

Revize zeolitů v alpské paragenezi z historické lokality Oslavany (Česká republika)

Revision of zeolites in Alpine paragenesis from the historical locality Oslavany (Czech Republic)

JIŘÍ TOMAN^{1,2)*}, JIŘÍ SEJKORA³⁾ A STANISLAV HOUZAR¹⁾

¹⁾Mineralogicko-petrografické oddělení, Moravské zemské muzeum, Zelný trh 6, 659 37, Brno; *e-mail: jtoman@mzm.cz

²⁾Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37, Brno

³⁾Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00, Praha - Horní Počernice

TOMAN J., SEJKORA J., HOUZAR S. (2014) Revize zeolitů v alpské paragenezi z historické lokality Oslavany (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 22, 1, 46-55. ISSN 1211-0329.*

Abstract

Zeolite mineral association from historical locality of Oslavany, situated 25 km SW from Brno (Moravia, Czech Republic), and deposited in the collection of the Moravian Museum in Brno has been studied recently. The most common zeolites are white natrolite along with red-brown stilbite-Ca in radial aggregates, up to several centimeters in size. Analcime forms very small isometric grains or crystals and occurs along with prehnite as pseudomorphs after laumontite. The most interesting mineral in the association is heulandite-K ($K \leq 1.75 \text{ apfu}$), a very rare end-member of heulandite series in the world known only from a few localities. Heulandite-K was found as small grains of red-brown color with a pearly luster. Mineralization is developed on the fissures of amphibolite probably from the Svratka crystalline complex in the immediate overburden of the Olešnice unit, Moravicum. The accompanying minerals include prehnite, titanite, calcite and white quartz (rare amethyst). This alpine paragenesis is characterized by a high content of Ca and was formed at temperatures below 170°C. High activity of K (heulandite-K) in the early stage and high activity of Na (analcime, natrolite) in the later stage are accompanied by overall high activity of Ca (laumontite→prehnite→stilbite-Ca) during the entire process.

Key words: zeolites, amphibolite, analcime, heulandite-K, altered laumontite, natrolite, stilbite-Ca, prehnite, Svratka crystalline complex, Oslavany, Czech Republic.

Obdrženo: 7. 3. 2014; přijato: 11. 6. 2014

Úvod

Oslavany (25 km jz. od Brna) jsou širší mineralogické veřejnosti známé spíše jako lokalita minerálů hořících hald, málokdo již ví, že se jedná také o historicky významnou moravskou lokalitu minerálů ze skupiny zeolitů. Z blízkého okolí Oslavan je známo i několik dalších lokalit s výskytem zeolitů, jež měly svůj historický a regionální význam v rámci vývoje mineralogie na Moravě. Jedná se především o klasickou lokalitu Templštejn s nálezem prehnitu v asociaci s natrolitem, analcimem, chabazitem, phillipsitem, thomsonitem a harmotomem (Hruschka 1826; Hrazdil 2001), dále okolí Mohelna s výskytem natrolitu, analcimu, heulanditu a laumontitu (Kučera, Novotná 1927; Karásek 1996); Senorady, odkud je znám natrolit a skolecit (Kučera, Novotná 1927); nebo Hrubšice a Biskoupky, odkud byl popsán krystalovaný harmotom v desilikovaném pegmatitu (Černý, Povondra 1965) a drůzy natrolitu a analcimu v amfibolické hornině (Kruťa 1966).

První zmínka o nálezem zeolitů v amfibolitu z Oslavan je uvedena v díle Kučery a Novotné (1927), kteří popisují „netušeně bohaté naleziště zeolitů vázané na trhliny amfibolitu a poskytující povlaky bílého natrolitu, hnědého desminu (stilbitu) a červeného heulanditu, místy s analcimem a laumontitem, který je přeměněn na prehnit“. Další popis lokality uvádí ve svém obsáhlém díle „Moravské nerosty a jejich literatura“ Burkart (1953), ten také stručně

popisuje i místo nálezem zeolitů. To je podle výše zmíněného autora situováno na obou březích potoka Balinky v místech označovaných jako „V Hrbách“ (někdy „ve Hrbách“) a bylo objeveno při lámání kamene a stavebních úpravách v této lokalitě. Společně se zeolity ze z této lokality zmiňován i ametyst, titanit a prehnit (Kučera 1926; Burkart 1953). Výskyt amfibolitu v těchto místech není v novějších geologických mapách zaznamenán; drobné těleso je zakresleno pouze v historické mapě Suesse (1905) a poměrně dobře odpovídá popisu lokality ve zmíněném Burkartově díle.

