

<https://doi.org/10.46861/bmp.31.065>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Zeofylit, tobermorit, fluorapofylit-(K) a doprovodná zeolitová mineralizace z Křížového vrchu u Cvikova v Lužických horách (Česká republika)

Zeophyllite, tobermorite, fluorapophyllite-(K) and accompanying zeolite mineralization from Křížový vrch near Cvikov in Lužické hory Mts. (Czech Republic)

PETR PAULIŠ^{1,2)*}, LIBOR HRŮZEK³⁾, JIŘÍ SEJKORA²⁾, OLDŘICH JANEČEK⁴⁾, ONDŘEJ POUR⁵⁾, BOHUSLAV BUREŠ⁶⁾ A BLANKA ŠREINOVÁ²⁾

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⁾Plevenská 3111, 143 00 Praha 4

PAULIŠ P, HRŮZEK L, SEJKORA J, JANEČEK O, POUR O, BUREŠ B, ŠREINOVÁ B (2023) Zeofylit, tobermorit, fluorapofylit-(K) a doprovodná zeolitová mineralizace z Křížového vrchu u Cvikova v Lužických horách (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 31(1): 65-81 ISSN 2570-7337

Abstract

Zeophyllite, tobermorite, kenotobermorite, fluorapophyllite-(K) and associated zeolites were found in cavities of Cenozoic basaltic rocks of small abandoned quarry at western slope of the Křížový vrch hill (443 m a.s.l.), 1.5 km NE from Cvikov, 13 km NNE from Česká Lípa, Lužické hory Mountains, Czech Republic. Zeophyllite forms colorless spherical aggregates with pearly lustre usually 3 - 4 mm in size, aggregates with diameter up to 1 cm were observed only rarely. It is trigonal, space group *R*-3, with unit-cell parameters refined from PXRD: *a* 9.362(2), *c* 36.470(12) Å and *V* = 2768.3(1.2) Å³. Chemical analyses of zeophyllite correspond to the empirical formula (Ca_{12.84}Na_{0.07})_{Σ12.91}(Si_{9.83}Al_{0.26})_{Σ10.09}O₂₈(OH)_{1.43}F_{8.42}·6H₂O. Tobermorite occurs as snow-white hemispherical to spherical aggregates up to 1 cm in size, it replaces earlier zeophyllite. It is monoclinic, space group *Bm*, with unit-cell parameters refined from PXRD: *a* 6.714(4), *b* 17.375(4), *c* 22.670(8) Å, *γ* 123.31(3)° and *V* 938.2(1.3) Å³. On the base of chemical analyses, tobermorite with empirical formula (Ca_{4.55}Na_{0.03}K_{0.02})_{Σ4.60}(Si_{5.40}Al_{0.60})_{Σ6.00}O_{15.56}(OH)_{1.44}·5H₂O is accompanied by more rare Ca-poor kenotobermorite with empirical formula (Ca_{3.99}Na_{0.04})_{Σ4.03}(Si_{5.60}Al_{0.40})_{Σ6.00}O_{14.62}(OH)_{2.38}·5H₂O. Fluorapophyllite-(K) forms abundant prismatic crystals up to 0.5 - 2 cm in size. It is colorless to white with vitreous to greasy lustre. It is tetragonal, space group *P4/mnc*, with unit-cell parameters refined from PXRD: *a* 9.0157(13), *c* 15.7889(19) Å and *V* = 1283.4(3) Å³. Chemical analyses of fluorapophyllite-(K) correspond to the empirical formula (K_{0.81}Na_{0.24})_{Σ1.05}Ca_{4.06}(Si_{7.25}Al_{0.47})_{Σ8.00}O₂₀F_{1.05}·8H₂O. Other zeolites, thomsonite-Ca, chabazite-Ca, phillipsite-Ca and -K, were found in association; their PXRD data, unit-cell parameters and chemical compositions are given in the paper.

Key words: zeophyllite, tobermorite, kenotobermorite, fluorapophyllite-(K), chabazite-Ca, phillipsite-K, phillipsite-Ca, thomsonite-Ca, Cenozoic basaltic rocks, powder X-ray diffraction data, unit-cell parameters, chemical composition, Křížový vrch near Cvikov, Czech Republic

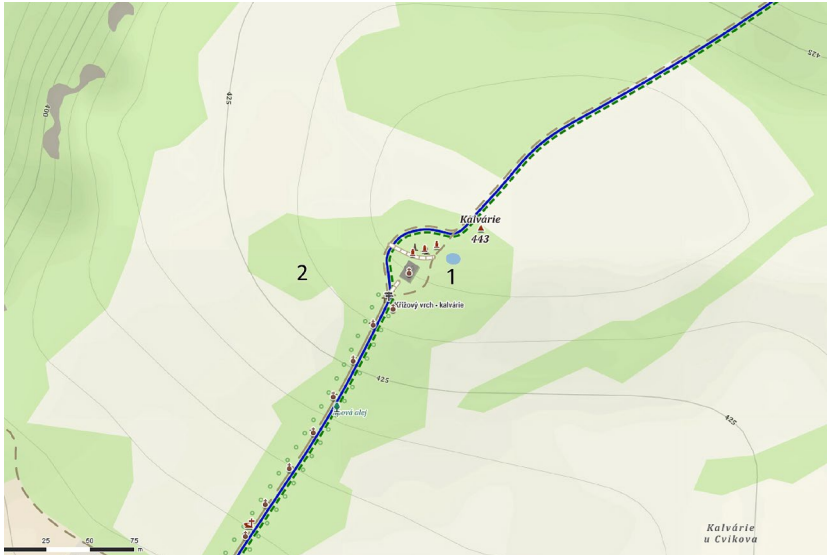
Obdrženo 12. 4. 2023; přijato 16. 6. 2023

Úvod

Nově studovaná mineralizace byla zjištěna na Křížovém vrchu (443 m n. m.), také označovaném jako Kalvárie, asi 1.5 km sv. od Cvikova, 13 km ssv. od České Lípy, v Lužických horách. Jde o nevelké čedičové návrší, tvořící severozápadní výběžek Zeleného vrchu (586 m n. m.). Zdejší čedič se vyznačoval kulovitým rozpadem a v jeho dutinách se hojně nacházely zeolity. Ještě ve 30. letech 20. století se na vrcholu ve dvou malých lomech (obr. 1) v blízkosti kaple těžil čedič pro výrobu silničního štěrku.

Zajímavá je historie tohoto vrchu. Návrší se až do roku 1728 jmenovalo Lískový vrch (Nüssebergel). V červnu toho roku se zde usadil punčochář Johann Franz Rich-

ter, který získal povolení k výstavbě poustevny a spolu s Florianem Friedrichem zde začal budovat poutní místo. V dubnu roku 1730 byla zahájena stavba kamenného Božího hrobu, nad nímž byla postavena dřevěná stříška s podloubím a dokončená kaple byla vysvěcena 24. července 1735. Cesta ke kapli postupně získala ráz křížové cesty. Dřevěná kaple Božího hrobu stála do roku 1845, kdy byla na jejím místě z dobročinných darů postavena nová kamenná kaple, vysvěcena v roce 1847. Na jejím oltáři byl umístěn obraz Snímání z kříže, namalovaný podle Rubense. V roce 1883 byla kaple Kalváriovým spolkem renovována a v témže roce byla kolem cesty vysázena lipová alej (www.luzicke-hory.cz).



Obr. 1 Plánek lokalit na Křížovém vrchu (č. 1 původní naleziště v zatopeném lůmku; č. 2 popisované naleziště), zdroj: www.mapy.cz.



Obr. 2 Zatopený lůmek na Křížovém vrchu (původní naleziště č. 1) (2022). Foto P. Pauliš.



Obr. 3 Lokalita č. 2 na Křížovém vrchu (2022). Foto P. Pauliš.

Historických informací o výskytu zeolitů na Křížovém vrchu není mnoho. Existují pouze stručné zmínky Reusse (1797, 1801 in Kratochvíl 1957), ve kterých jsou zmiňovány zeolity (Würfelzeolith = chabazit?) vyplňující pukliny a dutiny v mandlovcovitém čediči. Nověji byl na lokalitě zkoumán (O. Janeček a L. Hružek - Pauliš et al. 2015a) větší zatopený jámový lůmek (obr. 2), zahloubený východně od kaple Božího hrobu (GPS 50°47'18.53"N; 14°38'39.44"E). V tomto lomu je obnažen stejný typ čediče, jaký tvoří vrcholovou partii Křížového vrchu. Čedič se vyznačuje výraznou deskovitou odlučností s úklonem k východu, má šedou barvu, místy s nádechem do zelena, je středně zrnitý, jemně pórovitý a prakticky v celém objemu více či méně dutinatý. Malé dutiny mají převážně hladký povrch, větší jsou členité. Jejich velikost běžně dosahuje 5 cm, vzácněji až 10 cm. Asociace minerálů zahrnuje chabazit-Ca, phillipsit, kalcit, lévyn-Ca a offretit-erionit. Lévy-Ca s offretitem-erionitem se vždy vyskytují v nejmenších dutinách samostatně. Ostatní minerály krystalují v posloupnosti phillipsit - kalcit I - chabazit-Ca - kalcit II. Z mineralogického hlediska je nejzajímavější **chabazit-Ca**, který vytváří v dutinách buď souvislé povlaky z drobnějších krystalů nebo samostatné krystaly, jejichž velikost se běžně pohybuje mezi 5 - 7 mm, vzácně až 15 mm. Tyto vzorky se podobají chabazitům z Řepčic. Jsou bezbarvé, bělavé až nažloutlé, mají dokonalý skelný lesk. Často jsou povlečené jemným, rezavým, žlutavým, oranžovým až červeným železitým filmem. Krystaly mají klencový tvar, fakolitové srostlice tu nebyly zjištěny. Vzácněji se v drobných dutinách objevují **phillipsit** v podobě krystalů do 2 mm a **lévyn** v epitaxních srůstech s minerálem ze skupiny **offretit-erionit**. V dutinkách o velikosti do 5 mm vytváří lévyn typické mřížkové agregáty, jen vzácně pak velice drobnoučké tabulkové krystaly (Pauliš et al. 2015a). Častý je **kalcit**, jehož první generace narůstá na phillipsit v podobě bezbarvých a nažloutlých hemisférických agregátů s lupenitou stavbou. Agregáty o průměru až 2 cm nasedají v dutinách jednotlivě i v bohatých povlacích. Druhá generace kalcitu nasedá na chabazit a vytváří krystaly a agregáty podobné velikosti a vzhledu jako první kalcitová generace.

Metodika výzkumu

Rentgenová prášková difrakční data byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s polovodičovým pozičně citlivým detektorem LynxEye za užití CuK α záření (40 kV, 40 mA). Práškové preparáty byly nanoseny 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.). Získaná data byla vyhodnocena pomocí softwaru ZDS pro DOS (Ondruš 1993) za použití profilové funkce Pearson VII. Zjištěná rentgenová prášková data byla indexována na základě teoretických údajů vypočtených programem Lazy Pulverix (Yvon et al. 1977) z publikovaných krystalových strukturních dat pro jednotlivé minerály, parametry základních cel byly následně zpřesněny pomocí programu Burnhama (1962).

