

Tschernichit, garronit-Ca a doprovodná zeolitová mineralizace z Jehly u České Kamenice (Česká republika)

Tschernichite, garronite-Ca and associated zeolite mineralization from Jehla near Česká Kamenice (Czech Republic)

PETR PAULIŠ^{1,2)*}, LIBOR HRŮZEK³⁾, OLDŘICH JANEČEK⁴⁾, JIŘÍ SEJKORA²⁾, RADANA MALÍKOVÁ²⁾, ONDŘEJ POUR⁵⁾ A FERRY FEDIUK⁶⁾

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

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

³⁾Pobřežní 1016, 471 14 Kamenický Šenov

⁴⁾Albrechtická 613, 434 01 Most

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

⁶⁾Na Petřínách 1897, 162 00 Praha 6

PAULIŠ P., HRŮZEK L., JANEČEK O., SEJKORA J., MALÍKOVÁ R., POUR O., FEDIUK F. (2015) 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. ISSN 1211-0329.

Abstract

The Jehla hill (478 m) occurrence is located about 1 km NE from Česká Kamenice, 15 km ENE from Děčín, northern Bohemia, Czech Republic. Thirteen zeolite species were recently determined from cavities of neovolcanite rocks at this locality. The most interesting finds are very rare tschernichite and garronite-Ca. Tschernichite forms clear very tiny dipyrnidal crystals with glassy luster up to 1 mm in size. It is tetragonal, space group $P4_22$, the unit-cell parameters refined from the powder X-ray data, are a 12.636(9), c 26.6095(4) Å and V 4249(3) Å³. Chemical analyses of tschernichite correspond to the empirical formula $\text{Ca}_{0.48}\text{Mg}_{0.07}\text{Na}_{0.04}\text{K}_{0.14}(\text{Si}_{6.49}\text{Al}_{1.59})\text{O}_{16} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Garronite-Ca forms large, milky-white radial aggregates up to 1 cm in size. It is tetragonal, space group $I-4m2$, the unit cell parameters refined from the powder X-ray data are: a 9.865(7), c 10.2610(6) Å and V 998.6(7) Å³. Chemical analyses of garronite-Ca correspond to the empirical formula $\text{Na}_{0.35}\text{K}_{0.04}\text{Ca}_{3.25}(\text{Al}_{6.51}\text{Si}_{9.40})\text{O}_{32} \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. Other zeolite species detected at this site are analcime, cowlesite, erionite-K, gismondine, heulandite-Ca, chabazite-Ca, lévyne-Ca, natrolite, phillipsite-Ca, stilbite-Ca and thomsonite-Ca. Their descriptions, X-ray powder diffraction data, refined unit-cell parameters and chemical compositions are given in the paper.

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

Obdrženo: 3. 11. 2015; přijato: 14. 12. 2015

Úvod

Česká Kamenice (německy Böhmisch Kamnitz) leží na trojmezí CHKO České středohoří, Lužické hory a Labské pískovce. Město v údolí řeky Kamenice obklopují vrchy, které jsou tvořeny třetihorními vulkanickými horninami a z části druhohorními sedimenty. Z okolí České Kamenice je především v německy psané literatuře zmiňována celá řada zeolitových lokalit vázaných právě na kontakty vyvřelin a křídových sedimentů. Asociace minerálů těchto lokalit je podobná. Jedná se například o lokality Fabelsberg (dnes vrch Malý Ptáček), Bazalt am Stiefel (bazaltový výchoz u bývalého hostince Stiefel v Horní Kamenici), Huttenberg (dnes vrch Strážišťe, ze kterého pocházejí historické vzorky apofylitu a thomsonitu), Himmertsberg (dnes Lipnický vrch) či Kleine Nolde (Malá Jehla) (Hibs 1934; Zepharovich 1859-1893; Kratochvíl 1960).

Při systematickém mineralogickém výzkumu popi-

sované oblasti byla na poslední zmíněné lokalitě (Malá Jehla) zjištěna asociace celé řady zeolitů, z nichž dva - tschernichit a garronit-Ca nebyly dosud z území České republiky popsány. Unikátní charakter zjištěné asociace zeolitů byl důvodem k detailnímu mineralogickému výzkumu, jehož výsledky jsou předloženy v této práci.

Charakteristika lokality

Lokalita Jehla se nachází asi 1 km sv. od centra České Kamenice, 15 km vsv. od Děčína v severních Čechách (Česká republika). Vrch Jehla (478 m n. m.; obr. 1) leží na pomezí Lužických hor a Českého středohoří. Na této dvouvrcholové kótě je turisticky vyhledávaná stejnojmenná vyhlídka, která je přístupná po modré turistické značce vedoucí z centra České Kamenice. Vyhlídka je situována přímo na skalním masivu, který vychází z jihozápadně položeného hlavního vrcholu. Vede sem upravená stezka, která zpřístupnila vyhlídku již v roce 1879. V roce 1885 postavil českokamenický okrašlovací spo-



Obr. 1 Přehledný plánec lokality Jehla u České Kamenice (podle www.mapy.cz).



Obr. 2 Jehla na historické pohlednici z počátku 20. století (archiv J. Kühn).



Obr. 3 Jehla na historické pohlednici z počátku 20. století (archiv J. Kühn).



Obr. 4 Jehla na historické pohlednici z počátku 20. století (archiv J. Kühn).

lek na chráněném místě u výstupu na Jehlu (obr. 2 - 4) chatku, která však dnes již neexistuje. Výchozy skalního masivu mají místy dobře vyvinutou sloupcovitou odlučnost. Celá skupina je tvořena několika výraznými skalními útvary, které jsou částečně propojené. Pojmenovány jsou dva z nich, již zmíněná Jehla, a níže položený Trubač. Kdysi tu, jižně od hlavní skupiny, stála ještě úzká, cca 12 m vysoká bazaltová věž, pojmenovaná Malá Jehla (německy Kleine Nolde), kterou však kameníci kolem roku 1886 úplně odtěžili. Na jejím místě zůstaly pouze pozůstatky čedičové suti nevelkého rozsahu (www.luzicke-hory.cz).

Vlastní lokalita s nově studovanou zeolitovou mineralizací se nachází v nadmořské výšce cca 425 m na jz. svahu vrchu Jehly (souřadnice: 50°48'23.04"N, 14°25'37.63"E) (obr. 5 - 7). Jde o mělkou depresi, která kopíruje hlavní skalní masiv z jeho sz. strany. Jehla je tvořena skalními bloky olivinického bazaltoidu, který obklopují čedičové tufy. Podružně se zde vyskytuje šedá tefritová hornina. Z nově studovaných hornin se jedná především o bazaltu blízký tefrit. Je to hornina analogická tefritu, který studoval Fediuk (2000), a podle chemického složení, v souladu s klasifikací TAS, odpovídá draselnému trachybazaltu.

Hornina má tmavě hnědošedou barvu. Ve velmi jemnozrnné, pouhým okem nerozlišitelné základní hmotě, se s nevelkou nápadností vtoušeně objevují drobné, vesměs pod 1 mm velké černé pyroxenové vyrostlice. Výrazným znakem horniny jsou bílé, velmi slabě nažloutlé, ostře omezené útvary jemně zrnitého agregátu lesklých zrněk,

inertních vůči HCl, s největší pravděpodobností odpovídající blíže nespecifikovanému zeolitu.

Na složení horniny se podle mikroskopického pozorování podílejí plagioklas (46), pyroxen ve vyrostlicích (8), pyroxen v základní hmotě (32), biotit (1), analcim + nefelin (6), magnetit (7 hm. %), akcesoricky pak apatit (<1 hm. %). Plagioklas je nejhojněji zastoupenou složkou horniny. Vystupuje v podobě úzkých lišt průměrné délky 0.15 mm. Je polysynteticky zdvojitěn a svou bazicitou odpovídá andezín-labradoritu. Přestože podstatná část plagioklasových lišt je orientována chaoticky, na určité jejich části lze pozorovat fluidálně subparalelní uspořádání. Pyroxen následuje v pořadí četnosti hned za plagioklasem. Jeho menší část má povahu vyrostlic o velikost kolem 0.5 mm, většinou je však součástí základní hmoty, v níž má rozměry dolních 0.0X mm. Je hnědavé barvy, která v jádrech místy přechází až do barvy zelené. Jde o klinopyroxen, zřejmě řady diopsid-hedenbergit, s podružnými podíly složky egirinové. Tvar má krátce sloupečkovitý a omezen je převážně hypautomorfně, v případě některých vyrostlic až automorfně. Biotit až flogopit se vyskytuje v útržkovitých lupincích velikosti 0.0X mm v množství prakticky akcesorickém. Jako světlá složka se k dominantnímu plagioklasu v základní hmotě druzí analcim s nefelinem, vzájemně obtížně odlišitelné a v omezení xenomorfním. Rudní (opakní) fáze je zastoupena magnetitem tvořícím izometrická zrna, která omezením kolísají od xenomorfního po téměř automorfní. Rozměrově jsou součástí základní hmoty. Struktura je drobně porfyrická s jemně holokrystalickou strukturou základní hmoty, slabě mandlovcovitá textura je všesměrná s dílčími náznaky textury fluidální.

Druhou mikroskopicky studovanou horninu je možno označit jako tefritový aglutinát s hojným podílem klasticky mělněného cizorodého granitoidního materiálu. Horniny tohoto typu zpravidla vystupují jako výplně sopečných hrdel bazaltoidních vulkanitů. Proti prvnímu vzorku má poněkud výrazněji hnědou barvu, která je navíc skvrnitějšího vzhledu a odlišuje se též přítomností hojně vtroušených drobných bělavých úlomků, patřících zjevně zčásti křemenu, zčásti živci. Úlomkovitá inhomogenita horniny, v letmém pohledu nenápadná, je při podrobnější prohlídce zcela zřejmá. Vzhledem k těmto úlomkům lze zrnitost horniny klasifikovat ne jako jemnozrnnou, jako tomu je v případě první horniny, ale jako drobnozrnnou. Ale i přes tento rys je bazaltoidní vulkanický základ horniny jako celku naprosto evidentní. Nestejnorodý charakter horniny dělí horninu na dvě sice odlišné, ale navzájem úzce propojené partie. Jednou z nich je část obsahující velké množství převážně ostrohranných klastů světlých minerálů, křemene a živce, patřícího jednak živci draselnému, jednak kyselému plagioklasu. Tyto klasty jsou navzájem propojeny do koherentní brekciovité podoby, kde klastická složka je pevně stmelena silně sklovitou bazaltoidní hmotou. Klastická část je zřejmě brekciovitě rozmělněnou hmotou podložního granitoidu, strženého do bazaltoidní lávy během jejího výstupu k povrchu. Druhá partie, od té první obtížně oddělitelná, má povahu



Obr. 5 Vyhledka Jehla, foto P. Pauliš, 2014.



Obr. 6 Pohled z Jehly, foto P. Pauliš, 2014.



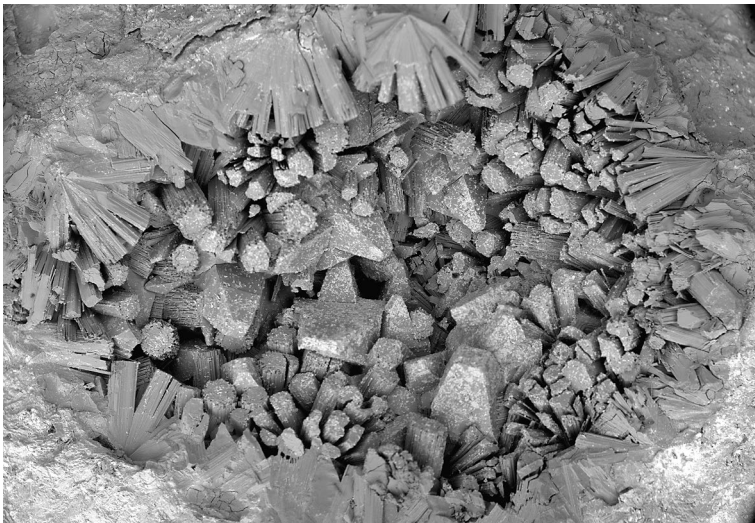
Obr. 7 Svah Jehly s výskytem bazaltové sutě, foto P. Pauliš, 2014.



Obr. 8 Krystaly tschernichitu z Jehly, velikost krystalů 1 mm, foto P. Fuchs.



Obr. 9 Krystaly tschernichitu z Jehly, velikost krystalů 1 mm, foto P. Fuchs.



Obr. 10 Krystaly tschernichitu s erionitem-K potažené oxidy Fe^{3+} z Jehly, šířka obrázku 4 mm, BSE foto B. Ekrť.

bazaltoidu, pro který v podstatě platí tatáž petrologická charakteristika, jaká je uvedena pro první vzorek: jde o jemnozrnný, slabě analcimicko-nefelinický tefrit až bezolivnický bazalt (v chemickém ohledu nejspíš klasifikovatelný jako draselný trachybazalt) s drobnými vyrostlicemi klinopyroxenu a s převládajícím sítivem tenké lištovitých plagioklasů základní hmoty. Výskyt zeolitů v podobně vyvinutých dutinkatých prostorách je zde sice kvantitativně nehojný, ale poměrně běžný.

Metodika výzkumu

Povrchová morfologie vzorků byla sledována v obraze zpětně rozptýlených elektronů (BSE) na elektronových scanovacích mikroskopech Hitachi S3700-N (Národní muzeum, Praha) a Tescan Mira3 (Česká geologická služba, Praha).

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 nanášeny v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku a následně pak byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.01° , načítací čas 8 s/krok detektoru, celkový čas experimentu cca 15 hod.). Pozice jednotlivých difrakčních maxim byly popsány profilovou funkcí Pseudo-Voigt a upřesněny profilovým fitováním v programu HighScore Plus. Mřížkové parametry byly vypřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Celref (Laugier, Bochu 2011).

Chemické složení většiny zeolitů bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta, MU Brno, analytik J. Sejkora a R. Škoda) za podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 5 nA, průměr svazku 10 μm , standardy: baryt ($BaL\alpha$), albit ($NaK\alpha$), sanidin ($SiK\alpha$ $AlK\alpha$, $KK\alpha$), spessartin ($MnK\alpha$), pyrop ($MgK\alpha$), fluorapatit ($PK\alpha$, $CaK\alpha$), almandin ($FeK\alpha$), gahnit ($ZnK\alpha$), $SrSO_4$ ($SrL\alpha$), titanit ($TiK\alpha$), polucit ($CsK\alpha$), vanadinit ($ClK\alpha$), wollastonit ($CaK\alpha$) a topaz ($FK\alpha$). Obsahy prvků Ba, Na, Al, Si, Mn, Mg, Ca, 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).