Tato práce je zaměřena na podrobné studium vzorků zeolitů pocházejících z původních historických sběrů, které jsou uloženy ve sbírce Moravského zemského muzea v Brně. Při bližší prohlídce vzorků bylo zjištěno, že ze zde uchováno poměrně velké množství vzorků natrolitu (62 kusů). Dalšími hojně zastoupenými zeolity jsou stilbit (35 kusů), heulandit (16 kusů) a analcím (14 kusů). Ojedinělý je jeden vzorek uložený pod označením laumontit. Nejvíce vzorků bylo získáno ze sbírek B. Kučery a E. Burkarta, méně poté od významného brněnského sběratele G. Švancary a T. Kruti (původně také ze sbírky Kučery) a jeden vzorek od ředitele oslavanské školy V. Čapka. Jak vyplývá z údajů na některých etiketách, vzorky pocházejí ze 20. let 20. stol., přesněji z let 1925 (Burkart a Kučera) a 1926-1929 (Švancara). Na některých etiketách jsou

i upřesňující informace týkající se místa nálezu, např. u některých vzorků pocházejících ze sbírky G. Švancary je uvedena jako lokalita „lom ve dvorku pana Chytky“, v jednom případě také „Musilův dvůr“ a u vzorků sbíraných B. Kučerou je uveden, již výše zmíněný místní název „ve Hrbách“. Na základě těchto popisů a výše uvedené lokalizace v Burkartově díle se pravděpodobné místo bohatého historického výskytu zeolitů nacházelo v sz. části města v bezprostřední blízkosti dnešní Havířské ulice, cca 500 m sz. od zámku v Oslavanech (obr. 1).

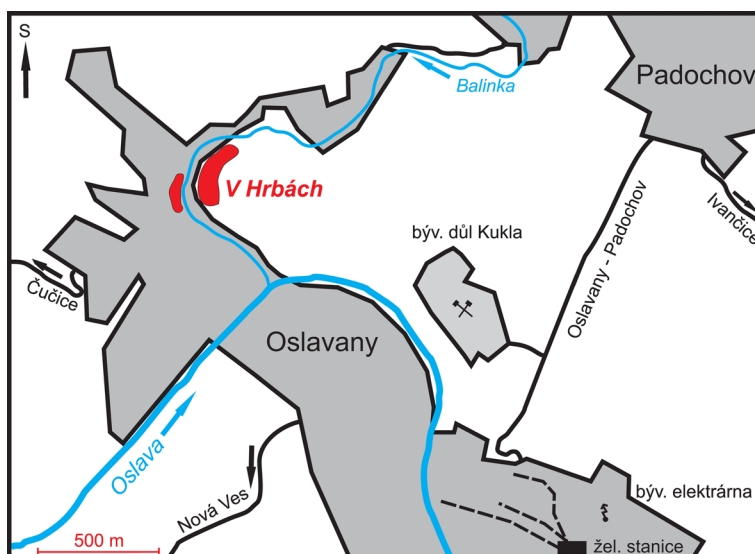
Při snaze autorů ověřit výše uvedenou skutečnost v terénu, bylo zjištěno, že ve vytipovaných místech je v současné době souvislá zástavba rodinných domků, jež znepřístupňuje možné výchozy. Lokalitu se nepodařilo lokalizovat přesně, pravděpodobně leží na soukromém pozemku a lze ji tedy považovat za nepřístupnou nebo zaniklou.