Chemické složení bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha, analytik Z. Dolníček) za podmínek: vlnové disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 5 nA, průměr svazku 5 μ m, standardy: baryt (BaL α), albit (NaK α), sanidin (SiK α AlK α , KK α), rodonit (MnK α), diopsid (MgK α), apatit (PK α), hematit (FeK α), ZnO (ZnK α), celestín (SK α , SrL β), RbGe sklo (RbL α), wollastonit (CaK α), halit (ClK α), LiF (FK α), chalkopyrit (CuK α), BN (NK α) a wulfenit (PbM α). Měřicí časy na píku se obvykle pohybovaly mezi 10 a 30 s (pro N 150 s), měřicí časy pozadí trvaly polovinu času měření na píku. Získaná data byla korigována za použití algoritmu PAP (Pouchou, Pichoir 1985). Obsahy prvků, které nejsou uvedeny v níže prezentovaných tabulkách, byly ve všech případech pod mezí stanovitelnosti. Vyšší sumy chemických analýz některých minerálních fází po dopočtu teoretického obsahu vody jsou pravděpodobně způsobeny částečnou dehydratací vzorků ve vakuu komory elektronového mikroanalýzátoru.



Obr. 4 Bazalt s hojnými dutinami, lokalita č. 2, šířka záběru 3 m (2022). Foto P. Pauliš.



Obr. 5 Zeofylit s fluorapofylitem-(K) z Křížového vrchu u Cvikova. Foto P. Fuchs, šířka záběru je 3 mm.



Obr. 6 Křídově bílý zeofylit s thomsonitem-Ca (vlevo) a fluorapofylitem-(K) z Křížového vrchu u Cvikova. Foto P. Fuchs, šířka záběru je 12 mm.



Obr. 7 Zeofylit s fluorapofylitem-(K) z Křížového vrchu u Cvikova. Foto B. Bureš, šířka záběru je 7 mm.



Obr. 8 Zeofylit z Křížového vrchu u Cvikova. Foto B. Bureš, šířka záběru je 10 mm.



Obr. 9 Sférický agregát zeofylitu s fluorapofylitem-(K) z Křížového vrchu u Cvikova. Foto B. Bureš, šířka záběru je 5.6 mm.

Charakterizace zjištěné mineralizace

Nově studovaná a v tomto příspěvku popsaná mineralizace pochází z druhého místa Křížového vrchu, kterým je nevelký výchoz, patrně v minulosti malý lůmek (obr. 3) na západní straně vrchu (GPS 50°47'18.52"N; 14°38'38.59"E), kde byly v navětralých dutinách čediče již dříve zjištěny až 7 mm velké polokulovité agregáty nažloutlého thomsonitu, které nasadaly na drobně krystalovaný phillipsit v asociaci s klencovitými krystaly chabazitu. Thomsonit vzácně doprovází sněhobílý albinizovaný apofylit (Pauliš et al. 2015a).

Čedičová hornina zde má trochu jiný charakter než na předchozím místě. Je tmavě šedá až černošedá, jemnozrná až celistvá, velice tvrdá s nepravidelnou odlučností. Některé partie obsahují značné množství dutin (obr. 4), které mají nepravidelný tvar, jsou sevřené, jen vzácně kulovité, obvykle 2 - 5 cm velké (ojediněle až 10 cm). Pro stanovení petrologického charakteru bazaltoidu byly odebrány dva vzorky označené jako CV 1 a CV 2, ze kterých byly zhotoveny dva výbrusy.

Bazaltická hornina označená CV 1 je celistvá, tmavě šedá až šedočerná, kompaktní. Mikroskopicky obsahuje hojná, krátce prizmatická až izometrická zrna augitu nazelenalé až žlutohnědé barvy, drobné lišty plagioklasu a převážně izometrická opakní zrna magnetitu. Velikost zrn pyroxenu a plagioklasu se pohybuje v řádu 0.0X - 0.1 mm, zrna magnetitu nepřekračují velikost 0.04 mm. Struktura horniny je rovnoměrně zrnitá mikrokrytalická, textura všesměrná. Hornina označená CV 2 obsahuje velké množství dutinek velikosti v řádu 0.X - 5 mm (cca objemových 20 %), které jsou zčásti nebo zcela vyplněny světlými až bílými minerály. Hmota horniny je šedá až tmavě šedá, velmi jemnozrná s vyrostlicemi augitu velikosti do 0.4 mm, ojediněle až 1 mm (cca 8 %), vlastní základní hmota je pak tvořena stejně jako ve vzorku CV 1 nazelenalými až žlutohnědavými prizmatickými až izometrickými zrny augitu (cca 45 %), drobnými lištami plagioklasu (cca 45 %) a izometrickými zrny magnetitu (cca 10 %). Struktura horniny je drobně porfyrická s mikrokrytalickou strukturou základní hmoty, textura je všesměrná. Horninu obou vzorků lze definovat jako augitický bazalt.

Z mineralogického hlediska je nejzajímavějším nově zjištěným minerálem této lokality **zeofylit**. Jde o vzácný minerál, hydratovaný vápenatý silikát s podstatným obsahem fluoru, který je znám z přibližně dvaceti světových lokalit (www.mindat.org). V ČR byl dosud zjištěn na šesti lokalitách. Jako nový minerál byl popsán Pelikanem (1902), který ho původně nazval knollitem, z Katzenkoppe (vrch Kočičí hlava) u Velkého Března (Novák et al. 2001), kde ho v roce 1899 objevil litoměřický sběratel F. Leitenberger. Chemický vzorec zeofylitu později revidovali Chalmers et al. (1958) a krystalovou strukturu Merlino (1972). Patrně jeho nejbohatší české vzorky pocházejí ze Starého vrchu u Radejčína nedaleko Lovosic, kde tvoří v

sodalitickém tefritu až 1 cm velké kulovité, radiálně lupínkovité agregáty bílé barvy. Nověji byl zeofylit z Radejčína studován Mikendou et al. (1997). Tento minerál je uváděn i z Račí hory u Krásného Března a z čedičového kontaktu s křídovými slínami na Hegebergu u Horního Jílového u Děčína (Pauliš et al. 2015a). Problematickými lokalitami jsou Ostrý u Benešova nad Ploučnicí a Soutěšky u Děčína, odkud ho uvádí Slavíček (1984), jeho vzorky se však nepodařilo dohledat (Dvořák et al. 2017).

Zeofylit vytváří na Křížovém vrchu typické bezbarvé, perleťově lesklé, 3 - 4 mm, vzácně až 1 cm velké kulovité agregáty s radiálně lupenitou stavbou. Narůstá obvykle na phillipsit-K a -Ca v samostatně vyvinutých kulovitých

Tabulka 1 Rentgenová prášková data zeofylitu z Cvikova

d_{obs}	I_{obs}	d_{calc}	h	k	l	d_{obs}	I_{obs}	d_{calc}	h	k	l	d_{obs}	I_{obs}	d_{calc}	h	k	l
12.163	100.0	12.157	0	0	3	2.700	4.1	2.703	3	0	0	2.0268	23.2	2.0267	2	2	9
6.074	34.4	6.078	0	0	6	2.652	15.6	2.651	1	0	13	1.9847	9.0	1.9848	-1	3	14
4.670	4.9	4.681	1	1	0	2.640	17.8	2.641	3	-1	7	1.9117	18.0	1.9141	1	3	10
4.372	5.4	4.383	1	0	7	2.549	16.5	2.549	2	-1	12	1.8610	25.8	1.8594	2	-1	18
4.054	13.3	4.052	0	0	9	2.542	10.9	2.543	1	2	8	1.8297	5.9	1.8289	3	-1	16
3.973	7.2	3.974	0	1	8	2.4329	3.0	2.4313	0	0	15	1.7689	33.9	1.7693	4	1	0
3.702	28.3	3.709	2	-1	6	2.3449	13.7	2.3462	2	1	10	1.7529	10.1	1.7508	-1	5	3
		3.704	0	2	4	2.2964	9.9	2.2983	4	-2	3			1.7508	4	1	3
3.325	5.0	3.326	1	0	10	2.2459	14.7	2.2444	-1	4	1	1.7028	9.3	1.7022	3	1	14
3.198	20.5	3.199	0	2	7	2.2304	8.1	2.2318	3	1	2	1.6209	14.0	1.6215	-1	5	9
3.068	31.4	3.069	0	1	11	2.1927	12.5	2.1915	2	0	14	1.6029	12.1	1.5997	0	4	14
3.055	82.6	3.054	3	-1	1	2.1820	6.9	2.1842	4	-2	6	1.5468	3.9	1.5483	0	5	7
3.033	92.5	3.039	0	0	12	2.1581	6.7	2.1577	2	-1	15	1.5305	8.5	1.5319	4	-2	18
2.902	62.8	2.905	3	-1	4	2.0696	33.9	2.0692	3	-1	13	1.5130	8.1	1.5110	2	4	4
2.822	13.2	2.825	-1	3	5												

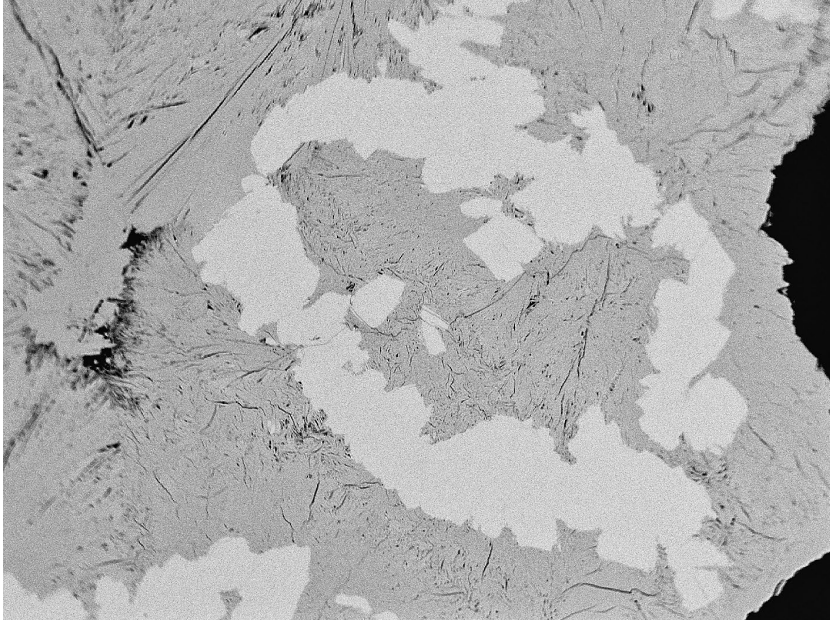
Tabulka 2 Parametry základní cely zeofylitu (pro trigonální prostorovou grupu R-3)

		a [Å]	c [Å]	V [Å ³]
Cvikov	tato práce	9.362(2)	36.470(12)	2768.3(1.2)
Radejčín	Mikenda et al. (1997)	9.377(2)	36.57(2)	2784.7
Radejčín	Merlino (1972)	9.36	36.48	2767.8
Monte Somma	Passaglia, Porcelli (1983)	9.359(9)	36.67(6)	2782(5)