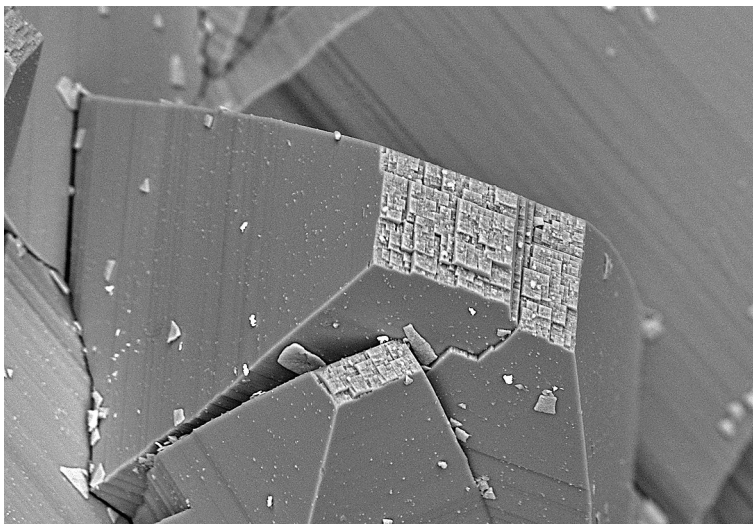
Chemické složení thomsonitu-Ca bylo sledováno na energiově disperzním (EDS) mikroanalýzátoru Bruker Quantax (elektronová mikrosonda Cameca SX 100, Národní muzeum) operujícím při urychlovacím napětí 15 kV. Výsledek analýzy byl po dopočtu teoretického obsahu H_2O přepočten na 100 hm. %.

Charakteristika zjištěné zeolitové mineralizace

Ve staré literatuře jsou z Malé Jehly a blízkého okolí uváděny phillipsit a natrolit (Kratochvíl 1960). Hibsč (1934) z bazaltu j. od Malé Jehly zmiňuje výskyt mandlí s natrolit-mezolitovou výplní, narůstající na drobně krystalickou phillipsitovou podložku a romboedrické krystaly chabazitu. Dochované starší mineralogické vzorky s označením Jehla či Nolde však nejsou autorům známy. Většina vzorků z okolí České Kamenice, které se v muzejních sbírkách dochovaly, nemá bližší lokalizaci.

Několik dřívějších průzkumů, které realizoval především druhý z autorů (LH) této práce v letech 1995 - 2005, přineslo poznatky pouze o běžných zeolitech nevýrazného vývoje. Zajímavější byl pouze nálezný drobných krystalů chabazitu. Nový důkladnější průzkum lokality odstartoval až náhodný nálezný úlomek horniny se zeolitem z řady offretit-erionit v lednu 2014. Při následné návštěvě byly makroskopicky identifikovány další zajímavé zeolity - lévyn, cowlesit, heulandit, stilbit a zeolit, jehož krystaly nápadně připomínaly tschernichit z typové lokality Neer Road u Goble v Oregonu (USA). Množství materiálu pro komplexní analýzy však bylo malé. Následovalo mnoho dalších průzkumných akcí, při kterých byly dohledány další vzorky potřebné pro analytické práce. Při tom byly nalezeny další druhy zeolitů a zjištěny i informace o jejich vývoji a vazbě na rozdílné matečné horniny. Pozoruhodný byl i nálezný garronit, který byl v makroskopicky nenápadných ukázkách zjištěn v jiné části popisované lokality v částečně odlišném horninovém prostředí.

Geologické poměry popisovaného území s výskytem zeolitů jsou poměrně komplikované. Přítomnost různých druhů vulkanických hornin nasvědčuje několika fázím vulkanické aktivity. Vrcholy Jehla a Trubač jsou součástí rozsáhlého skalního výchozu budovaného olivinickou bazaltoidní horninou s převažující vodorovnou sloupcovitou odlučností. Z mineralogického hlediska je tato část nezajímavá, v hornině se nevyskytují žádné dutiny se zeolity. Jsou v ní přítomna pouze zrna olivínu, křemene a různé xenolity převážně křídového stáří. Západní svah vrchu je tvořen několika nevýraznými hřbítky a mělkými roklemi. Téměř celá tato část je tvořena vulkanickou brekcií, kterou zčásti odkrývá níže položený zářez zpevněné cesty. Brekcie obsahuje velké množství úlomků křídových sedimentů, zastoupeny jsou i valouny vulkanických hornin. Nejzajímavější částí lokality je mělká rokle přilehlá ke skalnímu masivu Jehly od severozápadu a dále následný nevýrazný hřbet. Zde bylo nalezeno největší množství úlomků různých typů hornin se zeolity. Součástí tohoto hřbetu je pravděpodobně menší těleso šedé vulkanické horniny, která byla petrologicky



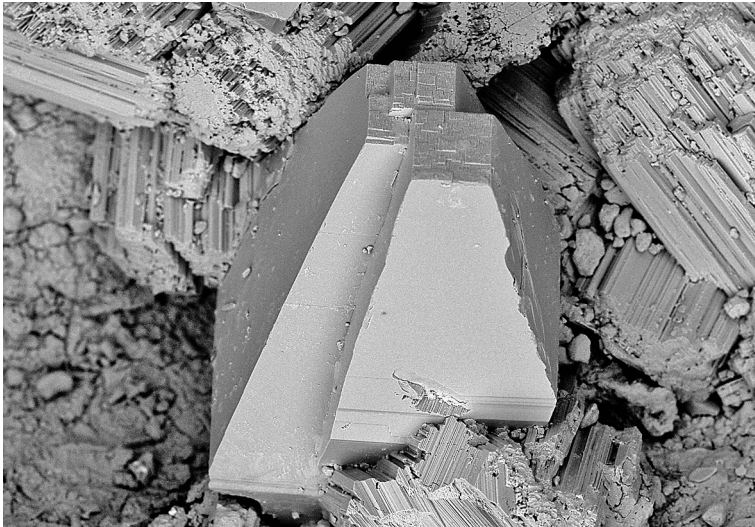
Obr. 11 Charakteristický povrch báze krystalu tschernichitu z Jehly, šířka obrázku 220 μm , BSE foto B. Ekr.



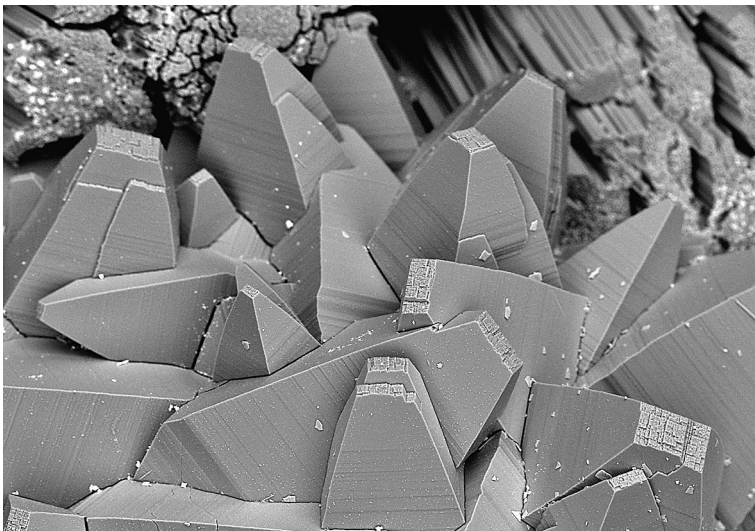
Obr. 12 Jehlicovité krystaly erionitu-K srůstající s krystalem tschernichitem zakončeným neobvyklou nízkou pyramidou, šířka obrázku 1.2 mm, BSE foto B. Ekr.



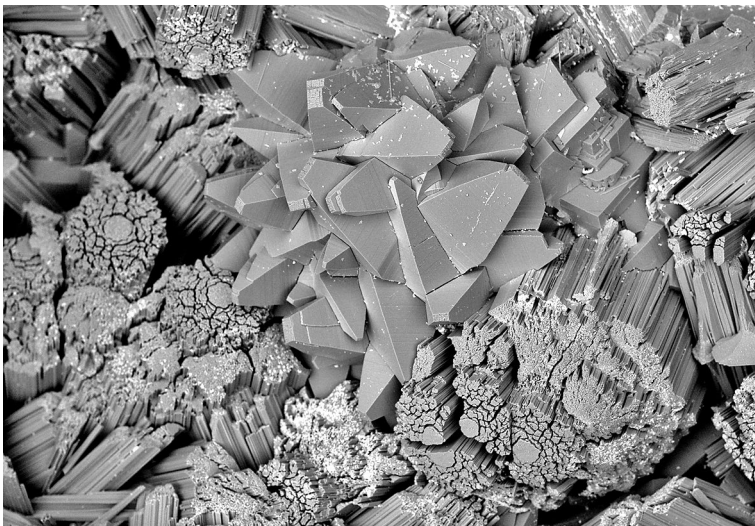
Obr. 13 Srostlice krystalů tschernichitu v asociaci s jehlicovitým erionitem-K z Jehly, šířka obrázku 2 mm, BSE foto B. Ekr.



Obr. 14 Jehlicovité krystaly erionitu-K v asociaci se srostlící dvou krystalů tšchernichitu z Jehly, šířka obrázku 1.2 mm, BSE foto B. Ekr.



Obr. 15 Skupina dokonale vyvinutých krystalů tšchernichitu z Jehly, šířka obrázku 800 μ m BSE foto B. Ekr.



Obr. 16 Srůsty krystalů tšchernichitu s jehlicovitým erionitem-K z Jehly, šířka obrázku 1.6 mm, BSE foto B. Ekr.

definována jako trachybazalt, spolu s ním je přítomna šedá brekciovitá hornina (viz petrologický popis výše). Nenachází se tu žádný výchoz, celý prostor je pokryt hlinitou vrstvou s proměnlivým množstvím úlomků uvedených hornin. Stejný charakter má přechod do mělké rokle. Směrem ke skalnímu masivu se povrch rokle s přibývajícím hrubým materiálem mění v suťové pole. Koncentrace horniny se zeolity je největší při přechodu hlinité vrstvy v suťové pole. Zde byla učiněna drtivá většina nálezů téměř všech druhů zeolitů lokality. Převážná část všech vzorků tšchernichitu pochází právě z těchto míst. S přibývajícím hrubnutím horninového materiálu směrem k masivu Jehly hornin se zeolity ubývá. V suťovém poli, tvořeném většinou olivinickým bazaltem, lze zajímavější materiál nalézt již jen velmi zřídka. V průběhu průzkumu rokle bylo nalezeno velké množství různorodých hornin, odlišujících se barvou, zrnitostí, charakterem dutin i asociací přítomných zeolitů. Některé zeolitové druhy v určitých horninách dominují, jiné ubývají, nebo nejsou přítomny vůbec a naopak. Z hlediska výskytu zeolitů jsou nejzajímavější úlomky hornin, ve kterých trachybazalt přechází v brekci. V trachybazaltové části těchto úlomků ubývají analcim, chabazit-Ca a lévyn-Ca, chybí phillipsit, v dutinách se s chabazitem-Ca objevuje stilbit-Ca, vzácně heulandit-Ca a erionit-K, na který nasedá krystalovaný tšchernichit. Potom následuje přechod do vulkanické brekcie. Zde jsou hojné heulandit-Ca a samostatně stilbit-Ca, ubývají chabazit-Ca a lévyn-Ca, analcim a phillipsit-Ca chybí, erionit-K je velmi vzácný a objevují se též velmi drobné krystaly křemene. Velmi řídko se v brekci objevuje i tšchernichit, který je v dutinách většinou osamocen (z tohoto typu přechodové horniny byl proveden druhý petrologický popis).

Pod cestou severozápadně od masivu Jehly se nachází řídká suť s rozměrnějšími balvany olivinického bazaltoidu. Těmto místům byla věnována pozornost až v nejpozdější etapě průzkumu lokality. Bazalty z tohoto místa obsahují na rozdíl od vulkanitu ze skalního výchozu Jehly větší množství dutin se zeolity. Z těchto míst pocházejí především vzorky chabazitu-Ca, později byly objeveny phillipsit-Ca, analcim, chabazit-Ca, thomsonit-Ca, lévyn-Ca, erionit-K, cowlesit, gismondin a garronit-Ca.

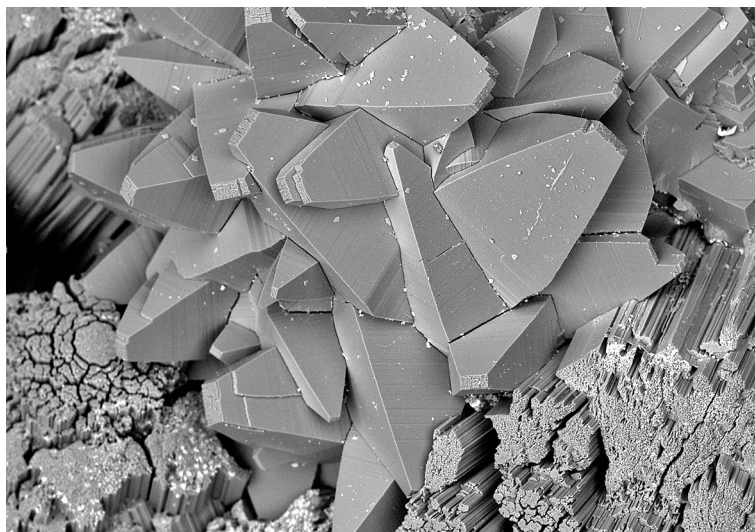
Nalezen tu byl i zajímavý vzorek olivinického bazaltoidu se zeolity, který přecházel v rezavou brekci podobné té ze zářezu cesty nad tímto suťovým polem. Nabízí se zde velmi pravděpodobná možnost výskytu dalšího menšího tělesa olivinického bazaltoidní horniny, které není na povrchu patrné. Dá se spekulovat i o původní lokalizaci Malé Jehly odtěžené v 19. století, nebo o pozůstatcích materiálu právě tohoto výchozu. Dobovému popisu ovšem neodpovídá směrové určení jižně od Jehly.

