- VILÍMEK M A KOL (1961) Tachov. Surovina: kámen. MS, archiv ČGS - Geofondu.
- WISE WS, TSCHERNICH RW (1978) Habits, crystal forms and composition of thomsonite. *Can Mineral* 16: 487-493
- WURM A (1904) Beiträge zur Kenntnis der Eruptivgesteine der Leipauer Umgebung. *Verhandl Geol Redichsanst* 8: 132-135
- YAKUBOVICH OV, MASSA W, GAVRILENKO PG, PEKOV IV (2005) Crystal structure of chabazite. *Kristallografiya* 50(4): 595-604
- YEFIMOV AF, GANZEYEV AA, KATAYEVA ZT (1966) Finds of strontian thomsonite in the USSR. *Dokl Akad Science USSR, Earth Science Section* 169: 148-150