Tabulka 3 Chemické složení zeofylitu z Cvikova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Na ₂ O	0.13	0.20	0.07	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.14	0.35	0.18	0.37	0.15	0.00
CaO	45.37	45.79	45.21	45.21	45.42	45.70	45.47	45.25	45.84	45.53	44.77	45.46	45.22	45.30	44.95
Al ₂ O ₃	0.84	1.05	0.60	0.74	0.84	0.98	1.37	0.79	0.55	0.64	0.63	0.80	1.08	0.78	0.95
SiO ₂	37.20	37.04	37.24	37.01	37.37	36.63	36.87	37.49	37.53	37.47	37.80	36.73	37.17	37.37	37.07
F	10.08	10.46	10.45	10.36	10.28	10.24	10.15	10.05	10.04	10.01	9.96	9.95	9.94	9.70	9.55
H ₂ O*	7.62	7.42	7.42	7.44	7.61	7.33	7.62	7.75	7.73	7.70	7.76	7.51	7.66	7.84	7.88
-O=F	-4.25	-4.40	-4.40	-4.36	-4.33	-4.31	-4.27	-4.23	-4.23	-4.21	-4.19	-4.19	-4.19	-4.08	-4.02
total	97.00	97.55	96.59	96.40	97.19	96.96	97.21	97.10	97.46	97.27	97.07	96.45	97.25	97.05	96.38
Na	0.068	0.102	0.036	0.000	0.000	0.204	0.000	0.000	0.000	0.072	0.179	0.093	0.188	0.077	0.000
Ca	12.842	12.863	12.876	12.906	12.862	12.867	12.849	12.831	12.941	12.855	12.654	12.917	12.719	12.814	12.828
Al	0.262	0.324	0.188	0.232	0.262	0.304	0.426	0.246	0.171	0.199	0.196	0.250	0.334	0.243	0.298
Si	9.828	9.711	9.899	9.861	9.877	9.626	9.725	9.922	9.889	9.874	9.971	9.741	9.758	9.866	9.874
F	8.424	8.673	8.785	8.730	8.593	8.510	8.467	8.412	8.366	8.343	8.309	8.345	8.253	8.099	8.045
OH	1.427	0.972	1.165	1.225	1.422	0.841	1.408	1.679	1.582	1.533	1.650	1.294	1.409	1.799	2.001
H ₂ O	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

mean - průměr 14 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi Ca+Na+Al+Si = 23; H₂O* - obsah vypočtený na základě vyrovnání náboje a teoretického obsahu 6 H₂O.



Obr. 10 Zeofylit (bílý) zatlačovaný tobermoritem (šedý) z Křížového vrchu u Cvikova. Foto v BSE Z. Dolníček, šířka záběru je 1.8 mm.



Obr. 11 Tobermorit narůstající na phillipsit z Křížového vrchu u Cvikova. Foto B. Bureš, šířka záběru je 7.5 mm.



agregátech (obr. 5-9). Velmi vzácně vytváří do prostoru vyvinuté hrozníčkovité agregáty s čistým povrchem, složené z drobnějších kuliček. Jen zřídka se jeho agregáty objevují ve větších dutinách, kde bývají většinou překryté tobermoritem nebo fluorapofylitem-(K). Hojněji se v čediči vyskytují až 3 cm velké mandle s množstvím drobných vzájemně prorostlých zeofylitových kulovitých agregátů o velikosti do 2 mm, které jsou zcela uzavřené v křídově bílé hmotě tobermoritu. Agregáty zeofylitu bývají často přeměněné, křídově bílé, s béžovým nádechem, stále však mají zachovanou hrubší lupenitou stavbu.

Rentgenová prášková data zeofylitu z Křížového vrchu (tab. 1) odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury (Mikenda et al. 1997), pozorované rozdíly v intenzitách difrakčních maxim jsou vyvolány pravděpodobně přednostní orientací vzorku. Zpřesněné parametry základní buňky jsou v tabulce 2 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerální druh. V BSE obraze je studovaný zeofylit chemicky homogenní, bývá zatlačován tobermoritem a kenotobermoritem, se kterým úzce asociuje (obr. 10). Při studiu jeho chemického složení byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Na a F; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Jeho chemické složení je blízké zeofylitu z Kočičí hlavy (Pelikan 1902), Radejčína (Hibsch 1934) či Monte Sommy na Vesuvu (Passaglia, Porcelli 1983). Empirický vzorec studovaného zeofylitu (tab. 3) (průměr 14 bodových analýz) je na bázi $\text{Ca} + \text{Na} + \text{Al} + \text{Si} = 23$ možno vyjádřit jako $(\text{Ca}_{12.84}\text{Na}_{0.07}\text{Al}_{12.91})(\text{Si}_{9.83}\text{Al}_{0.26})\text{O}_{28}(\text{OH})_{1.43}\text{F}_{8.42} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Poměrně častým minerálem bazaltových dutin studované lokality je **tobermorit**. Jde o hydratovaný vápenatý silikát, který je nejběžnějším členem tobermoritové superskupiny, která byla nově definována pro Ca-silikáty lišící se stupněm hydratace a strukturou (Biagioni et al. 2015). Tento poměrně řídký minerál byl v ČR zjištěn spolu se zeofylitem na vrchu Kočičí hlava u Velkého Března, kde

Obr. 12 Tobermorit s vnitřní porcelánovitou částí na phillipsitu z Křížového vrchu u Cvikova. Foto B. Bureš, šířka záběru je 16 mm.

Tabulka 4 Rentgenová prášková data tobermoritu z Cvikova

d_{obs}	l_{obs}	d_{calc}	h	k	l	d_{obs}	l_{obs}	d_{calc}	h	k	l	d_{obs}	l_{obs}	d_{calc}	h	k	l
11.341	100.0	11.335	0	0	2	2.2982	9.9	2.2980	1	0	9	1.8200	3.8	1.8199	-2	4	2
5.440	16.2	5.447	1	0	1	2.2686	11.8	2.2671	0	0	10	1.6691	16.3	1.6709	3	-2	9
3.522	14.1	3.527	1	0	5	2.1374	11.4	2.1412	3	-2	3	1.6192	6.5	1.6197	3	0	7
3.315	13.7	3.314	-1	2	3	2.0834	11.8	2.0859	2	-2	8	1.5427	7.6	1.5407	-3	4	7
3.076	52.1	3.082	-2	2	0	2.0009	18.3	2.0031	3	-2	5	1.4387	4.2	1.4381	-1	4	9
2.970	40.7	2.974	2	-2	2	1.8434	15.4	1.8438	-2	4	0	1.4043	3.0	1.4028	4	0	0
2.804	41.2	2.806	2	0	0	1.8389	19.0	1.8382	3	-2	7	1.3935	2.7	1.3921	4	0	2
2.517	6.5	2.514	2	0	4	1.8270	8.8	1.8261	2	-2	10	1.3747	4.6	1.3744	3	-2	13
2.4995	5.7	2.5008	2	-1	6	1.8270	8.8	1.8261	0	2	10	1.3747	4.6	1.3744	1	2	13
2.4334	9.9	2.4334	-1	2	7												

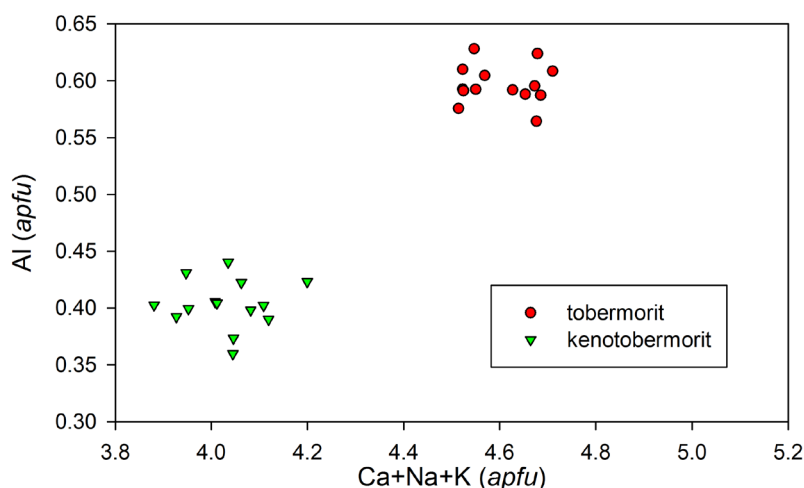
Tabulka 5 Parametry základní cely tobermoritu (pro monoklinickou prostorovou grupu Bm)

tobermorit*		a [Å]	b [Å]	c [Å]	γ [°]	V [Å ³]
Cvikov	tato práce	6.714(4)	7.375(4)	22.670(8)	123.31(3)	938.2(1.3)
Ural	Merlino et al. (2001)	6.732(2)	7.368(1)	22.680(4)	123.18(1)	941.5
kenotobermorit*						
N'Chwaning II mine	Merlino et al. (2001)	6.735(2)	7.385(1)	22.487(4)	123.25(1)	935.4

*definice krajních členů podle Biagioni et al. (2015)

Tabulka 6 Chemické složení tobermoritu z Cvikova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Na ₂ O	0.13	0.00	0.37	0.13	0.01	0.27	0.00	0.34	0.00	0.28	0.14	0.10	0.00	0.00	0.14
K ₂ O	0.13	0.12	0.08	0.11	0.09	0.06	0.05	0.10	0.09	0.09	0.18	0.25	0.15	0.23	0.23
CaO	35.34	35.20	34.87	34.87	35.23	35.44	35.06	35.21	35.56	35.52	35.70	35.63	35.42	35.73	35.30
Al ₂ O ₃	4.21	4.15	4.13	4.32	4.21	4.26	4.41	4.27	4.29	4.38	4.12	4.20	4.09	3.95	4.15
SiO ₂	44.93	43.35	45.88	44.99	45.29	45.84	44.46	46.04	45.13	44.49	44.77	45.22	44.36	44.84	44.40
H ₂ O*	14.26	13.51	14.76	14.53	14.52	14.69	14.32	14.85	14.40	14.08	13.98	14.29	13.89	13.91	13.94
total	99.00	96.33	100.09	98.95	99.35	100.56	98.30	100.81	99.47	98.84	98.89	99.69	97.91	98.66	98.16
Na	0.030	0.000	0.085	0.030	0.002	0.062	0.000	0.077	0.000	0.066	0.033	0.023	0.000	0.000	0.033
K	0.020	0.019	0.012	0.017	0.014	0.009	0.008	0.015	0.014	0.014	0.028	0.038	0.023	0.036	0.036
Ca	4.553	4.691	4.417	4.476	4.507	4.479	4.539	4.432	4.555	4.599	4.625	4.565	4.630	4.641	4.604
Al	0.597	0.608	0.576	0.610	0.592	0.592	0.628	0.591	0.604	0.624	0.587	0.592	0.588	0.564	0.595
Si	5.403	5.392	5.424	5.390	5.408	5.408	5.372	5.409	5.396	5.376	5.413	5.408	5.412	5.436	5.405
O	15.559	15.792	15.356	15.389	15.437	15.437	15.457	15.365	15.519	15.653	15.723	15.600	15.695	15.753	15.681
OH	1.441	1.208	1.644	1.611	1.563	1.563	1.543	1.635	1.481	1.347	1.277	1.400	1.305	1.247	1.319
H ₂ O	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

mean - průměr 14 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi Si+Al = 6; H₂O* - obsah vypočtený na základě vyrovnání náboje a teoretického obsahu 5 H₂O.