Tschernichit

Nejzajímavějším zeolitem této lokality je vzácný tschernichit - tetragonální $\text{CaAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, který v roce 1972 objevil R. W. Tschernich v kamenolomu Neer Road Pit u Goble v Oregonu (USA) při výzkumu a popisu cowlesitu (Tschernich 1992). Smith et al. (1991) zjistili, že tento zeolit je přírodním analogem syntetického zeolitu Beta. Boggs et al. (1993) minerál popsali a pojmenovali na počest Rudy Warrena Tscherniche, který se výzkumu zeolitů dlouhodobě věnuje, a který tento minerál na lokalitě v dutinách eocenních bazaltů objevil. Tschernichit je vápenatý zeolit, ve kterém se v malém množství uplatňuje i proměnlivé zastoupení Na, Mg a K. Tvoří charakteristické lesklé, tenké sloupcovité tetragonální dipyramidy, většinou zakončené bazálním pinakoidem. Tschernichit je velmi vzácný zeolit, vedle typového naleziště byl nalezen pouze na několika málo dalších lokalitách (Pedernal v Kostarice, Mt. Adamson v Antarktídě, Waitakere River na Novém Zélandu a Mraznica-tető-Saskő na Mátře v Maďarsku) (Deer et al. 2004; www.mindat.org). Tschernichit se na Jehle vyskytuje jen vzácně, nalezen byl ve dvou typech hornin - v trachybazaltu a v tefritovém aglutinátu. Podle charakteru vzorků je patrné, že jeho výskyt je vázán právě na blízkost kontaktu těchto dvou hornin. Z úloмку s patrným kontaktem byl udělán petrologický rozbor. Součástí vzorku bylo i několik dutinek vyplněných erionitem-K s tschernichitem. Devadesát procent všech vzorků tschernichitu pochází z trachybazaltu, malá část z tefritového aglutinátu.

Tschernichit tvoří velmi drobné krystaly, jejichž velikost obvykle nepřesahuje 0.5 mm, pouze několik krystalů dosahuje až 1 mm (obr. 8 - 9). Krystaly bývají dokonale čiré, někdy jsou v různé míře pokryty (hydro) oxidy Fe^{3+} (obr. 10). Na lokalitě byly jeho dipyramidální krystaly nalezeny s několika odlišnými zakončeními: vysoká dipyráma s malou ploškou báze; vysoká dipyráma bez báze, ostře zakončená; nízká dipyráma s výraznou plochou báze; posledním a nejméně častým tvarem je vysoká dipyráma zakončena stupňovitě nízkou pyramidou a nevýraznou bází (obr. 11 - 14). Nejčastěji vytváří jednotlivé krystaly nebo jednoduché srostlice, růžicovité agregáty o velikosti do 1.5 mm jsou vzácné (obr. 15 - 17). Krystaly jsou většinou výrazně horizontálně rýhované. Podle charakteru minerálních asociací s tschernichitem lze na lokalitě rozlišit několik odlišných typů jeho výskytu:

Typ 1 - dutiny o velikosti do 10 mm pokryté erionitem-K, na který narůstají krystaly tschernichitu; často je v dutině vyvinut jen jeden nebo dva krystaly o velikosti do 0.5 mm; růžicové srostlice krystalů jsou vzácné. Zeolity v největších dutinách jsou vždy pokryty oxidy Fe^{3+} ; v asociaci s oběma zeolity často



Obr. 17 Srůst krystalů tschernichitu s erionitem-K z Jehly, šířka obrázku 1 mm, BSE foto B. Ekrť.



Obr. 18 Krystaly tschernichitu, na které narůstá lévyn-Ca porostlý mladším erionitem-K, šířka obrázku 1 mm, BSE foto B. Ekrť.



Obr. 19 Agregát garronitu-Ca porostlý phillipsitem-Ca z Jehly, velikost agregátu 10 mm, foto L. Hřůzek.

vystupuje chabazit-Ca a vzácně lévyn-Ca.

Typ 2 - vzácně byly nalezeny velmi drobné krystaly tschernichitu v drobných dutinách s dominantním analcitem a podružnými lévynem-Ca, erionitem-K a chabazitem-Ca (obr. 18); všechny tyto vzorky pocházejí z jednoho úlomku trachybazaltu. Ze stejného úlomku pochází i drobná dutina, ve které tabulka lévynu-Ca s nárůstkem ero-

nit-K prorůstá krystaly tschernichitu a erionitu-K. Tento vzorek dokazuje existenci dvou generací erionitu-K; první generace, starší než tschernichit, tvoří samostatné agregáty, druhá tvoří epitaxiální nárůsty na lévynu-Ca.

Typ 3 - v dutinách o velikosti do 4 mm, které se objevují v obou uvedených horninových druzích, jsou samostatně vyvinuté jeden nebo dva krystaly tschernichitu, někdy v asociaci s agregáty erionitu-K o velikosti do 1.5 mm. Z těchto dutin pocházejí největší, až 1 mm velké dokonale vyvinuté krystaly tschernichitu.

Typ 4 - v dutinách o rozměrech do 4 mm, které byly zjištěny v obou typech hornin, se vyskytují pouze souvislé kůry tschernichitu, které jsou tvořeny drobnými krystaly o velikosti do 0.3 - 0.5 mm. Tento typ je mezi nalezenými vzorky zastoupen nejméně.

Rentgenová prášková data tschernichitu z Jehly (tab. 1) jsou blízká datům pro tschernichit z typové lokality, jeho zpřesněné parametry (tab. 2) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tetragonální polytyp tschernichitu z Mt. Adamson v Antarktidě (Alberti et al. 2002).

Při studiu chemického složení tschernichitu (tab. 3) byly zjištěny obsahy pouze Si, Al, Mg, Ca, Ba, Sr, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Zjištěné chemické složení je blízké tschernichitu z Mt. Adamson v Antarktidě (Galli et al. 1995). Vedle vápníku obsahuje zdejší tschernichit významnější příměs draslíku ($0.144 apfu$) a malé příměsi Mg, Ba, Sr a Na. Empirický vzorec tschernichitu z Jehly (průměr šesti bodových analýz) je na bázi 16 kyslíků možno vyjádřit jako $Ca_{0.48}Mg_{0.07}Na_{0.04}K_{0.14}(Si_{6.49}Al_{1.59})O_{16} \cdot 8H_2O$. Analyzovaný minerál má oproti ideálnímu složení, které je vyjádřeno chemickým vzorcem - $CaAl_2Si_6O_{16} \cdot 8H_2O$, deficit sumy kationů. Obdobné rozdíly v chemickém složení zeolitů, jsou poměrně běžným jevem, způsobeným rozdílnou distribucí vyměnitelných kationů, stupně uspořádanosti hliníku a křemíku v tetraedrech kostry zeolitu apod. (Gottardi 1978; Gottardi, Galli 1985; Tschernich 1992). Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.80$ dobře odpovídá tschernichitu z Antarktidy (Coombs et al. 1997).

Garronit-Ca

Dalším zeolitem, který nebyl dosud na území ČR zjištěn, je garronit-Ca. Tento řídký zeolit (ještě jako nerozlišený garronit) byl popsán Walkerem (1962) a pojmenován podle typové lokality Garron Plateau v Severním Irsku (Velká Británie). Později byl zjištěn na celé řadě dalších zeolitových nalezišť, příkladem může být Island s více než 20 výskyty, Kanada (Davis Hill), Německo (Höwenegg a Zeilberg), Maďarsko (Láz Hill) a další (Tschernich 1992). Artioli (1992) vyřešil krystalovou strukturu garronitu a revidoval jeho chemické složení. V současné době existuje vedle hojnějšího vápenatého garronitu-Ca i samostatný sodný garronit-Na, který byl dosud zjištěn pouze v Mont Saint-Hilaire v Kanadě (Hålenius et al. 2015).

Tento nenápadný zeolit byl na Jehle identifikován jako poslední, jeho polokulovité agregáty byly původně považovány za phillipsit. Makroskopický vzhled byl však velmi podobný vzorkům garronitu či gobbinsitu z jiných světových lokalit. Odpovídala i v literatuře uváděná asociace zeolitů a matečná hornina olivinický bazaltoid. Následnými analýzami byl garronit-Ca potvrzen. Na lokalitě se nachází velmi vzácně a pouze ve volně rozptýlené suti cca 60 m sz. od masivu Jehly. Olivinický bazaltoid, ve kterém se garronit-Ca vyskytuje, je silně dutinatý. Podle některých vzorků pochází z kontaktu s vulkanickou brekcií. Vyskytuje se v asociaci s phillipsitem-Ca, chabazitem-Ca,

Tabulka 1 Rentgenová prášková data tschernichitu z Jehly

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>l</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
0	1	0	12.454	21	12.636
0	1	1	11.458	100	11.424
0	1	2	9.295	<1	9.162
1	0	3	7.326	1	7.260
0	0	4	6.620	8	6.652
0	2	1	6.196	1	6.147
0	2	2	5.731	1	5.707
1	1	4	5.357	1	5.336
2	0	3	5.158	<1	5.146
2	2	1	4.423	1	4.406
1	2	4	4.335	3	4.307
1	0	6	4.191	10	4.185
1	3	0	3.993	82	3.996
1	3	1	3.947	6	3.952
1	3	2	3.824	1	3.827
0	1	7	3.641	1	3.640
0	4	1	3.133	5	3.137
1	1	8	3.118	7	3.117
1	4	1	3.045	4	3.045
3	1	6	2.965	2	2.969
0	2	8	2.940	1	2.943
2	1	8	2.869	1	2.866
3	0	7	2.818	1	2.822
3	3	4	2.720	<1	2.718
2	4	4	2.601	<1	2.601
4	3	1	2.512	<1	2.516
3	4	3	2.4319	<1	2.4305
2	5	4	2.2089	<1	2.2128
3	0	11	2.0978	5	2.0977
1	2	12	2.0636	<1	2.0642
3	5	6	1.9461	<1	1.9471
1	1	14	1.8572	<1	1.8591
5	2	9	1.8382	<1	1.8380
1	0	15	1.7569	<1	1.7567
2	4	13	1.6575	1	1.6576
2	7	5	1.6503	1	1.6502
1	4	14	1.6154	<1	1.6153
3	7	5	1.5843	<1	1.5840
6	5	6	1.5197	<1	1.5199
8	3	2	1.4699	<1	1.4699
2	0	18	1.4390	<1	1.4394
0	7	12	1.4009	<1	1.3999
6	5	12	1.3067	<1	1.3070

Tabulka 2 Parametry základní cely tschernichitu (pro tetragonální prostorovou grupu P422)

	tato práce	Alberti et al. (2002)
<i>a</i> [Å]	12.636(9)	12.634(1)
<i>c</i> [Å]	26.6095(4)	26.608(3)
<i>V</i> [Å ³]	4249(3)	4247.11

Tabulka 3 Chemické složení tschernichitu z Jehly u České Kamenice (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	63.42	62.38	62.98	62.98	63.66	64.52	63.99
Al ₂ O ₃	13.15	12.88	13.07	13.46	13.56	13.02	12.88
CaO	4.33	4.32	4.42	4.42	4.41	4.29	4.13
MgO	0.43	0.42	0.44	0.42	0.39	0.42	0.49
BaO	0.05	0.00	0.00	0.00	0.10	0.06	0.06
SrO	0.06	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	0.21
Na ₂ O	0.21	0.18	0.27	0.11	0.28	0.23	0.19
K ₂ O	1.10	0.86	1.25	1.14	1.12	1.20	1.05
H ₂ O	23.43	23.02	23.32	23.36	23.39	23.74	23.53
Total	106.18	104.13	105.77	105.99	106.93	107.48	106.53
Si ⁴⁺	6.490	6.501	6.479	6.459	6.461	6.520	6.526
Al ³⁺	1.587	1.582	1.585	1.627	1.622	1.551	1.548
Ca ²⁺	0.475	0.482	0.487	0.486	0.479	0.465	0.451
Mg ²⁺	0.066	0.065	0.067	0.064	0.059	0.066	0.075
Ba ²⁺	0.002	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.003
Sr ²⁺	0.004	0.005	0.000	0.004	0.000	0.000	0.012
Na ⁺	0.042	0.036	0.054	0.022	0.055	0.045	0.038
K ⁺	0.144	0.114	0.164	0.149	0.145	0.154	0.136
ΣCa+Mg+Ba+Sr+Na+K	0.733	0.702	0.772	0.725	0.742	0.732	0.715
H ₂ O	8	8	8	8	8	8	8
Si/Al	4.09	4.12	4.09	3.97	3.98	4.20	4.22
T _{Si}	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 16 kyslíků. H₂O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 8 H₂O.

analcimem, thomsonitem-Ca, gismondinem, lévynem-Ca, erionitem-K a cowlesitem. Ve společných dutinách ho provázejí pouze mladší phillipsit-Ca a chabazit-Ca. Právě phillipsit-Ca je významným průvodcem garronitu-Ca, na který vždy narůstá. Vzorky z Jehly jsou typickým příkladem srůstu těchto minerálů, o kterém se zmiňuje například Tschernich (1992). Základem je radiální agregát garronitu s charakteristickým koncentricky rozpraskaným vzhledem a lehce mléčně zakalenou barvou, na nějž narůstá tenčí vrstva čirého, drobně krystalovaného phillipsitu (obr. 19). Velikost těchto agregátů dosahuje nejvýše 1 cm. Dutinou oba tyto zeolity prorůstají, a při rozlomení se projeví jejich struktura. Nejčastěji však garronit-Ca zcela vyplňuje drobné dutiny o velikosti do 1 cm, ve kterých buď phillipsit-Ca chybí nebo v nich není makroskopicky patrný. Samostatné krystaly garronitu-Ca na lokalitě zjištěny nebyly. Všechny pseudooktaedrické krystaly asociující s garronitem-Ca náležejí gismondinu.

Rentgenová prášková data garronitu-Ca z Jehly (tab. 4) jsou blízká datům uváděným pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry (tab. 5) dobře odpovídají publikovaným údajům pro garronit-Ca (Artioli 1992). Po chemické stránce dominuje u garronitů-Ca vápník. Obsahy Na vzorků z typové lokality se pohybují kolem 1.3 *apfu*, garronitu-Ca z jiných lokalit však mohou mít obsahy alkálií podstatně menší: (Na+K) < 0.2 *apfu* (Coombs et al. 1997; Deer et al. 2004). Chemické složení garronitu-Ca z Jehly bylo studováno na dvou vzorcích, ověřených pomocí rentgenových práškových dat. Ve vzorku garronitu-Ca, který byl odebrán z centrální části zcela vyplněné dutiny, byla vedle dominujícího vápníku (2.71 *apfu*) zjištěna menší příměs Na (0.31 *apfu*), K (0.09 *apfu*) a Ba (0.01 *apfu*) (tab. 6). Empirický vzorec tohoto garronitu-Ca z Jehly (průměr čtyř bodových analýz) je na bázi 32 kyslíků možno vyjádřit jako Na_{0.31}K_{0.09}Ca_{2.7109}Ba_{0.01}(Al_{5.73}Si_{10.22})O₃₂

Tabulka 4 Rentgenová prášková data garronitu z Jehly

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
0	1	1	7.112	100	7.111
0	2	0	4.930	60	4.932
1	1	2	4.126	33	4.133
1	2	1	4.054	7	4.053
1	0	3	3.228	28	3.232
0	3	1	3.133	52	3.131
1	3	2	2.667	18	2.665
0	0	4	2.564	13	2.565
1	3	4	1.9827	2	1.9813
3	4	1	1.9371	3	1.9374
4	0	4	1.7788	4	1.7778
4	4	0	1.7422	2	1.7438
0	6	0	1.6455	4	1.6441
1	3	6	1.4992	<1	1.4996

Tabulka 5 Parametry základní cely garronitu (pro tetragonální prostorovou grupu I-4m2)

	tato práce	Artioli (1992)
<i>a</i> [Å]	9.865(7)	9.8712(2)
<i>c</i> [Å]	10.2610(6)	10.2987(3)
<i>V</i> [Å ³]	998.6(7)	1003.51

·14H₂O. Hodnota T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.64 se nachází při horní hranici rozmezí uváděného pro garronit-Ca (0.60-0.65) (Coombs et al. 1997). Na chemickém složení garronitu-Ca ze srůstu s phillipsitem-Ca (tab. 7) se Ca podílí ve větší míře (3.25 *apfu*) než v prvním případě. Obsahy alkálií jsou víceméně srovnatelné (0.35 *apfu* Na a 0.04 *apfu* K). V tomto případě lze vyjádřit empirický vzorec

Tabulka 6 Chemické složení garronitu-Ca z centrální části dutin z Jehly u České Kamenice (hm. %)

	mean	1	2	3	4
SiO ₂	47.04	46.58	47.45	47.05	47.07
Al ₂ O ₃	22.51	22.41	22.77	22.23	22.63
CaO	11.64	12.01	11.01	11.98	11.55
BaO	0.16	0.17	0.16	0.09	0.21
K ₂ O	0.31	0.36	0.26	0.27	0.35
Na ₂ O	0.74	0.73	0.75	0.78	0.69
H ₂ O	19.32	19.24	19.40	19.31	19.35
Total	101.72	101.50	101.80	101.71	101.85
Si ⁴⁺	10.218	10.163	10.266	10.229	10.212
Al ³⁺	5.763	5.763	5.806	5.695	5.785
Ca ²⁺	2.709	2.808	2.552	2.740	2.685
Ba ²⁺	0.013	0.014	0.013	0.008	0.018
K ⁺	0.086	0.100	0.073	0.076	0.097
Na ⁺	0.311	0.309	0.315	0.329	0.289
H ₂ O	14	14	14	14	14
Si/Al	1.77	1.63	1.77	1.80	1.77
T _{Si}	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 32 kyslíků. H₂O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 14 H₂O.

Tabulka 7 Chemické složení garronitu-Ca ze srůstů s phillipsitem-Ca z Jehly u České Kamenice (hm. %)

	mean	1	2	3
SiO ₂	42.41	42.24	42.61	42.37
Al ₂ O ₃	24.92	25.79	24.88	24.10
CaO	13.68	14.16	13.40	13.49
K ₂ O	0.15	0.15	0.26	0.05
Na ₂ O	0.82	0.74	0.78	0.94
H ₂ O	18.94	21.07	18.95	18.72
Total	100.92	104.15	100.88	99.67
Si ⁴⁺	9.397	8.414	9.439	9.499
Al ³⁺	6.508	6.053	6.495	6.369
Ca ²⁺	3.247	3.022	3.180	3.241
K ⁺	0.043	0.038	0.075	0.014
Na ⁺	0.352	0.285	0.335	0.410
H ₂ O	14	14	14	14
Si/Al	1.44	1.39	1.45	1.49
T _{Si}	0.59	0.58	0.59	0.60

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 32 kyslíků. H₂O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 14 H₂O.



(průměr čtyř bodových analýz) jako Na_{0.35}K_{0.04}Ca_{3.25}(Al_{6.51}Si_{9.40})O₃₂·14H₂O. Hodnota T_{Si} = 0.59 se oproti předchozí analýze nachází při spodní hranici uváděného rozmezí. Obdobně nízké obsahy alkálií byly zjištěny například u garronitů-Ca z Terdree Forest v Severním Irsku (Nawaz 1982), Gignatu ve Francii (Pongiluppi 1976) či v Table Montain v Coloradu (Kile, Modreski 1988).

Chabazit-Ca

Nejrozšířenějším zeolitem lokality je chabazit-Ca. Nachází se ve všech typech vulkanitů včetně brekcií. Doprovází všechny popisované zeolity ve společných dutinách. Nejzajímavější jsou chabazity vyskytující se se stilbitem-Ca v dutinách o velikosti do 4 cm. Samostatně vyplňuje běžně dutiny o rozměrech do 4 cm, výjimečně až 10 cm. Vytváří pouze klencovité krystaly o velikosti do 10 mm (obr. 20 - 21). Většinou je bělavý až šedavý, v brekcií, kde se objevuje společně s heulanditem-Ca, však bývá většinou čistě bělavý s dokonalým skelným leskem.

Obr. 20 Chabazit v dutině trachybazaltu z Jehly, velikost největšího krystalu 7 mm, foto L. Hružek.



Obr. 21 Chabazitová drúza v olivinickém bazaltu z Jehly, velikost největšího krystalu 5 mm, foto L. Hružek.

Rentgenová prášková data chabazitu-Ca z Jehly (tab. 8) odpovídají teoretickému záznamu vypočtenému ze strukturních dat. Zpřesněné parametry studovaného chabazitu-Ca dobře odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi (tab. 9). V BSE obraze je studovaný minerál chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 10) byly zjištěny pouze obsahy Si, Al, Ca, Sr a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec chabazitu-Ca z Jehly (průměr čtyř bodových analýz) je na bázi 24 kyslíků možno vyjádřit jako

$\text{Ca}_{1.51}\text{K}_{0.88}\text{Sr}_{0.15}(\text{Al}_{3.76}\text{Si}_{8.28})\text{O}_{24}\cdot 13\text{H}_2\text{O}$. Hodnota $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.69$ chabazitu-Ca z Jehly je ve střední části rozmezí uváděného pro chabazit-Ca (0.58 - 0.80) (Coombs et al. 1997). Zajímavý je zvýšený obsah Sr, který dosahuje 0.15 *apfu*. Obdobně zvýšené obsahy Sr (1.6 hm. % SrO) byly zjištěny například u chabazitu z Řepčic (Ulrych, Rychlý 1981). Ze světových výskytů jsou stronciem bohaté chabazity-Ca známé například z italských lokalit z okolí Říma, kde obsahy Sr dosahují až 0.57 *apfu* (Passaglia 1972).

Tabulka 8 Rentgenová prášková data chabazitu-Ca z Jehly

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
1	0	1	9.286	100	9.361	2	0	5	2.682	1	2.685	7	1	0	1.5894	<1	1.5852
1	1	0	6.862	5	6.910	4	1	0	2.601	4	2.612	3	5	4	1.5559	<1	1.5561
0	1	2	6.332	2	6.362	1	3	4	2.4947	6	2.4871	5	1	7	1.5198	<1	1.5187
0	2	1	5.527	11	5.559	1	1	6	2.3490	1	2.3540	7	1	3	1.5143	1	1.5113
0	0	3	4.991	9	5.007	3	3	0	2.3082	<1	2.3033	4	5	2	1.5002	<1	1.5015
2	0	2	4.658	7	4.680	3	2	4	2.2218	<1	2.2165	5	3	5	1.4831	<1	1.4860
2	1	1	4.310	35	4.331	3	0	6	2.1189	1	2.1207	5	4	4	1.4193	<1	1.4188
3	0	0	3.969	3	3.989	3	3	3	2.0861	2	2.0925	1	5	8	1.4149	<1	1.4142
1	2	2	3.858	9	3.875	0	2	7	2.0203	<1	2.0201	0	8	4	1.3903	<1	1.3898
1	0	4	3.570	5	3.583	2	4	4	1.9362	<1	1.9375	2	7	4	1.3618	<1	1.3625
2	2	0	3.438	5	3.455	5	1	4	1.8671	2	1.8656	7	3	1	1.3415	<1	1.3412
1	3	1	3.228	2	3.241	6	0	3	1.8531	<1	1.8531	7	1	6	1.3408	<1	1.3393
0	2	4	3.188	<1	3.181	1	3	7	1.8037	3	1.8022	3	5	7	1.3367	<1	1.3372
4	0	1	2.922	16	2.934	6	1	2	1.7669	<1	1.7735	3	7	2	1.3258	1	1.3254
0	1	5	2.908	3	2.914	4	4	0	1.7317	<1	1.7275	6	1	8	1.3087	<1	1.3088
2	1	4	2.882	8	2.890	3	2	7	1.6912	<1	1.6908	1	2	11	1.3082	<1	1.3074
2	2	3	2.833	1	2.844	5	3	2	1.6676	<1	1.6671	8	2	0	1.3063	<1	1.3058
0	4	2	2.775	<1	2.780	1	6	4	1.6436	<1	1.6416	6	0	9	1.2813	<1	1.2801

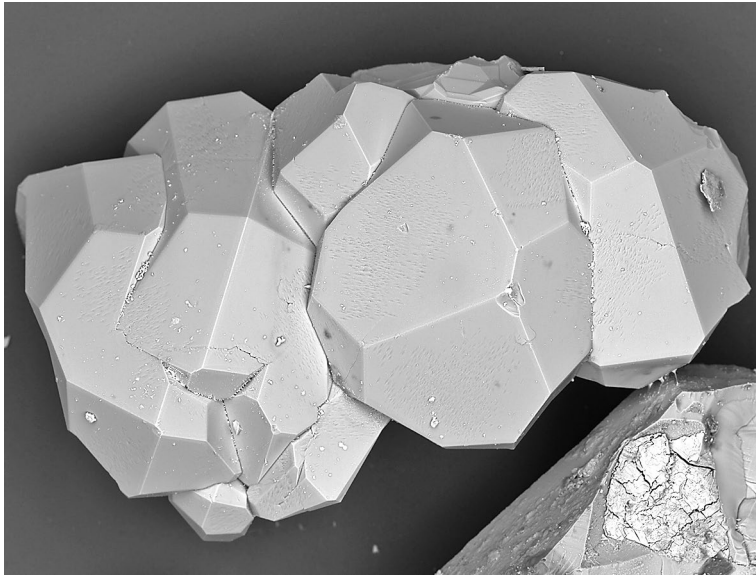
Tabulka 9 Parametry základní cely chabazitu-Ca (pro trigonální prostorovou grupu 4-3mH)

	tato práce	Yakubovich et al. (2005)	Pauliš et al. (2014b)
<i>a</i> [Å]	13.820(6)	13.831(3)	13.837(6)
<i>c</i> [Å]	15.0226(4)	15.023(5)	15.0073(4)
<i>V</i> [Å ³]	2484.9(1)	2488.83	2488(1)

Tabulka 10 Chemické složení chabazitu-Ca z Jehly u České Kamenice (hm. %)

	mean	1	2	3	4
SiO ₂	50.57	50.46	50.56	50.78	50.46
Al ₂ O ₃	19.48	19.67	19.41	19.54	19.29
CaO	8.58	8.89	8.08	8.85	8.51
SrO	1.53	1.34	2.08	1.23	1.46
K ₂ O	4.22	4.67	4.64	3.94	3.63
H ₂ O	13.64	13.41	13.48	13.43	13.57
Total	98.02	98.49	98.25	97.77	96.92
Si ⁴⁺	8.281	8.129	8.185	8.189	8.221
Al ³⁺	3.760	3.735	3.703	3.714	3.707
Ca ²⁺	1.505	1.534	1.402	1.529	1.486
Sr ²⁺	0.146	0.125	0.195	0.115	0.138
K ⁺	0.882	0.960	0.959	0.810	0.754
ΣCa+Sr+K	2.533	2.619	2.556	2.454	2.378
H ₂ O	13	13	13	13	13
Si/Al	2.20	2.18	2.21	2.20	2.22
T _{Si}	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 24 kyslíků. H₂O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 13 H₂O.



Obr. 22 Drúza analcimu z Jehly, šířka obrázku 800 μm , BSE foto O. Pour.



Obr. 23 Lévyň-Ca s erionitem-K z Jehly, šířka dutiny je 5 mm, foto P. Fuchs.



Obr. 24 Lévyň-Ca s erionitem-K z Jehly, velikost dutiny je 12 \times 11 mm, foto L. Hřůzek.

Analcim

Druhým nejrozšířenějším zeolitem lokality je analcim. Nachází se ve všech typech vulkanitů vyjma brekcie v dutinách o velikosti do 3 cm. Tvoří čiré krystaly charakteristického tvaru čtyřřadvacetistěnu deltooidového o velikosti do 2 mm (obr. 22), ojediněle až do 5 mm. Vystupuje v asociaci s ostatními zeolity, především lévyňem-Ca; jen vzácně byl nalezen v dutinách spolu s tschernichitem a erionitem-K.

Rentgenová prášková data analcimu z Jehly (tab. 11) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry (tab. 12) dobře odpovídají publikovaným údajům (Gatta et al. 2006). Při studiu chemického složení analcimu (tab. 13) byly zjištěny pouze obsahy Si, Al, Na a Ca; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec analcimu z Jehly (průměr tří bodových analýz) je na bázi 6 kyslíků možno vyjádřit jako $\text{Na}_{0.89}\text{Al}_{1.00}\text{Si}_{2.02}\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Hodnota $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.64$ phillipsitu-Ca z Jehly se nachází ve střední části rozmezí uváděného pro tento minerální druh (0.57 - 0.74) (Coombs et al. 1997).

Lévyň-Ca

K relativně hojným zeolitům patří na Jehle lévyň-Ca. Lze ho nalézt ve všech typech hornin, většinou však ve velmi drobných ukázkách. Na lokalitě ve většině případů vytváří epitaxiální srůsty s erionitem-K (obr. 23 - 24). V olivinickém bazaltoidu byl vzácně nalezen bez nárůstů erionitu-K v podobě čirých tabulek hexagonálního vzhledu. Nejvýznamnější nálezy pocházejí z trachybazaltu. Lévyň-Ca tu v jeho až 1 cm velkých dutinách tvoří velmi dobře omezené hexagonálně omezené samostatné krystaly o velikosti do 7 mm i jejich bohaté agregáty. Krystaly lévyňu-Ca často bývají extrémně tenké, zejména ve srovnání se srůstajícími krystaly erionitu-K.