Obr. 13 Chemické složení tobermoritu a kenotobermoritu z Cvikova v grafu Ca+Na+K vs. Al (apfu).

byl původně považován za okenit (Novák et al. 2001). V podobě bílých zrnitých a vláknitých agregátů se též vyskytoval ve Starém Ransku (Němec 1982). Nověji byl zjištěn při revizi historických vzorků z Račí hory u Krásného Března (Dvořák et al. 2017).

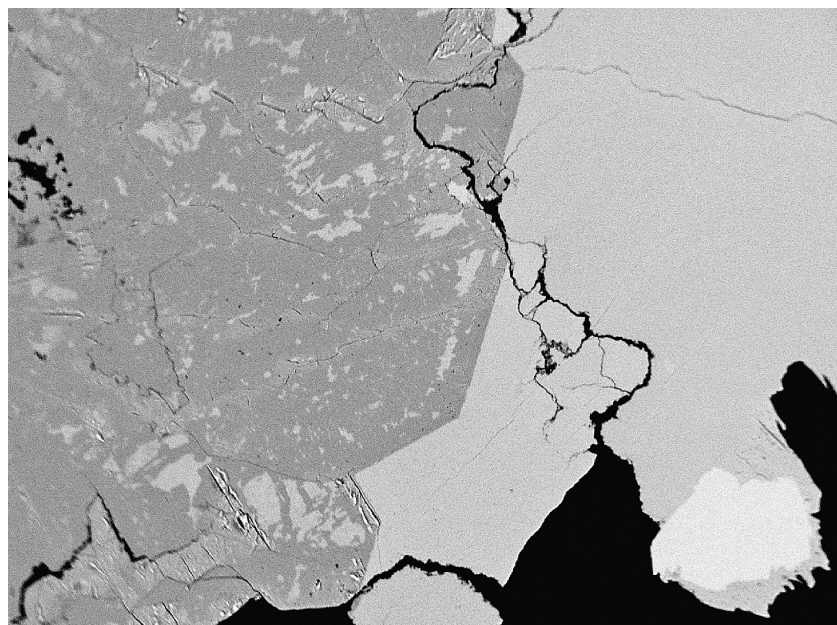
Na Křížovém vrchu tvoří až 10 mm velké sněhobílé polokulovité až kulovité agregáty s plstnatým povrchem (obr. 11, 12). Agregáty mají obvykle křídově bílé celistvé jádro někdy až porcelánového vzhledu, které bývá rentgenamorfní. Při povrchu agregátů bývá tenká, jemně vláknitá vrstva, která se z nich často odděluje. Tobermorit často zcela porůstá phillipsit-K a -Ca i zeofylit, nebo dutiny zcela vyplňuje. Rentgenová prášková data tobermoritu z Křížového vrchu (tab. 4) odpovídají publikovaným údajům pro tento minerální druh i teoretickým záznamům vypočteným z krystalových struktur tobermoritu a kenotobermoritu (Merlino et al. 2001; Biagioni et al. 2015), pozorované rozdíly v intenzitách jednotlivých difrakčních maxim jsou vyvolány texturními efekty vzorku. Zpřesněné parametry jeho základní buňky jsou v tabulce 5 porovnány s publikovanými údaji.

Původní tobermorit byl aktuálně na základě chemického složení redefinován jako neomezená izomorfní série mezi nově definovanými krajními členy tobermoritem a kenotobermoritem (Biagioni et al. 2015). Při studiu chemického složení minerálů z Křížového vrchu (obr. 13) byl vedle **tobermoritu** s proměnlivým a významným obsahem kenotobermoritové složky (tab. 6) identifikován i takřka krajní člen - **kenotobermorit** (tab. 7). V BSE obraze oba minerály zatlačují zeofylit a tobermorit i obklopuje a částečně alteruje starší krystaly phillipsitu-Ca (obr. 10, 14). Při studiu jejich chemického složení byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, K a Na; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Pro tobermorit je vedle vyšších obsahů Ca (4.42 - 4.69 *apfu*) charakteristická i substituce $AlSi_{-1}$ kolem 0.60 *apfu* a jeho empirický vzorec (průměr 14 bodových analýz) je možno na bázi $Si+Al = 6$ vyjádřit jako $(Ca_{4.55}Na_{0.03}K_{0.02})_{\Sigma 4.60}(Si_{5.40}Al_{0.60})_{\Sigma 6.00}O_{15.56}(OH)_{1.44} \cdot 5H_2O$. Kenotobermorit se vyznačuje nižšími obsahy Ca (kolem 4 *apfu*) a zastoupením Al jen v rozmezí 0.36 - 0.44 *apfu*. Jeho empirický vzorec (průměr 14 bodových analýz) je pak $(Ca_{3.99}Na_{0.04})_{\Sigma 4.03}(Si_{5.60}Al_{0.40})_{\Sigma 6.00}O_{14.62}(OH)_{2.38} \cdot 5H_2O$.

Tabulka 7 Chemické složení kenotobermoritu z Cvikova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Na ₂ O	0.17	0.35	0.28	0.09	0.42	0.22	0.19	0.00	0.26	0.00	0.17	0.16	0.15	0.00	0.11
K ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	33.33	33.33	33.34	33.23	33.97	33.82	34.03	34.02	33.35	33.24	32.88	32.10	32.98	33.12	33.18
Al ₂ O ₃	3.06	3.37	3.20	3.32	2.99	3.05	3.15	3.13	3.00	3.06	3.13	2.97	3.02	2.78	2.70
SiO ₂	50.08	50.14	49.79	50.55	50.68	50.02	48.91	50.88	49.73	50.56	51.29	48.44	50.87	49.35	49.87
H ₂ O*	16.61	16.83	16.54	17.09	16.58	16.40	15.87	16.89	16.36	16.92	17.42	16.12	17.09	16.15	16.30
total	103.26	104.02	103.15	104.32	104.64	103.55	102.15	104.92	102.70	103.83	104.89	99.79	104.11	101.40	102.16
Na	0.037	0.075	0.061	0.019	0.090	0.048	0.042	0.000	0.057	0.000	0.036	0.036	0.032	0.000	0.024
K	0.001	0.000	0.000	0.006	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	3.991	3.960	4.002	3.922	4.029	4.055	4.157	4.008	4.025	3.945	3.845	3.973	3.895	4.046	4.021
Al	0.403	0.440	0.422	0.431	0.390	0.402	0.423	0.406	0.398	0.399	0.403	0.404	0.392	0.374	0.360
Si	5.597	5.560	5.578	5.569	5.610	5.598	5.577	5.594	5.602	5.601	5.597	5.596	5.608	5.626	5.640
O	14.617	14.554	14.641	14.438	14.758	14.761	14.933	14.610	14.708	14.498	14.323	14.577	14.430	14.718	14.705
OH	2.383	2.446	2.359	2.562	2.242	2.239	2.067	2.390	2.292	2.502	2.677	2.423	2.570	2.282	2.295
H ₂ O	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

mean - průměr 14 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi $Si+Al = 6$; H₂O* - obsah vypočtený na základě vyrovnání náboje a teoretického obsahu 5 H₂O.



Obr. 14 Tobermorit (šedý) zatlačuje relikv zeofylitu (bílý) a obrůstá a alteruje krystaly staršího phillipsitu-Ca (tmavě šedý), Křížový vrch u Cvikova. Foto v BSE Z. Dolníček, šířka záběru je 2 mm.

Dalším výrazným a častým minerálem zdejšího bazaltu je **fluorapofylit-(K)**, který v dutinách vytváří většinou samostatné, 0.5 - 2 cm velké, krátce sloupečkové až izometrické krystaly (obr. 15 - 17). Většinou jsou bezbarvé až bělavé, skelně až mastně lesklé, často jsou albinizované a pak nabývají sněhobílé barvy. Krystaly někdy bývají oboustranně ukončené do vysoké špičky, s více či méně vyvinutou plochou báze. Zjištěny byly i agregáty nahodile i hypoparalelně rostlých krystalů. Krystaly i jejich agregáty dutinami často prorůstají, po jejich rozlomení bývá zřetelná jejich radiálně lupenitá stavba. Fluorapofylit-(K) většinou narůstá na starší špinavě bílý tobermorit, někdy bývá překrytý mladším kalcitem.

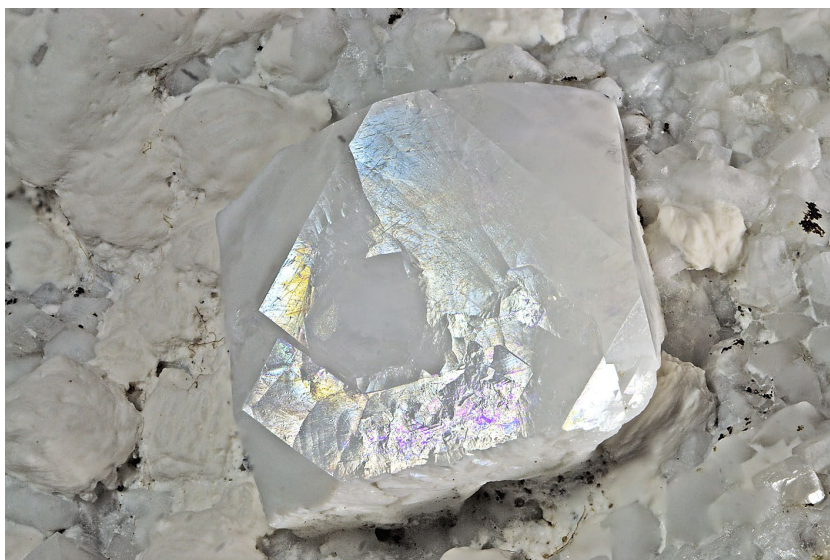
Rentgenová prášková data fluorapofylitu-(K) z Křížového vrchu (tab. 8) odpovídají publikovaným údajům pro tento minerální druh i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury (Chao 1971); významné pozorované rozdíly v intenzitách difrakčních maxim jsou vyvolány přednostní orientací vzorku vyplývající z dokonalé štěpnosti a dalšími texturními efekty. Zpřesněné parametry jeho základní buňky jsou v tabulce 9 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerál. V BSE obraze je chemicky homogenní, při studiu jeho chemického složení byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, K, Na a F; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce (tab. 10). Empirický vzorec fluorapofylitu-(K) (průměr devíti bodových analýz) je na bázi $\text{Si}+\text{Al} = 4$ možno vyjádřit jako $(\text{K}_{0.81}\text{Na}_{0.24})_{\Sigma 1.05}\text{Ca}_{4.06}(\text{Si}_{7.25}\text{Al}_{0.47})_{\Sigma 8.00}\text{O}_{20}\text{F}_{1.05}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Spolu s výše popsanými minerály jsou na lokalitě poměrně časté zeolity. Nejvýraznějším z nich je **thomsonit-Ca**, který vytváří jednotlivě vyvinuté, široce snopkové až hemisférické agregáty o rozměrech 5 - 10 mm, vzácně až 2 cm (obr. 18). Agregáty jsou obvykle nahnědlé, vzácněji bezbarvé, žlutavé, oranžové a růžové, vždy průhledné, s radiálně lupenitou stavbou, s výrazně lištovitým povrchem tvořeným plochami báze. Povrch agregátů je někdy zcela čistý, někdy pokrytý produkty zvětrávání. Thomsonit-Ca dutinami často prorůstá, někdy vyplňuje prostory mezi agregáty tobermoritu a fluorapofylitu-(K).