Rentgenová prášková data lévyňu-Ca z Jehly (tab. 14) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry (tab. 15) dobře odpovídají publikovaným údajům pro analcim (Merlino et al. 1975). Při studiu jeho chemického složení (tab. 16) byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Sr, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec lévyňu-Ca z Jehly (průměr čtyř bodových analýz) je na bázi 36 kyslíků možno vyjádřit jako $\text{Ca}_{2.62}\text{Sr}_{0.34}\text{K}_{0.13}\text{Na}_{0.05}(\text{Al}_{6.19}\text{Si}_{11.83})\text{O}_{36} \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$. Hodnota $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.66$ lévyňu-Ca z Jehly se nachází ve střední části uváděného rozmezí (0.62 - 0.70) (Coombs et al. 1997). Zajímavý je zvýšený obsah Sr, který dosahuje 0.34 *apfu*. Obdobně zvýšený obsah Sr (0.45 *apfu*) byl zjištěn pouze u lévyňu-Ca z italské lokality Montecchio Maggiore (Galli et al. 1981).

Tabulka 11 Rentgenová prášková data analcimu z Jehly

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
1	1	2	5.580	46	5.596	0	2	6	2.1674	1	2.1675	6	0	6	1.6147	1	1.6155
2	0	2	4.833	9	4.847	1	4	5	2.1135	<1	2.1152	4	3	7	1.5935	2	1.5936
1	2	3	3.658	4	3.664	3	1	6	2.0197	1	2.0212	2	4	8	1.4945	1	1.4957
0	0	4	3.426	100	3.427	3	4	5	1.9380	<1	1.9386	6	5	5	1.4791	1	1.4782
2	3	3	2.920	18	2.923	0	4	6	1.8975	3	1.9010	4	6	6	1.4615	<1	1.4613
2	2	4	2.795	2	2.798	2	4	6	1.8320	<1	1.8319	4	5	7	1.4455	<1	1.4450
1	3	4	2.686	13	2.688	1	5	6	1.7410	5	1.7410	6	3	7	1.4140	2	1.4139
2	1	5	2.502	5	2.503	0	0	8	1.7146	7	1.7135	6	0	8	1.3713	1	1.3708
4	0	4	2.4202	3	2.4233	7	1	4	1.6880	2	1.6874	2	7	7	1.3584	<1	1.3573
2	3	5	2.2206	5	2.2238	0	2	8	1.6641	1	1.6624	2	6	8	1.3453	<1	1.3442

Tabulka 12 Parametry základní cely analcimu (pro kubickou prostorovou grupu Ia-3d)

	tato práce	Gatta et al. (2006)	Pauliš et al. (2014b)
<i>a</i> [Å]	13.706(5)	13.6999(3)	13.703(5)
<i>V</i> [Å ³]	2574(8)	2571.3	2573(1)

Tabulka 13 Chemické složení analcimu z Jehly u České Kamenice (hm. %)

	mean	1	2	3
SiO ₂	55.23	55.12	55.36	55.24
Al ₂ O ₃	23.20	23.08	23.24	23.17
CaO	0.10	0.08	0.09	0.09
Na ₂ O	12.52	12.36	12.59	12.49
H ₂ O	8.18	8.15	8.20	8.18
Total	99.23	98.79	99.48	99.17
Si ⁴⁺	2.024	2.028	2.024	2.025
Al ³⁺	1.002	1.001	1.001	1.001
Ca ²⁺	0.004	0.003	0.004	0.004
Na ⁺	0.890	0.881	0.892	0.888
H ₂ O	1	1	1	1

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 6 kyslíků. H₂O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 1 H₂O.

Tabulka 14 Rentgenová prášková data lévynu-Ca z Jehly

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
1	0	1	10.265	32	10.323	1	3	7	2.2946	3	2.2943	6	1	5	1.6452	<1	1.6451
0	1	2	8.111	100	8.151	1	0	10	2.2520	4	2.2567	5	3	2	1.6346	<1	1.6334
0	0	3	7.626	37	7.670	3	3	0	2.2232	16	2.2229	0	1	14	1.6263	2	1.6272
1	1	0	6.647	48	6.669	2	4	1	2.1733	1	2.1731	6	2	1	1.5962	1	1.5979
0	2	1	5.581	4	5.602	4	0	7	2.1699	1	2.1695	3	4	8	1.5849	3	1.5847
1	0	4	5.147	41	5.149	3	3	3	2.1360	2	2.1351	5	3	5	1.5533	3	1.5533
0	1	5	4.281	13	4.275	3	0	9	2.1292	4	2.1299	1	3	13	1.5499	3	1.5493
1	2	2	4.075	80	4.082	4	1	6	2.1063	1	2.1064	1	2	14	1.5384	2	1.5382
3	0	0	3.841	37	3.850	3	2	7	2.0626	2	2.0631	7	1	0	1.5311	1	1.5299
0	0	6	3.817	6	3.835	4	2	5	1.9716	1	1.9723	2	6	5	1.5135	1	1.5128
2	0	5	3.593	9	3.599	2	0	11	1.9689	1	1.9668	5	4	1	1.4763	1	1.4759
2	1	4	3.473	14	3.478	5	1	4	1.9519	1	1.9515	1	5	11	1.4727	1	1.4730
3	0	3	3.436	5	3.441	2	3	8	1.9494	2	1.9489	3	1	14	1.4621	<1	1.4624
1	0	7	3.165	13	3.162	0	5	7	1.8904	3	1.8901	3	3	12	1.4524	<1	1.4520
4	0	1	2.863	16	2.865	3	4	2	1.8745	1	1.8736	0	8	1	1.4414	1	1.4410
1	3	4	2.799	48	2.799	1	3	10	1.8682	1	1.8689	0	4	14	1.4283	3	1.4284
0	1	8	2.795	61	2.791	5	2	0	1.8494	3	1.8496	2	7	1	1.4086	1	1.4085
3	0	6	2.7151	10	2.7172	2	4	7	1.8179	1	1.8185	2	3	14	1.3969	1	1.3968
2	1	7	2.624	27	2.626	4	1	9	1.7947	5	1.7950	2	2	15	1.3932	1	1.3936
4	0	4	2.580	6	2.581	3	4	5	1.7555	1	1.7554	6	0	12	1.3592	<1	1.3586
0	0	9	2.554	2	2.557	3	1	11	1.7527	2	1.7515	8	1	1	1.3497	1	1.3496
4	1	0	2.520	16	2.521	4	2	8	1.7387	1	1.7388	5	1	13	1.3457	1	1.3465
2	2	6	2.517	14	2.516	3	0	12	1.7149	1	1.7165	4	6	1	1.3231	1	1.3228
3	2	4	2.4067	2	2.4068	0	2	13	1.6934	1	1.6923	5	3	11	1.2958	1	1.2955
1	2	8	2.4000	6	2.4019	4	4	0	1.6674	13	1.6672	0	0	18	1.2792	1	1.2784
4	1	3	2.3934	8	2.3946	2	2	12	1.6647	7	1.6623						

Tabulka 15 Parametry základní cely lévynu-Ca (pro trigonální prostoro-
vou grupu R-3mH)

	tato práce	Merlino et al. (1975)	Pauliš et al. (2014b)
a [Å]	13.338(3)	13.338(4)	13.330(3)
c [Å]	23.0105(1)	23.0140(90)	23.0122(3)
V [Å ³]	3545.0(7)	3545.72	3541.3(9)

Tabulka 16 Chemické složení lévynu-Ca z Jehly u České Kamenice
(hm. %)

	mean	1	2	3	4
SiO ₂	47.60	48.07	47.47	47.53	47.32
Al ₂ O ₃	21.12	21.16	21.25	21.02	21.04
CaO	9.82	9.58	9.76	9.98	9.97
SrO	2.35	2.28	2.47	2.32	2.33
Na ₂ O	0.10	0.11	0.15	0.18	0.12
K ₂ O	0.42	0.46	0.39	0.47	0.35
H ₂ O	21.71	21.82	21.70	21.70	21.62
Total	103.12	103.48	103.19	103.20	102.75
Si ⁴⁺	11.832	11.890	11.803	11.821	11.814
Al ³⁺	6.188	6.168	6.227	6.163	6.192
Ca ²⁺	2.616	2.539	2.599	2.660	2.667
Sr ²⁺	0.339	0.327	0.356	0.335	0.337
Na ⁺	0.048	0.054	0.072	0.087	0.057
K ⁺	0.134	0.146	0.123	0.149	0.111
ΣCa+Sr+Na+K	3.137	3.066	3.150	3.231	3.172
H ₂ O	18	18	18	18	18
Si/Al	1.91	1.93	1.90	1.92	1.91
T _{Si}	0.66	0.66	0.65	0.66	0.66

Empirický vzorec lévynu-Ca byl přepočten na bázi 36 kyslíků. H₂O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 18 H₂O.

Erionit-K

Poměrně častým zeolitem všech typů vulkanitů Jehly je erionit-K. Samostatně se vyskytuje jen zřídka, většinou tvoří epitaxiální nárůsty na lévynu-Ca (obr. 23 - 24). Často bývají jeho nárůsty díky své zářivé bílé barvě velmi nápadné. V malé míře se tu vyskytují až 2 mm velké hexagonální agregáty erionitu-K, připomínající lévynu-Ca, který však v těchto vzorcích zjištěn nebyl. Další formou jsou až 1 mm dlouhé hexagonální sloupečkovité a jemně jehličkovité krystaly, které pokrývají samostatně stěny dutin, nebo tvoří až 1 mm silné agregáty. Ojedinele byly zjištěny soudečkovité, paralelně rostlé a hemisférické agregáty. Všechny tyto typy se nacházejí v dutinách do velikosti 1 cm. Zajímavým nálezem bylo několik dutin v brekcii, z nichž největší měla rozměry 25 × 15 mm, které byly souvisle pokryty až 2 mm dlouhými jemnými hexagonálními krystaly erionitu-K se zářivě žlutavým nádechem, na něž nasadily tabulkovité krystaly heulanditu-Ca. Nejběžnější jsou hexagonální sloupečkovité agregáty erionitu-K, které budí dojem samostatných krystalů, v elektronovém mikroskopu je však patrné, že jde o srostlice vláknitých krystalů. Sloupečkovité agregáty většinou souvisle pokrývají stěny dutin a jsou čiré s bělavým ukončením. V této asociaci se nejčastěji objevují krystaly vzácného tschernichitu.

Rentgenová prášková data erionitu-K z Jehly (tab. 17) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry (tab. 18) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit (Gualtieri et al.

Tabulka 17 Rentgenová prášková data erionitu-K z Jehly

h	k	l	d _{obs}	l _{obs}	d _{calc}	h	k	l	d _{obs}	l _{obs}	d _{calc}	h	k	l	d _{obs}	l _{obs}	d _{calc}
0	1	0	11.454	100	11.503	0	4	0	2.875	84	2.881	1	3	7	1.7841	5	1.7859
0	1	1	9.084	9	9.155	1	2	4	2.847	27	2.850	1	6	0	1.7548	2	1.7572
0	0	2	7.531	11	7.538	0	4	1	2.826	50	2.830	1	6	1	1.7459	1	1.7454
1	1	0	6.629	67	6.653	0	4	2	2.690	21	2.691	0	4	7	1.7276	1	1.7249
0	1	2	6.294	5	6.308	2	3	0	2.642	1	2.644	1	6	2	1.7122	3	1.7113
0	2	0	5.744	37	5.761	2	3	1	2.608	7	2.604	4	4	0	1.6634	16	1.6632
0	2	1	5.368	14	5.382	1	4	0	2.515	35	2.515	2	6	0	1.5980	4	1.5979
1	1	2	4.991	1	4.988	0	5	1	2.2827	1	2.2781	3	5	3	1.5641	2	1.5643
0	1	3	4.602	10	4.606	1	4	3	2.2451	1	2.2487	1	7	0	1.5281	3	1.5263
0	2	2	4.570	11	4.577	3	3	0	2.2176	32	2.2176	1	7	1	1.5191	1	1.5185
1	2	1	4.174	22	4.184	1	2	6	2.1759	2	2.1763	4	5	0	1.4753	2	1.4754
0	3	0	3.832	68	3.841	3	3	2	2.1256	4	2.1274	3	3	8	1.4375	2	1.4360
0	0	4	3.764	28	3.769	0	1	7	2.1169	3	2.1169	4	5	3	1.4157	2	1.4156
0	1	4	3.579	12	3.582	0	5	3	2.0947	4	2.0948	4	4	6	1.3859	1	1.3869
0	3	2	3.425	5	3.422	1	5	1	2.0498	1	2.0503	4	5	4	1.3753	1	1.3738
2	2	0	3.321	56	3.326	1	5	2	1.9957	2	1.9957	2	5	8	1.3182	1	1.3184
1	2	3	3.286	7	3.291	0	5	4	1.9665	5	1.9661	1	5	9	1.3020	1	1.3020
1	3	0	3.191	15	3.196	0	0	8	1.8851	2	1.8844	3	7	0	1.2958	1	1.2964
0	2	4	3.151	12	3.154	0	6	2	1.8617	1	1.8610	0	9	0	1.2809	4	1.2803
1	3	1	3.131	16	3.126	2	5	0	1.8431	6	1.8451	4	6	3	1.2790	7	1.2783
2	2	2	3.049	2	3.043	1	5	4	1.8141	3	1.8141	1	8	4	1.2692	1	1.2698

1998). Při studiu jeho chemického složení (tab. 19) byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Mg, Sr, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec erionitu-K z Jehly (průměr pěti bodových analýz) je na bázi 72 kyslíků možno vyjádřit jako $K_{5.41}Na_{0.07}Ca_{2.82}Mg_{0.16}Sr_{0.17}(Al_{9.25}Si_{26.09})O_{72} \cdot 30H_2O$. Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.74$ erionitu-K z Jehly se nachází při spodní hranici rozmezí uváděného pro erionit-K (0.74 - 0.79) (Coombs et al. 1997). Tak jako u chabazitu-Ca a lévynu-Ca byl v erionitu-K zjištěný zvýšený obsah Sr, který dosahuje 0.17 *apfu*. Obdobně zvýšený obsah Sr (0.168 *apfu*) byl zjištěn pouze u erionitu-Ca z italské lokality Montecchio Maggiore (Passaglia et al. 1998). Oproti tomu obsah Mg, který u erionitu-K z Jehly dosahuje 0.16 *apfu*, je u řady analyzovaných erionitů ze světových lokalit obvyklý (Tschernich 1992; Deer et al. 2004).