Rentgenová prášková data thomsonitu-Ca z Křížového vrchu (tab. 11) odpovídají publikovaným údajům pro tento minerální druh i teoretickému záznamu vypočtenému



Obr. 15 Fluorapofylit-(K) narůstající na tobermorit z Křížového vrchu u Cvikova. Foto B. Bureš, velikost krystalů 2 cm.



Obr. 16 Fluorapofylit-(K) z Křížového vrchu u Cvikova. Foto B. Bureš, šířka záběru je 9 mm.



Obr. 17 Albinizovaný fluorapofylit-(K) v asociaci s thomsonitem-Ca, kalcitem a phillipsitem z Křížového vrchu u Cvikova. Foto B. Bureš, velikost krystalů je 10 mm.

z krystalové struktury (Stahl et al. 1990), zjištěné rozdíly v intenzitách jednotlivých difrakčních maxim jsou způsobeny texturními efekty v měřeném preparátu. Zpřesněné parametry základní buňky jsou v tabulce 12 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerál. V BSE obraze je chemicky homogenní, při studiu jeho chemického složení byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Sr, K a Na; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce (tab. 13). Vedle Si, Al a Ca obsahuje i Na (0.82 - 0.96 *apfu*) a Sr (0.02 - 0.07 *apfu*). Empirický vzorec thomsonitu-Ca (průměr osmi bodových analýz) je na bázi 20 atomů O možno vyjádřit jako $(Ca_{1.86}Na_{0.91}Sr_{0.05})_{\Sigma 2.82}(Al_{5.01}Si_{5.06})_{\Sigma 10.07}O_{20} \cdot 6 H_2O$. Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.50$ tohoto thomsonitu

je při spodní hranici uváděného rozmezí (Coombs et al. 1997).

Nejhojnějším a nejstarším minerálem dutin je **phillipsit**, který je souvisle pokrývá dokonale čírymi, skelně lesklými krystaly o velikosti do 3 mm. Krystaly mají tabulcovitý habitus, často tvoří dokonale křížové prorstle s dlouhými úzkými rameny (obr. 19, 20). V krustě drobných krystalů phillipsitu se ojediněle vyskytují zlomky mm velké hnědé krychličky limonitizovaného **pyritu**.

Rentgenová prášková data phillipsitu z Cvikova (tab. 14) odpovídají publikovaným údajům pro tento minerální druh i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury (Gatta et al. 2009), zpřesněné parametry jeho

Tabulka 8 Rentgenová prášková data fluorapofylitu-(K) z Cvikova

d_{obs}	I_{obs}	d_{calc}	h	k	l	d_{obs}	I_{obs}	d_{calc}	h	k	l	d_{obs}	I_{obs}	d_{calc}	h	k	l
7.811	10	7.829	1	0	1	2.505	17	2.507	3	1	3	1.7692	12	1.7689	3	1	7
6.371	1	6.375	1	1	0	2.4841	38	2.4861	2	1	5	1.7221	7	1.7220	1	0	9
4.539	17	4.545	1	0	3	2.4312	12	2.4324	1	1	6	1.6784	3	1.6780	2	2	8
4.498	2	4.508	2	0	0	2.2032	6	2.2037	2	1	6	1.6651	1	1.6648	5	2	1
3.944	84	3.947	0	0	4	2.1880	4	2.1881	1	0	7	1.6232	2	1.6227	3	1	8
3.907	3	3.907	2	1	1	2.1667	2	2.1673	4	0	2	1.6088	2	1.6087	2	1	9
3.588	18	3.591	2	1	2	2.1156	8	2.1161	3	1	5	1.5791	38	1.5789	0	0	10
3.353	6	3.356	1	1	4	2.1109	3	2.1123	3	2	4	1.5496	6	1.5492	3	2	8
3.188	4	3.188	2	2	0	2.0521	1	2.0520	3	3	2	1.5326	1	1.5326	1	1	10
2.978	100	2.980	1	0	5	2.0155	6	2.0160	4	2	0	1.4944	3	1.4941	3	1	9
2.953	4	2.952	3	0	1	1.9567	1	1.9533	4	2	2	1.4654	2	1.4651	4	1	8
2.821	3	2.821	2	1	4	1.9125	1	1.9128	4	1	4	1.4146	3	1.4148	2	2	10
2.805	1	2.806	3	1	1	1.7982	2	1.7977	4	1	5	1.3525	3	1.3522	2	1	11
2.680	2	2.682	3	1	2												

Tabulka 9 Parametry základní cely fluorapofylitu-(K) (pro tetragonální prostorovou grupu P4/mnc)

		a [Å]	c [Å]	V [Å ³]
Cvikov	tato práce	9.0157(13)	15.7889(19)	1283.4(3)
Mt. St. Hilaire	Chao (1971)	8.965(3)	15.767(7)	1267.2
Great Notch 3	Marriner et al. (1990)	8.969(1)	15.796(2)	1270.7
Phoenix mine	Colville et al. (1971)	8.963(2)	15.804(2)	1268.8(6)

Tabulka 10 Chemické složení fluorapofylitu-(K) z Cvikova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Na ₂ O	0.81	0.17	0.89	0.59	0.95	1.02	1.78	0.00	1.01	0.85
K ₂ O	4.20	4.22	4.18	4.17	4.31	4.12	4.19	4.30	4.19	4.13
CaO	24.94	25.22	25.09	25.02	25.17	24.98	24.50	24.81	24.64	25.07
Al ₂ O ₃	2.64	2.54	2.65	2.32	2.39	2.63	2.58	2.75	3.31	2.57
SiO ₂	49.53	49.52	49.52	49.50	50.66	49.39	50.02	48.27	48.80	50.10
F	2.18	2.21	1.92	2.13	2.01	2.35	2.19	2.30	2.33	2.14
H ₂ O*	15.78	15.75	15.86	15.66	16.08	15.74	15.91	15.44	15.80	15.93
-O=F	-0.92	-0.93	-0.81	-0.90	-0.85	-0.99	-0.92	-0.97	-0.98	-0.90
total	99.17	98.69	99.30	98.49	100.73	99.24	100.25	96.91	99.10	99.89
Na	0.239	0.050	0.262	0.175	0.276	0.301	0.520	0.000	0.297	0.248
K	0.814	0.820	0.810	0.815	0.822	0.801	0.806	0.852	0.811	0.793
Ca	4.061	4.116	4.085	4.106	4.034	4.079	3.958	4.128	4.007	4.045
Al	0.473	0.456	0.475	0.419	0.421	0.472	0.458	0.503	0.592	0.456
Si	7.527	7.544	7.525	7.581	7.579	7.528	7.542	7.497	7.408	7.544
F	1.048	1.065	0.923	1.032	0.951	1.133	1.044	1.130	1.119	1.019
OH	0.000	0.000	0.077	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
H ₂ O	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

mean - průměr devíti bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi Si+Al = 8; H₂O* - obsah vypočtený na základě teoretického obsahu 8 H₂O.

základní cely jsou v tabulce 15 porovnány s publikovanými údaji pro tento zeolit. V BSE obraze je phillipsit chemicky poměrně homogenní (obr. 21). Při studiu jeho chemického složení byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Jde o phillipsit, ve kterém jsou obsahy K i Ca poměrně vyrovnané (obr. 22), podle převahy jednotlivých prvků můžeme hovořit o phillipsitu-Ca i -K. V obou typech phillipsitu byly v kationtu zjištěny i minoritní obsahy Na (do 0.61 a 0.56 *apfu*), obsah barnaté (harmotomové) komponenty zjištěn nebyl ani v minimálním rozsahu. Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al)$ obou phillipsitů (0.64 a 0.65) je ve střední části publikovaného rozmezí (Coombs et al. 1997). **Phillipsit-Ca** má převážující Ca (1.62 - 2.18 *apfu*) doprovázen obsahy K v rozmezí 1.37 - 1.94 *apfu* (tab. 16) a jeho empirický vzorec (průměr 39 bodových analýz) je možno na bázi 32 atomů kyslíků vyjádřit jako $(Ca_{1.95}K_{1.75}Na_{0.18})_{\Sigma 3.88}(Al_{5.73}Si_{10.25})_{\Sigma 15.98}O_{32} \cdot 12 H_2O$. U **phillipsitu-K** byly zjištěny obsahy K a Ca v rozmezí 1.67 - 2.10 a 1.58 - 1.92 *apfu* (tab. 17) a jeho empirický vzorec (průměr 13 bodových analýz) je $(K_{1.88}Ca_{1.75}Na_{0.30})_{\Sigma 3.93}(Al_{5.67}Si_{10.33})_{\Sigma 16.00}O_{32} \cdot 12 H_2O$.

Především v okrajových partiích skalního výchozu byl v drobných dutinách zjištěn **chabazit-Ca**, jehož drobné krystaly nasedají na phillipsit. Chabazit-Ca tvoří bezbarvé klencovité krystaly o velikosti 3 - 4 mm (obr. 23). Jen výjimečně doprovází fluorapofylit-(K).

Rentgenová prášková data chabazitu-Ca z Cvikova (tab. 18) odpovídají publikovaným údajům pro tento minerální druh i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury (Yakubovich et al. 2005); zpřesněné parametry jeho základní cely jsou v tabulce 19 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerál. V BSE obraze je chabazit-Ca chemicky homogenní. Při studiu jeho



Obr. 18 Thomsonit-Ca na phillipsitu z Křížového vrchu u Cvikova. Foto B. Bureš, šířka záběru je 22 mm.