Heulandit-Ca

Obecně běžným zeolitem, který se však v neovulkanitech Lužických hor i Českého středohoří vyskytuje v poměrně omezeném množství, je heulandit-Ca. Na Jehle byl zjištěn v tefritovém aglutinátu, při kontaktu s trachybazaltem. V této hornině bývá často dominantním zeolitem. V sousedním trachybazaltu je pak vzácný. Heulandit-Ca většinou samostatně porůstá členité dutiny o velikosti do 3 cm, někdy se objevuje i na trhlinách hornin. Výjimečně je přítomen v dutinách společně se stilbitem-Ca, chabazitem-Ca a velmi vzácně i s phillipsitem-Ca. Čiré, až 3 mm velké krystaly heulanditu-Ca vynikají svým výrazným perleťovým a skelným leskem; často bývají dokonale čisté. Jednotlivé krystaly jsou většinou tlustě tabulkovité s nejvýraznější pozorovatelnými

Tabulka 18 Parametry základní cely erionitu-K (pro hexagonální prostorovou grupu $P6_3/mmc$)

	tato práce	Pauliš et al. (2014c)	Gualtieri et al. (1998)
a [Å]	13.306(6)	13.305(9)	13.304(1)
c [Å]	15.0751(3)	15.0494(2)	15.078(2)
V [Å ³]	2311(1)	2307(2)	2311.21

Tabulka 19 Chemické složení erionitu-K z Jehly u České Kamenice (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5
SiO ₂	56.32	55.50	55.30	55.47	56.42	58.91
Al ₂ O ₃	17.01	16.47	16.50	16.63	17.45	18.02
CaO	5.68	5.50	5.42	5.83	5.79	5.87
MgO	0.24	0.24	0.25	0.19	0.27	0.26
SrO	0.63	0.56	0.47	0.68	0.69	0.75
Na ₂ O	0.08	0.09	0.05	0.09	0.08	0.11
K ₂ O	9.17	10.12	10.54	9.94	9.61	5.66
H ₂ O	16.71	16.95	16.98	16.90	16.51	16.18
Total	105.84	105.43	105.51	105.73	106.82	105.76
Si ⁴⁺	26.086	26.078	26.026	25.985	25.811	26.425
Al ³⁺	9.287	9.122	9.153	9.182	9.409	9.528
Ca ²⁺	2.819	2.770	2.732	2.927	2.837	2.822
Mg ²⁺	0.164	0.167	0.175	0.132	0.184	0.175
Sr ²⁺	0.170	0.152	0.127	0.186	0.184	0.194
Na ⁺	0.072	0.045	0.045	0.084	0.072	0.097
K ⁺	5.416	6.064	6.328	5.939	5.608	3.240
ΣCa+Mg+Sr+K+Na	8.642	9.198	9.407	9.269	8.884	6.528
H ₂ O	30	30	30	30	30	30
Si/Al	2.81	2.86	2.84	2.83	2.74	2.77
T _{Si}	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 72 kyslíků. H₂O bylo do počítáno na základě teoretického obsahu 30 H₂O.

Tabulka 20 Rentgenová prášková data heulanditu-Ca z Jehly

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>l</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>l</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>l</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
0	2	0	8.903	100	8.975	-4	0	2	3.387	4	3.396	-8	4	1	1.9731	<1	1.9711
2	0	0	7.881	<1	7.986	-4	2	2	3.168	<1	3.177	4	8	0	1.9571	<1	1.9561
-2	0	1	6.763	<1	6.793	-3	3	2	3.119	<1	3.108	-2	8	2	1.9205	2	1.9208
1	3	0	5.564	<1	5.603	3	5	0	2.980	<1	2.977	3	9	0	1.8690	<1	1.8677
0	2	1	5.313	<1	5.362	-6	0	1	2.959	<1	2.957	-4	0	4	1.8596	<1	1.8582
-3	1	1	5.233	<1	5.257	2	6	0	2.792	<1	2.801	-2	2	4	1.7657	<1	1.7664
3	1	0	5.091	<1	5.104	0	6	1	2.729	1	2.731	-5	7	3	1.7444	<1	1.7446
-1	3	1	4.636	1	4.661	-4	4	2	2.719	1	2.708	-5	5	4	1.6444	<1	1.6446
0	4	0	4.466	1	4.487	-6	0	0	2.662	<1	2.662	9	5	0	1.5904	<1	1.5910
-3	3	1	4.045	<1	4.048	-3	5	2	2.564	<1	2.555	1	11	1	1.5624	<1	1.5617
3	3	0	3.968	1	3.977	-5	5	1	2.523	<1	2.524	-1	9	3	1.5214	<1	1.5213
-4	2	1	3.945	1	3.930	-2	0	3	2.4383	<1	2.4407	8	8	0	1.4920	1	1.4916
2	4	0	3.889	1	3.912	3	1	2	2.3801	<1	2.3771	6	2	3	1.4112	<1	1.4111
0	4	1	3.732	<1	3.726	5	3	1	2.3020	<1	2.2988	7	9	1	1.3820	<1	1.3826
-3	1	2	3.551	<1	3.564	0	6	2	2.2358	1	2.2293	-10	4	5	1.3007	<1	1.3003
-5	1	1	3.488	<1	3.481	-8	2	2	2.1233	<1	2.1237	-5	13	1	1.2870	<1	1.2868
3	1	1	3.416	<1	3.424	-6	4	3	2.0187	<1	2.0215						

Tabulka 21 Parametry základní cely heulanditu-Ca (pro monoklinickou prostorovou grupu C2/m)

	tato práce	Galli et al. (1983)
a [Å]	17.760(2)	17.767(7)
b [Å]	17.950(4)	17.9580(70)
c [Å]	7.435(6)	7.431(1)
β [°]	115.93(7)	115.93(2)
V[Å ³]	2131.5(4)	2132.25

Tabulka 22 Chemické složení heulanditu-Ca z Jehly u České Kamenice (hm. %)

	mean	1	2	3
SiO ₂	64.77	65.63	62.61	66.07
Al ₂ O ₃	14.91	14.75	15.32	14.67
CaO	6.40	6.47	6.77	5.96
BaO	0.15	0.16	0.21	0.07
SrO	0.65	0.63	0.74	0.58
Na ₂ O	0.11	0.11	0.09	0.13
K ₂ O	2.27	2.12	2.03	2.65
H ₂ O	16.47	16.61	16.14	16.66
Total	105.73	106.48	103.91	106.79
Si ⁴⁺	28.307	28.438	27.920	28.548
Al ³⁺	7.678	7.535	8.054	7.469
Ca ²⁺	2.996	3.004	3.234	2.759
Ba ²⁺	0.026	0.026	0.037	0.013
Sr ²⁺	0.165	0.159	0.190	0.145
Na ⁺	0.095	0.095	0.080	0.109
K ⁺	1.266	1.172	1.152	1.458
Σ Ca+Ba+Sr+K+Na	4.548	4.456	4.693	4.484
H ₂ O	24	24	24	24
Si/Al	3.69	3.77	3.47	3.82
T _{Si}	0.79	0.79	0.78	0.79

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 72 kyslíků. H₂O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 24 H₂O.

plochami (010) a často do prostoru vystupující plochou (100) (obr. 25 - 26). Ojedinele byly nalezeny i tenké tabulkovité krystaly či drobné srostlice prizmatických krystalů kosočtverečného průřezu. Zajímavé jsou jeho drobné krystaly, které byly nalezeny v lemech křídových xenolitů.

Rentgenová prášková data heulanditu-Ca z Jehly (tab. 20) jsou blízka datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry (tab. 21) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit (Galli et al. 1983).

Při studiu jeho chemického složení (tab. 22) byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Ba, Sr, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec heulanditu-Ca z Jehly (průměr tří bodových analýz) je na bázi 72 kyslíků možno vyjádřit jako K_{1,27}Na_{0,09}Ca_{3,00}Ba_{0,03}Sr_{0,17}(Al_{7,68}Si_{28,31})O₇₂·24H₂O. Hodnota T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.79 heulanditu-Ca z Jehly se nachází při horní hranici rozmezí publikovaného pro tento minerální druh (<0.80) (Coombs et al. 1997). Tak jako u některých dalších místních zeolitů byl v heulanditu zjištěn zvýšený obsah Sr, který dosahuje 0.16 apfu. Vyšší obsahy Sr, ale i Ba jsou u heulanditů-Ca poměrně běžné. Heulandit-Ca z Kozákova obsahoval 0.245 apfu Ba (Černý, Povondra 1969), z Campegli v Itálii byl dokonce popsán heulandit-Sr, u něhož dosahuje obsah Sr 2.101 apfu (Lucchetti et al. 1982).

Stilbit-Ca

Zajímavým zeolitem lokality je stilbit-Ca, který sice patří obecně k nejběžnějším zeolitům, v oblasti Lužických hor a Českého středohoří však patří k vzácnostem. Údaje ve staré literatuře, které se o stilbitu zmiňují, jsou většinou založeny na jejich chybné identifikaci. Jediný, autorům známý, vzorek stilbitu je ve sbírkách Národního muzea v Praze (inv. č. P1N 24005), který je lokalizován do České Kamenice. Jde o vzorek, který pochází původně ze sbírky F. X. Zippeho, tvořený dutinou vyplněnou krystalovaným stilbitem a chabazitem (obr. 27). Na základě dlouhodobého průzkumu v okolí tohoto města se autoři domnívají, že tento vzorek s velkou pravděpodobností pochází právě z Jehly. Na lokalitě patří stilbit-Ca co do hojnosti do středu spektra rozšíření zeolitových druhů. Nejčastěji se vyskytuje samostatně ve členitých dutinách až o velikosti do 3 cm a na trhlínách tefritového aglutinátu. V menší míře ho doprovází heulandit-Ca. Vzácněji se objevuje v trachybazaltu společně s chabazitem-Ca, kde nasedá na erionit-K.

Krystaly stilbitu-Ca mají nejčastěji tvar jednoduchých hranolovitých lišt zakončených bází či bází v kombinaci s malými trojúhelníkovitými plochami (111); tvoří také hrubě paprscité agregáty o velikosti do 5 mm. V hornině se vyskytují i mandle zcela vyplněné radiálně paprscitým stilbitem-Ca, několikrát byly též nalezeny až 2 mm velké téměř hladké polokulovité agregáty. Čiré krystaly se vyznačují výrazným skelným leskem, většinou jsou však nažloutle až oranžově zbarveny zčásti vlivem povrchového povlaku oxidů Fe³⁺ (obr. 28). Jeho drobné krystaly se též vyskytly spolu s heulanditem-Ca v lemech křídových xe-



Obr. 25 Heulandit-Ca z Jehly, velikost dutiny je 2 cm, foto P. Fuchs.

nolitů. Stilbit-Ca asociující s chabazitem-Ca se často vyskytuje v sousedství drobných dutin s erionitem-K a tschernichitem. Jehlu je možné v současnosti považovat za jediné potvrzené naleziště stilbitu-Ca v Českém středohoří a Lužických horách.

Rentgenová prášková data stilbitu-Ca z Jehly (tab. 23) jsou blízka datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry (tab. 24) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit.

Při studiu jeho chemického složení (tab. 25) byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec stilbitu-Ca z Jehly (průměr tří bodových analýz) je na bázi 72 kyslíků možno vyjádřit jako $\text{Ca}_{5.39}\text{Na}_{0.06}\text{K}_{0.21}(\text{Al}_{8.66}\text{Si}_{26.74})\text{O}_{72}\cdot 28\text{H}_2\text{O}$. Hodnota $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.76$ stilbitu-Ca z Jehly se nachází při horním rozmezí stilbitu (0.71- 0.78) (Coombs et al. 1997).



Obr. 26 Heulandit-Ca z Jehly, maximální velikost krystalů je 2 mm, foto P. Fuchs.

Obr. 27 Stilbit-Ca s chabazitem z Jehly ze sbírek Národního muzea v Praze (inv. č. P1N 24005); velikost vzorku 6 × 4 cm, foto D. Velebil.



Tabulka 23 Rentgenová prášková data stilbitu-Ca z Jehly

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
-1	1	1	9.389	<1	9.350	3	1	1	2.761	1	2.750	-2	6	5	1.7377	<1	1.7387
0	2	0	9.081	100	9.114	2	0	2	2.698	<1	2.703	-2	10	2	1.7273	<1	1.7285
0	0	1	8.864	2	8.884	-4	2	4	2.606	<1	2.609	1	5	4	1.7213	<1	1.7196
0	2	1	6.350	<1	6.362	2	2	2	2.591	<1	2.592	-2	2	6	1.6978	<1	1.6950
-2	0	2	5.426	<1	5.446	-3	3	4	2.555	<1	2.557	-3	5	6	1.6302	<1	1.6282
-2	0	0	5.388	<1	5.376	3	3	1	2.529	<1	2.529	-4	6	6	1.5926	<1	1.5941
1	3	0	5.277	<1	5.290	0	6	2	2.508	<1	2.508	0	8	4	1.5901	<1	1.5904
1	1	1	5.203	<1	5.183	1	5	2	2.5006	<1	2.4972	-6	8	4	1.5874	<1	1.5863
2	2	0	4.634	2	4.630	0	4	3	2.4866	<1	2.4831	-6	6	6	1.5571	<1	1.5583
0	4	0	4.543	2	4.557	1	7	1	2.3474	<1	2.3461	-7	7	3	1.5534	<1	1.5529
0	0	2	4.476	<1	4.442	-2	4	4	2.3395	<1	2.3418	-3	11	1	1.5507	<1	1.5504
-3	1	1	4.256	1	4.269	-1	3	4	2.3133	<1	2.3131	2	8	3	1.5454	<1	1.5456
1	3	1	4.044	13	4.039	-6	2	3	2.2049	<1	2.2061	-5	7	6	1.5191	<1	1.5194
0	2	2	3.994	1	3.993	-4	6	3	2.2017	<1	2.2027	2	0	5	1.4417	<1	1.4429
-1	1	3	3.387	2	3.390	-5	5	2	2.1642	<1	2.1653	0	12	2	1.4379	<1	1.4373
0	4	2	3.178	1	3.181	-3	7	3	2.1185	<1	2.1160	-7	7	6	1.4333	<1	1.4343
-4	0	1	3.169	1	3.170	-3	3	5	2.0906	<1	2.0927	6	0	2	1.3898	<1	1.3910
3	3	0	3.093	<1	3.087	1	7	2	2.0734	<1	2.0735	-9	5	3	1.3583	<1	1.3584
-1	5	2	3.034	5	3.032	-1	5	4	2.0621	<1	2.0626	1	1	6	1.3551	<1	1.3544
1	5	1	3.023	4	3.023	-4	6	4	2.0274	<1	2.0276	-7	7	7	1.3354	<1	1.3357
-4	2	1	2.994	2	2.994	-4	4	5	2.0161	<1	2.0182	-7	9	1	1.3022	<1	1.3017
0	0	3	2.970	<1	2.961	1	9	1	1.8968	<1	1.8966	-1	13	3	1.2990	<1	1.2990
0	6	1	2.873	1	2.875	-6	6	3	1.8223	6	1.8203	-6	6	8	1.2788	<1	1.2784
-2	6	1	2.771	2	2.775	-6	0	6	1.8148	1	1.8152	-1	5	7	1.2751	<1	1.2757



Obr. 28 Stilbit-Ca z Jehly, maximální velikost krystalů je 2 mm, foto P. Fuchs.

Tabulka 24 Parametry základní cely stilbitu-Ca (pro monoklinickou prostorovou grupu C2/m)

	tato práce	Galli (1971)	Pauliš et al. (2014d)
a [Å]	13.644(4)	13.64(3)	13.640(2)
b [Å]	18.229(5)	18.24(4)	18.238(2)
c [Å]	11.274(2)	11.27(2)	11.271(1)
β [°]	128.0(3)	128.00(25)	128.00(5)
V [Å ³]	2209.5(1)	2209.51	2209.4(4)

Tabulka 25 Chemické složení stilbitu-Ca z Jehly u České Kamenice (hm. %)

	mean	1	2	3
SiO ₂	56.39	56.44	56.23	56.50
Al ₂ O ₃	15.50	15.48	15.59	15.44
CaO	10.60	10.45	10.56	10.78
Na ₂ O	0.06	0.04	0.05	0.08
K ₂ O	0.35	0.34	0.35	0.37
H ₂ O	17.70	17.69	17.68	17.74
Total	100.60	100.44	100.46	100.91
Si ⁴⁺	26.743	26.789	26.704	26.736
Al ³⁺	8.663	8.659	8.726	8.610
Ca ²⁺	5.386	5.313	5.373	5.465
Na ⁺	0.057	0.034	0.046	0.074
K ⁺	0.211	0.205	0.211	0.222
Σ Ca+K+Na	5.654	5.552	5.630	5.761
H ₂ O	28	28	28	28
Si/Al	3.09	3.04	3.06	3.11
T _{Si}	0.76	0.76	0.75	0.76

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 72 kyslíků. H₂O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 28 H₂O.

Phillipsit-Ca

Poměrně hojný phillipsit-Ca se vyskytuje především v až 3 cm velkých dutinách olivinického bazaltoidu, vzácněji v trachybazaltu. Nejčastěji jsou přítomny jeho drobné křížové srostlice, jejichž velikost dosahuje 2 mm (obr. 29 - 30). Tyto srostlice tvoří buď samostatné výplně dutin nebo asociují s chabazitem-Ca, thomsonitem-Ca a gismondinem, se kterým též tvoří zákonité srůsty. Vytváří rovněž číré hemisférické agregáty o velikosti do 5 mm. Ojedinele narůstá v trachybazaltu na heulandit-Ca. Nejzajímavější je phillipsit-Ca, jehož drobné, kolem 1 mm, výjimečně do 3 mm velké číré krystaly narůstají na polokulovité agregáty garronitu-Ca. Právě u větších exemplářů lze pozorovat netradiční tvar krystalů, které mají habitus výrazně skosené dipyramidy.



Obr. 29 Phillipsit-Ca z Jehly, velikost srostlice krystalů je 2 mm, foto P. Fuchs.



Obr. 30 Phillipsit-Ca z Jehly, velikost srostlice krystalů je 2 mm, foto P. Fuchs.

Rentgenová prášková data phillipsitu-Ca z Jehly (tab. 26) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry (tab. 27) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit.

Při studiu jeho chemického složení (tab. 28) byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Ba, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Jedná se o poměrně čistý philli-

psit v phillipsit-harmotomové řadě, zjištěný obsah Ba dosahuje pouze 0.09 *apfu*. Empirický vzorec phillipsitu-Ca z Jehly (průměr pěti bodových analýz) je na bázi 32 kyslíků možno vyjádřit jako $\text{Ca}_{2.23}\text{Na}_{0.27}\text{K}_{0.52}\text{Ba}_{0.09}(\text{Al}_{5.78}\text{Si}_{10.31})\text{O}_{32} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Hodnota $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.64$ phillipsitu-Ca z Jehly se nachází ve střední části rozmezí uváděného pro tento minerální druh (0.57 - 0.74) (Coombs et al. 1997).

Tabulka 26 Rentgenová prášková data phillipsitu-Ca z Jehly

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>
-1	0	0	8.106	3	8.137	-2	3	3	2.4363	<1	2.4350	-3	5	4	1.6839	1	1.6833
0	0	1	7.116	100	7.134	0	0	3	2.3829	3	2.3880	0	7	2	1.6794	1	1.6805
0	1	1	6.371	4	6.309	1	3	2	2.3343	1	2.3373	2	5	2	1.6731	<1	1.6718
-2	0	1	4.940	16	4.962	-4	2	2	2.3278	1	2.3248	-6	0	4	1.6140	<1	1.6134
-2	1	1	4.663	<1	4.650	-4	1	1	2.3046	<1	2.3049	-4	3	5	1.6088	<1	1.6081
1	0	1	4.284	3	4.294	0	2	3	2.2504	1	2.2479	-6	1	2	1.5986	<1	1.5979
-1	1	2	4.112	12	4.103	2	5	0	2.2262	1	2.2288	-2	7	3	1.5947	<1	1.5930
-2	0	2	4.095	22	4.089	3	0	1	2.1596	1	2.1599	2	7	1	1.5899	<1	1.5905
-2	0	0	4.056	6	4.068	-2	1	4	2.1280	1	2.1287	-6	2	4	1.5687	<1	1.5681
-2	1	2	3.913	1	3.909	-4	3	3	2.0744	<1	2.0758	2	6	2	1.5427	1	1.5434
0	1	2	3.463	2	3.459	-3	5	1	2.0508	1	2.0524	-1	2	5	1.5319	<1	1.5311
0	4	0	3.336	<1	3.330	-4	0	0	2.0403	1	2.0342	-6	3	4	1.5157	<1	1.5164
-3	0	1	3.214	10	3.219	1	0	3	2.0018	<1	2.0024	-6	0	5	1.5049	<1	1.5047
0	2	2	3.173	20	3.155	1	1	3	1.9780	1	1.9802	-6	1	5	1.4935	<1	1.4952
-3	1	2	3.138	18	3.136	1	6	1	1.9711	2	1.9722	-1	3	5	1.4830	1	1.4829
-3	1	1	3.135	22	3.129	2	5	1	1.9602	1	1.9609	-6	2	5	1.4665	1	1.4677
1	4	0	3.080	1	3.082	-5	1	2	1.9440	<1	1.9434	-6	4	4	1.4531	<1	1.4520
0	4	1	3.029	<1	3.020	1	7	0	1.8509	<1	1.8530	-2	8	3	1.4458	<1	1.4455
-2	1	3	2.844	<1	2.845	-3	6	1	1.8267	1	1.8276	-3	0	6	1.4373	1	1.4376
1	0	2	2.749	5	2.749	-4	5	2	1.8157	1	1.8156	3	7	1	1.4279	<1	1.4279
-1	1	3	2.701	7	2.700	-2	4	4	1.8110	1	1.8101	-1	4	5	1.4232	<1	1.4225
1	1	2	2.691	8	2.692	0	0	4	1.7877	27	1.7910	-7	1	4	1.4031	<1	1.4036
-2	2	3	2.670	7	2.668	0	5	3	1.7776	3	1.7782	-4	8	2	1.3831	<1	1.3826
-1	4	2	2.642	1	2.636	-5	2	4	1.7682	2	1.7703	-6	5	2	1.3777	1	1.3776
1	2	2	2.538	1	2.541	-4	4	4	1.7422	<1	1.7425	-6	4	5	1.3709	1	1.3712
1	5	0	2.527	1	2.532	-1	4	4	1.7187	1	1.7189	0	9	2	1.3672	<1	1.3679
-3	2	3	2.520	2	2.523	-4	1	5	1.7118	2	1.7109	5	3	1	1.3538	<1	1.3533
-4	0	2	2.4731	1	2.4808	4	1	1	1.7052	<1	1.7016	-7	1	2	1.3498	<1	1.3500

Tabulka 30 Parametry základní cely gismondinu (pro monoklinickou prostorovou grupu $P2_1/c$)

	tato práce	Rinaldi, Vezzalini (1985)	Pauliš et al. (2014b)
a [Å]	10.019(5)	10.0197(7)	10.021(2)
b [Å]	10.639(4)	10.6347(7)	10.630(3)
c [Å]	9.832(4)	9.8323(5)	9.828(3)
β [°]	92.54(4)	92.511(7)	92.51
V [Å ³]	1045(8)	1046.69	1045.8(5)

Tabulka 31 Chemické složení gismondinu z Jehly u České Kamenice (hm. %)

	mean	1	2	3
SiO ₂	42.09	42.05	41.99	42.22
Al ₂ O ₃	29.93	29.62	30.27	29.90
CaO	15.45	15.16	15.46	15.74
Na ₂ O	0.69	0.70	0.74	0.63
K ₂ O	0.10	0.10	0.10	0.11
H ₂ O	14.02	14.11	13.98	13.98
Total	102.28	101.74	102.54	102.58
Si ⁴⁺	4.362	4.384	4.339	4.363
Al ³⁺	3.656	3.640	3.686	3.641
Ca ²⁺	1.716	1.693	1.712	1.743
Na ⁺	0.138	0.142	0.148	0.127
K ⁺	0.014	0.014	0.014	0.015
Σ Ca+K+Na	1.868	1.849	1.874	1.885
H ₂ O	8	8	8	8
Si/Al	1.19	1.20	1.18	1.20
T _{Si}	0.54	0.54	0.54	0.54

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 16 kyslíků. H₂O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 8 H₂O.

Tabulka 32 Rentgenová prášková data cowlesitu z Jehly

h	k	l	d_{obs}	l_{obs}	d_{calc}
0	1	0	15.229	100	15.198
0	2	0	7.630	4	7.599
1	0	2	5.583	2	5.522
0	3	0	5.087	2	5.066
2	2	1	4.246	1	4.293
1	1	3	3.817	3	3.820
3	2	0	3.420	7	3.404
2	4	0	3.166	1	3.163
2	4	1	3.060	2	3.068
0	5	1	2.955	2	2.955
0	2	4	2.512	1	2.513
1	0	5	2.4620	<1	2.4639

Tabulka 33 Parametry základní cely cowlesitu (pro ortorombickou prostorovou grupu $Pn\bar{c}n$)

	tato práce	Wise, Tschernich (1975)	Pauliš et al. (2014b)
a [Å]	11.42(5)	11.27(1)	11.267(7)
b [Å]	15.20(3)	15.25(1)	15.255(7)
c [Å]	12.62(3)	12.61(3)	11.992(8)
V [Å ³]	2190(1)	2062.41	2061(2)

Gismondin

Poměrně vzácným zeolitem lokality je gismondin, který se vyskytuje především v olivnickém bazaltoidu. Tvoří téměř vždy křídově bílé pseudotetragonální dipyramidální krystaly o velikosti kolem 1 mm a jejich až 3 mm velké srostlice. Objevuje se mezi krystaly chabazitu-Ca, také epitaxiálně srůstá s phillipsitem-Ca. Zajímavostí je ojedinělý nález dutiny o rozměrech 8 × 5 cm, kde gismondin tvoří 2 mm velké srostlice asociující s phillipsitem-Ca, chabazitem-Ca a thomsonitem-Ca. Nalezené vzorky jsou v různé míře poškozeny zvětrávacími procesy.

Rentgenová prášková data gismondinu z Jehly (tab. 29) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry (tab. 30) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit.

Při studiu jeho chemického složení (tab. 31) byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec gismondinu z Jehly (průměr tří bodových analýz) je na bázi 16 kyslíků možno vyjádřit jako Ca_{1.72}Na_{0.14}K_{0.01}(Al_{3.66}Si_{4.36})O₁₆ · 8H₂O. Hodnota T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.54 gismondinu z Jehly se nachází v horní části uváděného rozmezí (0.51 - 0.54) (Coombes et al. 1997).

Tabulka 34 Chemické složení cowlesitu z Jehly u České Kamenice (hm. %)

	mean	1	2	3	4
SiO ₂	48.58	48.24	48.09	48.49	49.48
Al ₂ O ₃	25.65	25.40	25.37	25.72	26.12
CaO	13.60	13.18	13.47	13.47	14.24
MgO	0.11	0.13	0.09	0.11	0.12
Na ₂ O	1.04	1.03	1.04	1.07	1.01
K ₂ O	0.05	0.11	0.02	0.02	0.05
H ₂ O	13.64	13.81	13.82	13.64	13.75
Total	102.67	101.90	101.90	102.54	104.77
Si ⁴⁺	3.061	3.077	3.070	3.054	3.057
Al ³⁺	1.905	1.909	1.909	1.910	1.902
Ca ²⁺	0.918	0.901	0.921	0.911	0.943
Mg ²⁺	0.010	0.012	0.008	0.010	0.011
Na ⁺	0.126	0.127	0.129	0.131	0.121
K ⁺	0.004	0.009	0.002	0.002	0.004
Σ Ca+Mg+K+Na	1.058	1.049	1.060	1.054	1.079
H ₂ O	5	5	5	5	5
Si/Al	1.61	1.61	1.61	1.60	1.61
T _{Si}	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 10 kyslíků. H₂O bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 5 H₂O.

Cowlesit

Vzácným zeolitem lokality je cowlesit, který byl zjištěn pouze v až 8 mm velkých dutinách olivinického bazaltoidu. Tvoří charakteristické, až 1 mm velké štětičkové agregáty s bělavým povrchem. Některé dutiny samostatně pokrývá, většinou ale nasedá na čirý analcim. Vzácně je doprovázen lévynem-Ca a erionitem-K.

Rentgenová prášková data cowlesitu z Jehly (tab. 32) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jeho zpřes-

něné parametry (tab. 33) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit.