Obr. 19 Křížová srostlice phillipsitu (uprostřed obrázku) v asociaci s tobermoritem a thomsonitem-Ca z Křížového vrchu u Cvikova. Foto B. Bureš, šířka záběru je 11 mm.



Obr. 20 Phillipsit-K z Křížového vrchu u Cvikova. Foto B. Bureš, šířka záběru je 6 mm.

Tabulka 11 Rentgenová prášková data thomsonitu-Ca z Cvikova

$d_{obs.}$	$l_{obs.}$	$d_{calc.}$	h	k	l	$d_{obs.}$	$l_{obs.}$	$d_{calc.}$	h	k	l	$d_{obs.}$	$l_{obs.}$	$d_{calc.}$	h	k	l
9.217	12	9.237	1	1	0	2.790	13	2.791	3	3	2	1.8101	12	1.8084	4	1	6
6.595	19	6.603	0	0	2	2.673	64	2.673	4	2	2	1.7991	7	1.7981	7	0	2
6.525	57	6.522	0	2	0			2.580	3	1	4	1.7784	3	1.7791	5	5	2
5.876	11	5.895	1	0	2	2.578	13	2.578	1	3	4	1.7532	4	1.7524	6	2	4
5.368	6	5.372	1	1	2	2.558	13	2.559	1	5	0	1.7341	3	1.7334	7	2	2
4.637	35	4.647	2	0	2	2.4278	17	2.4285	3	4	2	1.7172	16	1.7169	7	3	0
4.617	100	4.618	2	2	0	2.3092	5	2.3092	4	4	0	1.7141	10	1.7136	3	7	0
4.369	21	4.373	1	2	2	2.2880	2	2.2874	4	1	4	1.6766	3	1.6763	3	6	4
4.136	1	4.135	3	1	0	2.2789	4	2.2790	5	2	2	1.6517	2	1.6508	0	0	8
4.127	63	4.126	1	3	0	2.2520	14	2.2518	3	3	4	1.6308	7	1.6306	0	8	0
3.940	4	3.946	3	1	1	2.2388	7	2.2388	3	5	0	1.6221	7	1.6217	6	5	2
3.783	3	3.785	2	2	2			2.1887	4	2	4	1.6126	11	1.6122	5	5	4
3.498	41	3.505	3	1	2	2.1879	15	2.1867	2	4	4	1.5880	5	1.5888	6	4	4
3.498	0	3.499	1	3	2	2.1751	40	2.1742	0	6	0	1.5855	4	1.5861	8	2	0
3.271	23	3.270	4	0	0	2.1209	8	2.1203	3	5	2	1.5722	9	1.5725	4	7	2
3.200	14	3.201	1	0	4	2.0872	3	2.0861	2	0	6	1.4660	9	1.4653	8	0	4
3.173	31	3.175	2	3	2	2.0634	15	2.0632	2	6	0	1.4623	13	1.4636	1	4	8
3.078	6	3.079	3	3	0	1.9742	3	1.9732	6	2	2	1.4598	10	1.4617	8	4	0
2.944	21	2.947	2	0	4	1.9561	4	1.9561	5	2	4	1.4378	2	1.4374	4	2	8
		2.946	0	2	4	1.9492	6	1.9497	5	4	2	1.4255	6	1.4249	4	8	2
2.930	17	2.931	4	0	2	1.8816	4	1.8814	3	2	6	1.4203	5	1.4195	9	0	2
2.917	28	2.919	2	4	0	1.8696	3	1.8692	6	3	2	1.4159	2	1.4150	5	5	6
2.855	54	2.859	4	1	2	1.8247	7	1.8244	0	4	6						
2.850	52	2.854	1	4	2	1.8125	22	1.8125	6	4	0						

Tabulka 12 Parametry základní cely thomsonitu-Ca (pro ortorombickou prostorovou grupu Pncn)

			a [Å]	b [Å]	c [Å]	V [Å ³]
thomsonit-Ca	Cvikov	tato práce	13.081(2)	13.045(2)	13.206(2)	2253.5(5)
thomsonit-Ca		Stahl et al. (1990)	13.1043(14)	13.0569(18)	13.2463(30)	2266.46
thomsonit-Ca		Pluth et al. (1985)	13.088(2)	13.052(2)	13.229(2)	2259.8
thomsonit-Ca	Jedlka	Pauliš et al. (2021a)	13.1042(17)	13.0525(18)	13.2466(19)	2265.7(5)
thomsonit-Ca	Soutěšky	Pauliš et al. (2021b)	13.105(3)	13.053(2)	13.243(3)	2265.5(6)
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 13 Chemické složení thomsonitu-Ca z Cvikova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	37.97	37.67	37.93	37.54	38.44	38.10	38.09	37.52	38.50
Al ₂ O ₃	31.89	31.74	32.05	31.59	31.27	32.00	32.45	31.92	32.13
CaO	13.05	12.99	13.05	12.92	13.27	13.03	13.03	13.35	12.76
SrO	0.67	0.75	0.92	0.67	0.79	0.81	0.23	0.56	0.63
Na ₂ O	3.50	3.70	3.17	3.21	3.71	3.61	3.61	3.32	3.64
H ₂ O*	13.50	13.44	13.50	13.34	13.53	13.55	13.59	13.43	13.62
total	100.58	100.29	100.62	99.27	101.01	101.10	101.00	100.10	101.28
Si ⁴⁺	5.060	5.043	5.054	5.063	5.111	5.056	5.040	5.025	5.087
Al ³⁺	5.010	5.009	5.032	5.021	4.900	5.005	5.060	5.039	5.003
Ca ²⁺	1.863	1.863	1.863	1.867	1.890	1.852	1.847	1.916	1.806
Sr ²⁺	0.048	0.056	0.071	0.053	0.061	0.062	0.017	0.043	0.048
Na ⁺	0.905	0.961	0.818	0.839	0.955	0.928	0.925	0.862	0.932
H ₂ O	6	6	6	6	6	6	6	6	6
T _{Si}	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50

mean - průměr osmi bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 20 kyslíků; H₂O* - obsah vypočtený na základě teoretického obsahu 6 H₂O.

Tabulka 14 Rentgenová prášková data phillipsitu z Cvikova

$d_{obs.}$	$l_{obs.}$	$d_{calc.}$	h	k	l	$d_{obs.}$	$l_{obs.}$	$d_{calc.}$	h	k	l	$d_{obs.}$	$l_{obs.}$	$d_{calc.}$	h	k	l
8.096	6	8.105	1	0	0	3.082	5	3.082	2	3	0	2.0780	2	2.0790	-1	6	2
7.151	100	7.158	0	0	1	2.934	12	2.934	-3	2	2	2.0510	3	2.0508	2	2	2
7.110	46	7.118	0	2	0	2.924	7	2.924	-3	2	1	2.0440	2	2.0437	-4	0	4
6.390	18	6.395	0	1	1	2.887	7	2.887	2	0	1	1.9995	2	1.9993	1	0	3
5.364	18	5.368	-1	2	1	2.757	18	2.757	-1	0	3	1.9743	4	1.9750	-3	3	4
5.345	12	5.348	1	2	0	2.744	25	2.745	-1	4	2	1.9737	4	1.9737	-1	7	1
5.044	25	5.048	0	2	1	2.744	25	2.744	1	0	2	1.9637	2	1.9627	-5	0	3
4.942	31	4.947	-2	0	1	2.737	21	2.737	1	4	1	1.9587	2	1.9599	3	5	0
4.670	5	4.673	-2	1	1	2.707	19	2.707	-1	1	3	1.9081	2	1.9076	-3	6	1
4.312	8	4.314	-1	0	2	2.694	18	2.694	1	1	2	1.8290	4	1.8289	0	5	3
4.281	9	4.283	1	0	1	2.688	14	2.689	-1	5	1	1.7900	6	1.7896	0	0	4
4.127	24	4.129	-1	1	2	2.675	19	2.676	2	2	1	1.7798	10	1.7796	0	8	0
4.100	50	4.102	1	1	1	2.654	6	2.654	3	1	0	1.7726	4	1.7723	-4	4	4
4.061	15	4.062	-2	2	1	2.645	7	2.646	0	5	1	1.7613	3	1.7609	4	4	0
3.954	4	3.955	0	3	1	2.571	3	2.571	-1	2	3	1.7256	2	1.7253	-4	0	5
3.928	4	3.929	-2	1	2	2.560	4	2.560	1	2	2	1.7183	3	1.7184	3	1	2
3.687	3	3.689	-1	2	2	2.544	2	2.545	-3	2	3	1.7131	5	1.7124	-4	6	2
3.669	3	3.670	1	2	1	2.524	9	2.524	0	4	2	1.6827	4	1.6825	0	6	3
3.471	4	3.471	0	1	2	2.4731	3	2.4736	-4	0	2	1.6784	2	1.6780	2	0	3
3.424	3	3.425	-2	3	1	2.3877	6	2.3880	-3	4	2	1.6748	2	1.6745	-2	8	1
3.262	27	3.263	-1	4	1	2.3833	3	2.3827	-3	4	1	1.6492	7	1.6491	-6	0	3
3.257	10	3.259	1	4	0	2.3366	4	2.3363	-2	5	2	1.6404	2	1.6402	-1	5	4
3.219	8	3.220	-3	0	2	2.3293	4	2.3298	2	5	0	1.6362	1	1.6362	1	5	3
3.207	11	3.208	-3	0	1	2.2536	3	2.2540	-2	4	3	1.6106	3	1.6106	5	1	0
3.197	37	3.198	0	2	2	2.2284	4	2.2283	0	5	2	1.6028	2	1.6022	-3	6	4
3.186	76	3.187	0	4	1	2.1636	2	2.1636	-3	4	3	1.5945	2	1.5942	3	6	1
3.140	33	3.141	-3	1	2	2.1522	4	2.1520	3	4	0	1.5904	1	1.5898	2	6	2
3.129	25	3.129	-3	1	1	2.1323	3	2.1326	-2	1	4						

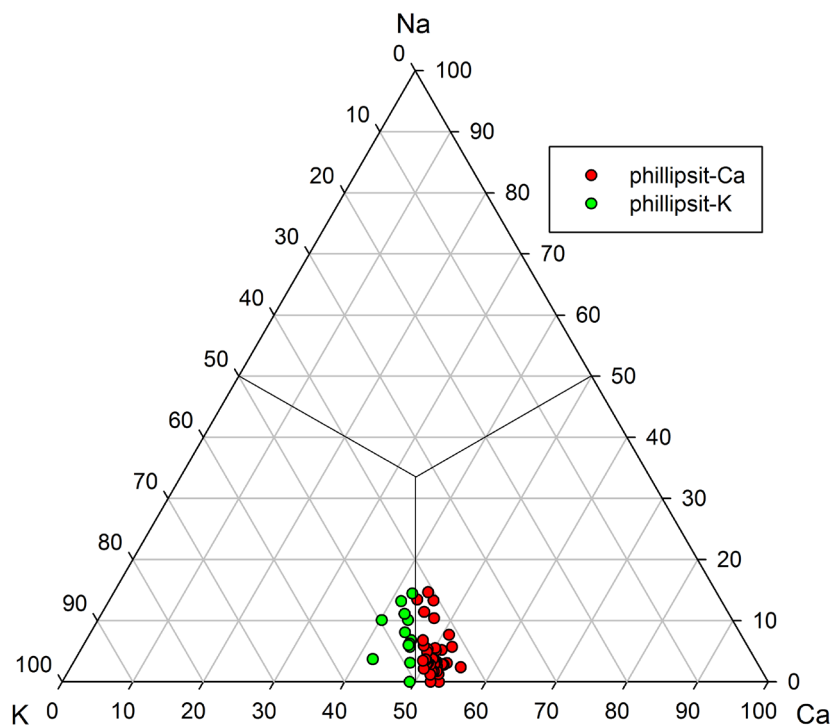
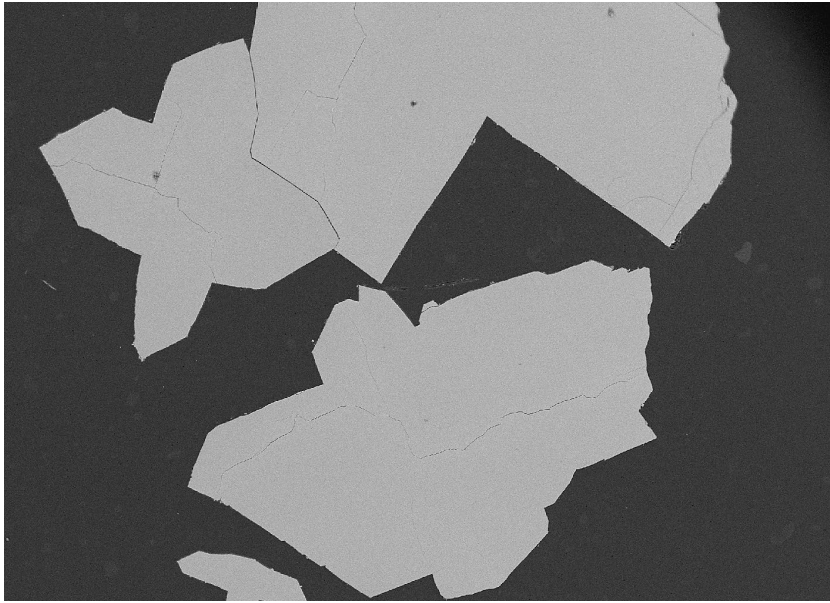
Tabulka 15 Parametry základní cely phillipsitu (pro monoklinickou prostorovou grupu P2₁/m)

			a [Å]	b [Å]	c [Å]	β [°]	V [Å ³]
phillipsit	Cvikov	tato práce	9.8949(12)	14.2367(11)	8.7391(9)	125.003(5)	1008.4(2)
phillipsit-K	Soutěšky	Pauliš et al. (2021b)	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	Richmond	Gatta et al. (2009)	9.9238(6)	14.3145(5)	8.7416(5)	124.920(9)	1018.2

Tabulka 16 Chemické složení phillipsitu-Ca z Cvikova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Na ₂ O	0.43	0.62	0.00	0.59	0.26	1.48	0.32	0.24	1.05	0.58	0.15	0.26	0.57	0.20
K ₂ O	6.41	5.09	5.97	6.05	6.18	6.29	6.34	6.45	6.48	6.50	6.52	6.60	6.71	6.82
CaO	8.52	7.47	8.14	7.55	8.61	8.16	8.05	8.71	8.70	9.67	8.55	8.58	8.42	8.53
Al ₂ O ₃	22.74	22.75	22.77	22.51	22.57	22.82	23.04	22.74	23.88	22.47	22.46	22.62	22.18	22.20
SiO ₂	47.92	49.90	48.72	49.86	46.72	48.62	46.03	47.76	46.42	48.56	47.19	47.08	46.42	45.36
H ₂ O*	16.83	17.08	16.89	17.09	16.50	17.06	16.39	16.80	16.81	17.08	16.59	16.62	16.41	16.15
total	102.86	102.91	102.49	103.65	100.84	104.43	100.17	102.70	103.34	104.86	101.46	101.76	100.71	99.26
Na	0.179	0.253	0.000	0.241	0.110	0.605	0.136	0.100	0.436	0.237	0.063	0.109	0.242	0.086
K	1.748	1.368	1.622	1.624	1.719	1.692	1.775	1.762	1.769	1.747	1.804	1.823	1.877	1.938
Ca	1.952	1.686	1.858	1.703	2.011	1.843	1.893	1.999	1.995	2.182	1.987	1.990	1.979	2.036
Al	5.729	5.650	5.717	5.584	5.800	5.671	5.961	5.740	6.023	5.579	5.741	5.772	5.733	5.829
Si	10.245	10.514	10.378	10.494	10.187	10.251	10.105	10.230	9.934	10.229	10.234	10.193	10.181	10.105
H ₂ O	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
T _{si}	0.64	0.65	0.64	0.65	0.64	0.64	0.63	0.64	0.62	0.65	0.64	0.64	0.64	0.63

mean - průměr 39 bodových analýz; 1-13 reprezentativní bodové analýzy; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 32 kyslíků; H₂O* - obsah vypočtený na základě teoretického obsahu 12 H₂O.



chemického složení byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Sr, K a Na; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce (tab. 20). Vedle dominantního podílu Ca v kationtové složce chabazitu je zastoupen ve vyšší míře i K (0.84 - 1.15 *apfu*). Zajímavý je zvýšený obsah Sr, který v průměru dosahuje 0.31 *apfu* (0.26 - 0.34 *apfu*). Je to vyšší hodnota než byla zjištěna u většiny našich Sr bohatých chabazitů -Ca. Chabazit-Ca ze Zaječího vrchu u Nového Boru obsahuje 0.28 *apfu* Sr (Pauliš et al. 2019), z Heřmanic u České Lípy 0.19 *apfu* Sr (Pauliš et al. 2018b) či z Jehly u České Kamenice 0.15 *apfu* Sr (Pauliš et al. 2015b). Nejvyšší obsahy Sr v chabazitech z českých lokalit (max. 0.62 *apfu*) však byly zjištěny v chabazitu-Ca z Tachovského vrchu (Pauliš et al. 2017). Empirický vzorec chabazitu-Ca z Cvikova (průměr osmi bodových analýz) je na bázi 24 kyslíků možno vyjádřit jako $(Ca_{1.47}K_{0.97}Sr_{0.31}Na_{0.17})_{\Sigma 2.92}(Al_{3.78}Si_{7.99})_{\Sigma 11.77}O_{24} \cdot 12 H_2O$. Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.68$ je ve střední části rozmezí uváděném pro chabazit-Ca (Coombs et al. 1997).

Nejmladším minerálem dutin je **kalcit**, tvořící drobné (obr. 24), nedokonalé vyvinuté nebo korodované nažloutlé krystaly, krusty či kompletní výplně dutin.

Časová posloupnost krystalizace popisované mineralizace na Křížovém vrchu je phillipsit - zeofylit - tobermorit - fluorapofylit-(K) - thomsonit-Ca - chabazit-Ca - kalcit.

Obr. 21 Křížová srostlice phillipsitu-K (světle šedý) z Křížového vrchu u Cvikova. Foto v BSE Z. Dolníček, šířka záběru je 2.6 mm.

Obr. 22 Chemické složení phillipsitu z Cvikova v ternárním grafu Ca-Na-K (*apfu*).

Obr. 23 Chabazit-Ca s kalcitem z Křížového vrchu u Cvikova. Foto B. Bureš, šířka záběru je 20 mm.

Závěr

Popisovaná mineralizace byla zjištěna na Křížovém vrchu (443 m n. m.) asi 1.5 km sv. od Cvikova na nevelkém čedičovém návrší, kde se ještě ve 30. letech 20. století ve dvou malých lomech těžil čedič pro výrobu silničního štěrku. Znamější byl větší zatopený jámový lůmek, zahloubený východně od kaple Božího hrobu, ze kterého

pocházely především krystalované vzorky chabazitu-Ca. Nově studovaná a v tomto příspěvku popsaná mineralizace pochází z druhého, menšího lůmku, kde byly již dříve zjištěny thomsonit, phillipsit a chabazit. Nově zde byla nalezena a studována zajímavá asociace, která vedle zeolitů (thomsonit-Ca, chabazit-Ca, phillipsit-Ca a -K) zahrnuje zeofylit, tobermorit, kenotobermorit a fluorapofylit-(K).

Tabulka 17 Chemické složení phillipsitu-K z Cvikova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Na ₂ O	0.73	1.39	0.66	0.30	0.00	0.53	0.61	0.57	1.02	0.74	1.05	1.30	0.97	0.35
K ₂ O	6.98	6.32	7.00	7.23	7.18	6.77	7.10	6.95	7.05	6.60	6.62	6.81	7.27	7.82
CaO	7.73	7.39	8.13	8.36	8.29	7.81	8.17	7.95	8.03	7.39	7.37	7.40	7.01	7.25
Al ₂ O ₃	22.82	22.72	22.07	23.28	23.08	23.16	23.20	22.60	23.92	22.53	22.86	22.43	22.51	22.26
SiO ₂	49.04	50.69	47.64	48.31	46.86	48.33	47.72	48.17	48.72	50.34	52.20	49.14	49.64	49.77
H ₂ O*	17.08	17.41	16.65	17.05	16.64	16.96	16.90	16.84	17.29	17.24	17.76	17.03	17.11	17.09
total	104.38	105.92	102.15	104.53	102.05	103.56	103.70	103.08	106.03	104.84	107.86	104.11	104.51	104.54
Na	0.298	0.557	0.276	0.123	0.000	0.218	0.252	0.236	0.411	0.299	0.412	0.533	0.396	0.143
K	1.876	1.666	1.929	1.946	1.981	1.833	1.928	1.894	1.871	1.757	1.711	1.835	1.950	2.100
Ca	1.746	1.636	1.882	1.890	1.921	1.776	1.863	1.820	1.790	1.652	1.600	1.675	1.580	1.635
Al	5.666	5.534	5.620	5.790	5.882	5.792	5.820	5.690	5.865	5.541	5.458	5.585	5.579	5.524
Si	10.334	10.476	10.293	10.195	10.133	10.255	10.158	10.290	10.136	10.504	10.575	10.382	10.439	10.479
H ₂ O	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
T _{si}	0.65	0.65	0.65	0.64	0.63	0.64	0.64	0.64	0.63	0.65	0.66	0.65	0.65	0.65

mean - průměr 13 bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 32 kyslíků; H₂O* - obsah vypočtený na základě teoretického obsahu 12 H₂O.