Při studiu chemického složení cowlesitu (tab. 34) byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Mg, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Cowlesit z Jehly obsahuje zvýšenou příměs Na (0.126 *apfu*), která se však uplatňuje u většiny analyzovaných cowlesitů (např. Deer et al. 2004). Empirický vzorec cowlesitu z Jehly (průměr čtyř bodových analýz) je na bázi 10 kyslíků možno vyjádřit

Tabulka 35 Rentgenová prášková data thomsonitu-Ca z Jehly

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d_{obs}</i>	<i>I_{obs}</i>	<i>d_{calc}</i>
1	1	0	9.235	8	9.248	4	3	3	2.2519	12	2.2512	5	3	6	1.5738	7	1.5740
0	2	0	6.530	62	6.527	3	5	0	2.2409	9	2.2410	2	8	2	1.5405	1	1.5401
1	0	2	5.899	9	5.911	1	0	6	2.1771	79	2.1770	3	1	8	1.5373	2	1.5374
0	2	2	4.646	18	4.649	3	5	2	2.1226	6	2.1228	6	6	1	1.5307	<1	1.5309
2	2	0	4.621	100	4.624	2	1	6	2.0662	16	2.0657	5	7	0	1.5195	<1	1.5194
1	2	2	4.375	16	4.381	1	5	4	2.0242	1	2.0257	2	3	8	1.5060	1	1.5061
1	3	0	4.131	59	4.130	3	3	5	2.0079	1	2.0092	5	4	6	1.5002	1	1.4996
1	3	1	3.944	2	3.943	2	5	4	1.9570	12	1.9567	6	4	5	1.4968	1	1.4972
2	2	2	3.785	2	3.791	4	5	2	1.9504	2	1.9511	8	3	2	1.4930	1	1.4933
3	2	1	3.501	32	3.501	2	6	3	1.8696	1	1.8705	5	7	2	1.4807	2	1.4809
4	0	0	3.271	12	3.275	0	7	1	1.8483	1	1.8468	0	8	4	1.4634	12	1.4638
2	3	2	3.177	21	3.180	6	0	4	1.8250	3	1.8229	4	8	0	1.4608	10	1.4606
1	4	1	3.080	3	3.080	4	1	6	1.8133	21	1.8129	8	4	1	1.4552	2	1.4549
2	4	0	2.922	<1	2.921	6	4	1	1.7993	3	1.7980	4	8	2	1.4263	3	1.4263
1	4	2	2.856	56	2.857	2	6	4	1.7527	1	1.7522	1	6	7	1.4199	1	1.4194
3	3	2	2.792	7	2.795	0	7	3	1.7177	10	1.7180	5	6	5	1.4154	1	1.4151
2	4	2	2.674	<1	2.673	3	7	0	1.7153	15	1.7151	6	2	7	1.3965	<1	1.3969
4	1	3	2.579	8	2.579	3	2	7	1.6781	2	1.6780	5	1	8	1.3919	1	1.3917
1	5	1	2.513	1	2.514	2	5	6	1.6330	5	1.6326	7	6	2	1.3875	2	1.3874
3	4	2	2.4299	12	2.4317	5	6	2	1.6228	5	1.6229	8	5	1	1.3792	3	1.3798
4	4	0	2.3111	6	2.3119	8	1	1	1.6133	6	1.6128	5	8	2	1.3561	1	1.3559
5	2	2	2.2828	<1	2.2827	0	8	2	1.5845	6	1.5845						

Tabulka 36 Parametry základní cely thomsonitu-Ca (pro ortorombickou prostorovou grupu *Pncn*)

	tato práce	Stahl et al. (1990)	Pauliš et al. (2014c)
<i>a</i> [Å]	13.102(2)	13.1043(14)	13.104(2)
<i>b</i> [Å]	13.055(1)	13.0569(18)	13.056(1)
<i>c</i> [Å]	13.247(2)	13.2463(30)	13.247(2)
<i>V</i> [Å ³]	2265.7(5)	2266.46	2266.4(6)

Tabulka 37 Přehled nejbohatších zeolitových lokalit alkalických neovulkanitů České republiky

název lokality	počet druhů	zjištěné zeolity	
Jehla u České Kamenice	13	analcim, cowlesit, erionit-K, garronit-Ca, gismondin, heulandit-Ca, chabazit-Ca, lévyn-Ca, natrolit, phillipsit-Ca, stilbit-Ca, thomsonit-Ca, tschernichit	tato práce
Vinařická hora u Kladna	10	gismondin, gonnardit, harmotom, chabazit, natrolit, offretit, paulingit-Ca, paulingit-K, phillipsit, thomsonit	Pauliš et al. (2014a)
Hackenberg u České Kamenice	9	analcim, cowlesit, erionit-Ca, gismondin, chabazit-Ca, lévyn-Ca, natrolit, phillipsit-K, thomsonit-Ca	Pauliš et al. (2014b)
Malá Hůrka u České Kamenice	9	analcim, cowlesit, gismondin, chabazit, lévyn, natrolit, offretit, phillipsit, thomsonit	Janeček, Hrůzek (2009)
Mariánská hora v Ústí nad Labem	9	analcim, gismondin, gonnardit, chabazit, mezolit, natrolit, phillipsit-Ca, skolecit, thomsonit	Pauliš et al. (2014a)

jako $\text{Ca}_{0.91}\text{Mg}_{0.01}\text{Na}_{0.13}(\text{Al}_{1.91}\text{Si}_{3.06})\text{O}_{10}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Hodnota $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.62$ cowlesitu z Jehly se nachází při horní hranici rozmezí publikovaného pro tento minerální druh (0.60-0.62) (Coombs et al. 1997).

Thomsonit-Ca

Velmi vzácně byl na lokalitě zjištěn thomsonit-Ca, který se tu vyskytuje pouze v olivinickém bazaltoidu. V až 8 cm velkých dutinách provází chabazit-Ca, phillipsit-Ca a gismondin. Tvoří až 5 mm velké bělavé, radiálně paprscité agregáty, které mají jemně lištovitý povrch. Jeho rentgenová prášková data (tab. 35) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jeho zprůměrované parametry (tab. 36) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit. Chemické složení thomsonitu-Ca (průměr tří bodových EDX-analýz na naleštěném zru) přepočtené na teoretický obsah H_2O (13 hm. %): 3.6 Na_2O ; 14.1 CaO ; 30.5 Al_2O_3 a 38.8 SiO_2 hm. % je blízké teoretické hodnotě pro tuto minerální fázi.

Další zjištěné minerály

Pouze v čedičové hornině výchozu severovýchodního vrcholu Jehly se vyskytoval **natrolit**. Hibschi (1934) odtud popsal srůsty natrolitu a mezolitu. Natrolit v podobě až 5 mm dlouhých bělavých jehlicovitých krystalů vyplňuje až 5 cm velké dutiny. V současnosti se tu v nevelkém skalním výchozu vyskytují pouze vzorky dokumentační kvality.

Nejmladším minerálem dutin a současně nejhojnějším je **kalцит**, který provází všechny zeolity ve všech typech hornin. Někdy vyplňuje celé dutiny. Tvoří též čiré sklenoedrické krystaly až 5 mm velké, které často narůstají na zeolity.

Zajímavostí lokality jsou velmi drobné krystaly **křemene**, které rozměrově nepřesahují 1 mm. Vzácně se vyskytují v tefritovém aglutinátu a ojedinele doprovázejí zeolity. Na jednom vzorku provázejí tschernichit a erionit-K.

Závěr

Vrch Jehla u České Kamenice je jedním z řady historických zeolitových nalezišť, která byla do nedávna považována za zaniklá. Výsledky nového mineralogického výzkumu této lokality však překvapily řadou nových objevů. Nově tu bylo zjištěno 13 zeolitových druhů, z nichž k nejzajímavějším patří především objev vzácného tschernichitu a garronitu-Ca, které dosud nebyly na území ČR nalezeny. Po provedených mineralogických výzkumech lze konstatovat, že tento výskyt je co do počtu zjištěných druhů (tab. 37) nejbohatší zeolitovou lokalitou neovulkanitů České republiky.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za spolupráci při laboratorním studiu R. Škodovi (Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita Brno), za kvalitní fotografie P. Fuchsovi, B. Ekrtovi a D. Velebilovi za dohledání a fotografii stíbitu z České Kamenice ze sbírek Národního muzea v Praze. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci projektu NAKI -DF12P010VV021.

Literatura

- Alberti A., Cruciani G., Galli E., Merlino S., Millini R., Quartieri S., Vezzalini G., Zanardi S. (2002) Crystal structure of tetragonal and monoclinic polytypes of tschernichite, the natural counterpart of synthetic zeolite beta. *J. Phys. Chem. B* 106, 10277-10284.
- Artoli G. (1992) The crystal structure of garronite. *Am. Mineral.* 77, 189-196.
- Boggs R. C., Howard D. G., Smith J. V., Klein G. L. (1993) Tschernichit, a new zeolite from Goble, Columbia County, Oregon. *Am. Mineral.* 78, 822-826.
- Coombs D. S., Alberti A., Armbruster T., Artoli G., Colella C., Galli E., Grice J. D., Liebau F., Mandarino J. A., Minato H., Nickel E. H., Passaglia E., Peacor D. R., Quartieri S., Rinaldi R., Ross M., Sheppard R. A., Tillmanns E., Vezzalini G. (1997) Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names. *Can. Mineral.* 35, 1571-1606.
- Černý P., Povondra P. (1969) A polycationic, strontian heulandite; comments on crystal chemistry and classification of heulandite and clinoptilolite. *N. Jb. Mineral., Mh.* 249-361.
- Deer W. A., Howie R. A., Wise W. S., Zussman J. (2004) Rock-forming Minerals, Framework Silicates: Silica Minerals, Feldspathoids and the Zeolites. Vol. 4B. *The Geological Society London.*
- Fediuk F. (2000) Chemické složení terciérních vulkanitů v jv. části Šluknovského výběžku a jeho jižním předpolí, severní Čechy. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 10, 119-130.
- Galli E. (1971) Refinement of the crystal structure of stilbite. *Acta cryst. B* 24, 833-841.
- Galli E., Gottardi G., Mayer H., Preisinger A., Passaglia E. (1983) The structure of potassium-exchanged heulandite at 293, 373 and 593 K. *Acta cryst. B* 39, 189-197.
- Galli E., Quartieri S., Vezzalini G., Alberti A. (1995) Boggsite and tschernichite-type zeolites from Mt. Adamson, Northern Victoria Land (Antarctica). *Eur. J. Mineral.* 8, 687-693.
- Galli E., Rinaldi R., Modena C. (1981) Crystal chemistry of levynes. *Zeolites* 1, 157-160.
- Gatta G. D., Cappelletti P., Rotiroli N., Sledobnick C., Rinaldi R. (2009) New insights into the crystal structure and crystal chemistry of the zeolite phillipsite. *Am. Mineral.* 94, 190-199.
- Gatta G. D., Nestola F., Boffa Ballaran T. (2006) Elastic behavior, phase transition, and pressure induced structural evolution of analcime. *Am. Mineral.* 91, 568-578.
- Gottardi G. (1978) Mineralogy and crystal chemistry of zeolites. In Sand L. B., Mumpton F. A. Eds. *Natural Zeolites. Pergamon Press, 31-44. Oxford.*
- Gottardi G., Galli E. (1985) *Natural Zeolites. Springer-Verlag, Berlin.*
- Gualtieri A., Artoli G., Passaglia E., Bigi S., Viani A., Hanson J. C. (1998) Crystal structure - crystal chemistry relationships in the zeolites erionite and offretite. *Am. Mineral.* 83, 590-606.
- Hålenius U., Hatert F., Pasero M., Mills S. J. (2015) IMA Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification (CNMNC) Newsletter 26. New minerals and nomenclature modifications approved in 2015. *Mineral. Mag.* 79, 941-947.

- Hibsch J. E. (1934) Die Minerale des Böhmisches Mittelgebirges. 1-196, Verlag von Gustav Fischer, Jena.
- Janeček O., Hrůzek L. (2009) Zapomenutá lokalita Malá Hůrka u České Kamenice. *Minerál* 17, 3, 200-204.
- Kile D. E., Modreski P. J. (1988) Zeolites and related minerals from the Table Mountain lava flows near Golden, Colorado. *Mineral. Rec.* 19, 153-184.
- Kratochvíl J. (1960) Topografická mineralogie Čech. III (I-K). *Nakl. ČSAV, Praha*.
- Laugier J., Bochu B. (2011) LMGP-Suite of Programs for the Interpretation of X-ray Experiments. <http://www.ccp14.ac.uk/tutorial/lmgp>. přístup duben 2011.
- Lucchetti G., Massa B., Penco A. M. (1982) Strontian heulandite from Campegli (eastern Ligurian ophiolites, Italy). *N. Jb. Mineral., Mh.* 541-550.
- Merlino S., Galli E., Alberti A. (1975) The crystal structure of lévyne. *Tschermaks mineral. petrogr. Mitt.* 22, 117-129.
- Nawaz R. (1982) A chemical classification scheme for the gismondine group zeolites. *Irish Naturalist Journal* 20, 48-483.
- Passaglia E. (1972) Le zeoliti di Alberto Bassi (Vicenza). *Periodico di Mineralogia* 28, 237-243.
- Passaglia E., Artioli G., Gualtieri A. (1998) Crystal chemistry of the zeolites erionite and offretite. *Am. Mineral.* 83, 577-589.
- Pauliš P., Hrůzek L., Janeček O., Dvořák Z., Toman J., Svejkský J., Radoň M. (2014a) Nejzajímavější mineralogická naleziště Čech - zeolity a doprovodná mineralizace. *Kuttna, Kutná Hora*, 280 s.
- Pauliš P., Hrůzek L., Janeček O., Sejkora J., Malíková R. (2014b) 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., Sejkora J., Malíková R., Fediuk F. (2014c) Dachardit-Ca a doprovodná mineralizace z Doubice - Vápenky u Krásné Lípy (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 22, 1, 3-14.
- Pauliš P., Sejkora J., Novák F., Malíková R. (2014d) Harmotom a stilbit-Ca z ložiska polymetalických rud Křižanovice v Železných horách (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 22, 1, 68-73.
- Pongiluppi D. (1976) Offretite, garronite, and other zeolites from Central Massif, France. *Bull. Soc. fr. Mineral. Cristallogr.* 99, 322-327.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" ($\phi\rho Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (J. T. Armstrong, ed.). San Francisco Press, San Francisco, 104-106.
- Rinaldi R., Vezzalini G. (1985) Gismondin: the detailed x-ray structure refinement of two natural samplex. *Studies in Surface Science and Catalysis* 24, 481-492.
- Smith J. V., Pluth J. J., Boggs R. C., Howard D. G. (1991) Tschernichite, the mineral analogue of zeolite beta. *J. Chem. Soc., Chem. Communications* 1991, 363-364.
- Stahl K., Kvik A., Smith J. V. (1990) Thomsonite, a neutron diffraction study at 13K. *Acta cryst. C* 46, 1370-1373.
- Tschernich R. W. (1992) Zeolites of the world. *Geoscience Press, Phoenix*.
- Ulrych J., Rychlý R. (1981) Strontian chabazite from Řepečice, Bohemia. *Chem. Erde* 40, 68-71.
- Walker G. P. L. (1962) Garronite, a new zeolite, from Ireland and Iceland. *Mineral. Mag.* 33, 173-186.
- Wise W. S., Tschernich R. W. (1975) Cowlesite, a new Ca-Zeolite. *Am. Mineral.* 60, 951-956.
- Yakubovich O. V., Massa W., Gavrilenko P. G., Pekov I. V. (2005) Crystal structure of chabazite. *Kristallografiya* 50, 4, 595-604.
- Zepharovich v. V. (1859-1893) Mineralogisches Lexicon für das Kaiserthum Österreich. Band I-III. *Wilhelm Braumüller, Wien*, 1546 s.
- www.luzicke-hory.cz; přístup říjen 2015.
- www.mindat.org; přístup říjen 2015.