Tabulka 18 Rentgenová prášková data chabazitu-Ca z Cvikova

<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.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
9.317	58	9.345	1	0	1	2.886	44	2.888	2	1	4	1.8574	5	1.8580	0	1	8
6.851	5	6.884	1	1	0	2.837	3	2.838	2	2	3	1.8056	22	1.8057	4	1	6
6.340	3	6.363	0	1	2	2.771	6	2.771	0	4	2	1.7679	4	1.7674	6	1	2
5.529	18	5.542	0	2	1	2.686	13	2.687	2	0	5	1.7358	3	1.7359	1	2	8
4.998	35	5.016	0	0	3	2.600	21	2.602	4	1	0	1.7202	16	1.7210	4	4	0
4.669	10	4.673	2	0	2	2.571	4	2.571	2	3	2	1.6934	5	1.6930	3	3	6
4.310	83	4.317	2	1	1	2.502	28	2.503	1	2	5	1.6706	5	1.6720	0	0	9
3.968	7	3.974	3	0	0	2.3557	4	2.3565	1	1	6	1.6439	7	1.6436	6	2	1
3.861	31	3.866	1	2	2	2.2920	9	2.2946	3	3	0	1.5934	3	1.5908	0	4	8
3.579	38	3.588	1	0	4	2.1206	3	2.1201	5	1	1	1.5573	10	1.5563	6	1	5
3.435	13	3.442	2	2	0	2.0864	13	2.0867	3	3	3	1.5195	6	1.5172	5	1	7
3.227	8	3.230	1	3	1	2.0605	3	2.0597	1	5	2	1.4828	3	1.4831	0	8	1
3.184	13	3.182	0	2	4	1.9103	2	1.9092	5	2	0	1.4504	3	1.4499	2	7	1
2.923	100	2.924	4	0	1	1.8695	7	1.8691	5	0	5						

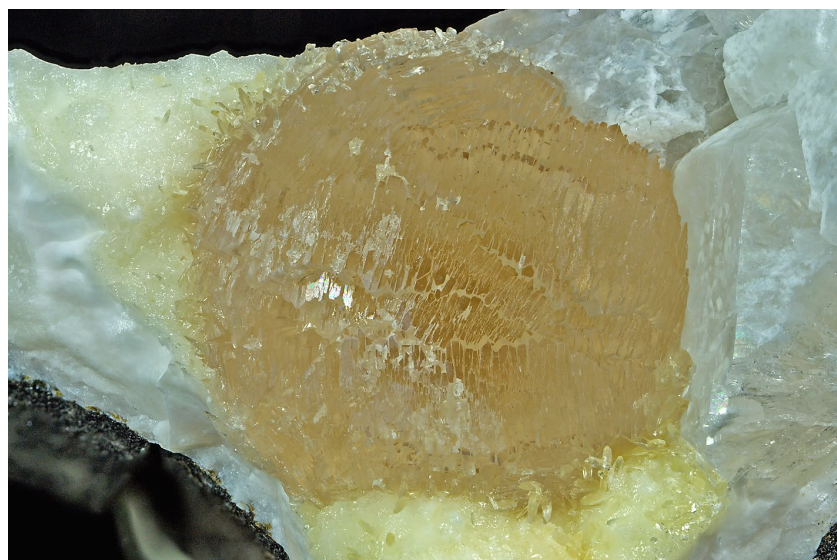
Tabulka 19 Parametry základní cely chabazitu-Ca (pro trigonální prostorovou grupu R-3m)

	<i>a</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
chabazit-Ca Cvikov (tato práce)	13.768(2)	15.048(4)	2470.2(10)
chabazit-Ca Jedlka (Pauliš et al. 2021a)	13.822(9)	15.0228(5)	2485.4(8)
chabazit-Ca Soutěsky (Pauliš et al. 2021b)	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 (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 20 Chemické složení chabazitu-Ca z Cvikova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	46.19	47.90	46.16	45.58	46.21	44.84	45.61	45.24	47.97
Al ₂ O ₃	18.53	18.60	18.42	18.23	19.14	18.56	18.33	18.19	18.78
CaO	7.90	7.97	7.84	7.85	7.88	7.87	7.85	7.94	8.03
SrO	3.04	2.82	3.20	2.94	2.69	3.33	3.29	3.03	3.02
K ₂ O	4.42	4.08	4.41	5.15	4.48	4.43	4.60	4.27	3.97
Na ₂ O	0.51	0.85	1.08	0.70	0.00	0.17	0.92	0.18	0.16
H ₂ O*	20.79	21.33	21.32	20.61	21.28	20.36	20.65	20.36	21.77
total	101.38	103.55	102.43	101.06	101.68	99.56	101.25	99.21	103.70
Si ⁴⁺	7.993	8.080	8.060	7.957	7.811	7.922	7.946	7.994	8.177
Al ³⁺	3.779	3.697	3.665	3.938	3.813	3.864	3.764	3.788	3.658
Ca ²⁺	1.465	1.440	1.418	1.468	1.427	1.489	1.465	1.504	1.422
Sr ²⁺	0.305	0.276	0.313	0.298	0.264	0.341	0.333	0.310	0.289
K ⁺	0.975	0.878	0.949	1.147	0.967	0.998	1.022	0.962	0.836
Na ⁺	0.171	0.278	0.353	0.237	0.000	0.057	0.310	0.062	0.052
H ₂ O	12	12	12	12	12	12	12	12	12
T _{Si}	0.68	0.69	0.69	0.67	0.67	0.67	0.68	0.68	0.69

mean - průměr osmi bodových analýz; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 24 kyslíků; H₂O* - obsah vypočtený na základě teoretického obsahu 12 H₂O.



Obr. 24 Světle žutavý kalcit narůstající na starší thomsonit-Ca, fluorapofylit-(K) a tobermorit, Křížový vrch u Cvikova. Foto B. Bureš, šířka záběru je 22 mm.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za poskytnutí fotografií P. Fuchsovi z Teplic. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 - cíl DKRVO 2019/2023 1.1.e).

Literatura

- BIAGIONI C, MERLINO S, BONACCORSI E (2015) The tobermorite supergroup: a new nomenclature. *Mineral Mag* 79: 485-495
- BURNHAM CHW (1962) Lattice constant refinement. *Carnegie Inst Washington Year Book* 61: 132-135
- COLVILLE AA, ANDERSON CP, BLACK PM (1971) Refinement of the crystal structure of apophyllite: I. X-ray diffraction and physical properties. *Am Mineral* 56(7-8): 1222-1233
- 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, TILLMANNS E, VEZZALINI G (1997) Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names. *Can Mineral* 35: 1571-1606
- DVOŘÁK Z, RADOŇ M, SVEJKOVSKÝ J, JANEČEK O, DVOŘÁK P, FUCHS P (2017) Minerály Českého středohoří. Muzeum města Ústí nad Labem, Ústí nad Labem
- 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
- HIBSCH JE (1934) Die Minerale des Böhmisches Mittelgebirges. Jena
- CHALMERS RA, DENT LS, TAYLOR HFW (1958) Zeophyllite. *Mineral Mag* 31: 726-735

- CHAO GY (1971) The refinement of the crystal structure of apophyllite II. Determination of the hydrogen positions by X-ray diffraction. *Am Mineral* 56(7-8): 1234-1242
- KRATOCHVÍL J (1957) Topografická mineralogie Čech I. (A-G). Nakl. ČSAV, Praha
- MARRINER GF, TARNEY J, LANGFORD JI (1990) Apophyllite group: effects of chemical substitutions on dehydration behaviour, recrystallization products and cell parameters. *Mineral Mag* 54(377): 567-577
- MERLINO S (1972) The crystal structure of zeophyllite *Acta Crystallogr B*28: 2726-2732
- MERLINO S, BONACCORSI E, ARMBRUSTER T (2001) The real structure of tobermorite 11A: normal and anomalous forms, OD character and polytypic modifications. *Eur J Mineral* 13(3): 577-590
- MIKENDA W, PERTLIK F, POVONDRÁ P, ULRYCH J (1997) On zeophyllite from Radejčín, České středohoří Mts.: X-ray and IR-investigations. *Mineral Petrol* 61: 199-209
- NĚMEC D (1982) Assemblages of fissure minerals in the Ransko Massif. *N Jb Miner, Abh* 145(3): 256-269
- NOVÁK JK, CHVÁTAL M, ULRYCH J, WIESNER T, RADOŇ M (2001) Amygdale mineral paragenesis of trachybasalt from Kočičí hlava hill (Katzenkoppe) near Velké Březno, České středohoří Mts. *Sbor Prací Univ Palackého, Geol* 37: 1-26
- ONDŘUŠ P (1993) ZDS - A computer program for analysis of X-ray powder diffraction patterns. *Materials Science Forum*, 133-136, 297-300, EPDIC-2. Enschede
- PASSAGLIA E, PORCELLI C (1983) Zeophyllite from Monte Somma, Vesuvius, Italy. *Mineral Mag* 47: 397-400
- 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, RADOŇ M (2015a) Nejzajímavější mineralogická naleziště Čech – zeolity a doprovodná mineralizace. *Kuttna, 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 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, VRTIŠKA L, 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
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, JANEČEK O, DOLNÍČEK Z, BETZ V, VRTIŠKA L, MALÍKOVÁ R, POUR O, FEDIUK F (2021a) Zeolitová mineralizace s gmelinitem-K z Jedlky u Benešova nad Ploučnicí (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 29(2): 213-229
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, JANEČEK O, DOLNÍČEK Z, VRTIŠKA L, MALÍKOVÁ R, POUR O, FEDIUK F (2021b) Böhmit a doprovodná zeolitová mineralizace ze Soutěsek u Děčína (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 29(1): 164-177
- PELIKAN A (1902) Beiträge zur Kenntnis der Zeolithe Böhmens. *Sitz-Ber Akad Wiss (Wien), math-naturwiss Kl*, 111: 334-347
- PLUTH JJ, SMITH JV, KVICK Å (1985) Neutron diffraction study of the zeolite thomsonite. *Zeolites* 5(2): 74-80
- POUCHOU JL, PICOIR F (1985) "PAP" ($\varphi\rho Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: ARMSTRONG JT (ed): *Microbeam Analysis*. San Francisco Press, San Francisco: 104-106
- SLAVÍČEK P (1984) Zeofylit ze Soutěsek u Děčína. *Čas Mineral Geol* 29(4): 432
- STAHL K, KVICK A, SMITH JV (1990) Thomsonite, a neutron diffraction study at 13K. *Acta Crystallogr C*46: 1370-1373
- YAKUBOVICH OV, MASSA W, GAVRILENKO PG, PEKOV IV (2005) Crystal structure of chabazite. *Kristallografiya* 50 (4): 595-604
- YVON K, JEITSCHKO W, PARTHÉ E (1977) Lazy Pulverix, a computer program for calculation X-ray and neutron diffraction powder patterns. *J Appl Cryst* 10: 73-74