Metodika výzkumu

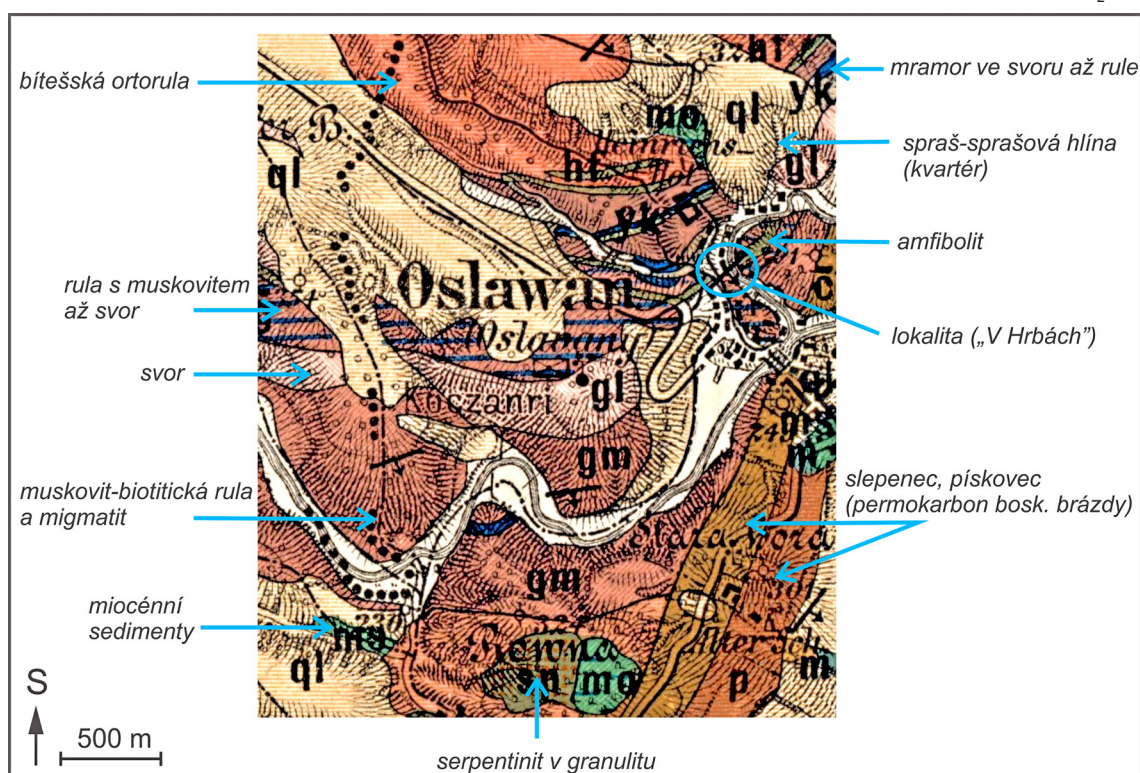
Ze vzorků uložených ve sbírce Moravského zemského muzea v Brně, byly po pečlivé prohlídce a porovnání vybrány reprezentativní vzorky, které byly podrobeny bližšímu studiu. Celkem byly vybrány tři vzorky označené jako natrolit (VZ1 - Burkart, č. 63, VZ2 - Švancara, č. 1706, VZ3 - Švancara, č. 1729), 2 vzorky označené jako stilbit (VZ4 - Burkart, č. 19301 a VZ5 - Kučera, č. 5440) a po jednom vzorku analcimu (VZ6 - Burkart, č. 18760), laumontitu (VZ7 - Kučera, č. 5137) a heulanditu (VZ8 - Burkart, č. 18767).

Chemické složení bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru CAMECA SX 100 na společném pracovišti Ústavu geologických věd, PŘF MU a ČGS v Brně (operátor R. Škoda) za podmínek: napětí

15 kV, proud 10 nA, průměr svazku elektronů 10 μm . Jako standardy byly použity dobře definované přírodní minerální fáze: wollastonit (Ca), albit (Na), sanidin (K), spessartin (Si, Al, Mn), pyrop (Mg), almandin (Fe), titanit (Ti), baryt (Ba), celestin (Sr), vanadinit (Cl) a topaz (F). Získaná data byla zpracována pomocí korekce PAP (Pouchou, Pichoir 1985). U každého vzorku bylo měřeno deset bodových analýz. Koeficienty empirického vzorce natrolitu byly vypočteny na bázi 10 kyslíků v bezvodé části vzorce a obsah vody byl dopočítán na 2 molekuly H_2O podle idealizovaného složení $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Coombs et al. 1997). Hodnoty empirického vzorce stilbitu-Ca byly vypočteny na bázi 72 kyslíků v bezvodé části vzorce a obsah vody byl dopočítán na 28 molekul H_2O , podle



Obr. 1 Topografická situace lokality zeolitů v Oslavanech, červeně vyznačeno pravděpodobné místo výskytu studovaných zeolitů v amfibolitech.



Obr. 2 Geologické poměry blízkého okolí Oslavan; upraveno podle Suesse (1905).

idealizovaného vzorce $(Ca_{0.5}, Na, K)_9[Al_9Si_{27}O_{72}] \cdot 28H_2O$ (Coombs et al. 1997). Hodnoty v empirickém vzorci analcimu byly zjištěny přepočtem na 6 kyslíků v bezvodé části vzorce a množství vody bylo spočteno na 1 molekulu H_2O podle idealizovaného vzorce $Na[AlSi_2O_6] \cdot H_2O$ (Coombs et al. 1997). Vzorec heulanditu-K byl přepočten na 72 kyslíků v bezvodé části vzorce a dopočet vody byl proveden na základě idealizovaného složení $(Ca_{0.5}, Sr_{0.5}, Ba_{0.5}, Mg_{0.5}, Na, K)_9[Al_9Si_{27}O_{72}] \cdot 24H_2O$ na 24 molekul H_2O (Coombs et al. 1997). V případě vzorku označeného jako laumontit bylo zjištěno, že se jedná o směs analcimu a prehnitu, přičemž prehnit byl přepočítán na bázi 12 kyslíků (vč. OH skupiny) a dopočet vody byl proveden na 2 molekuly OH. Železo bylo přepočítáváno v podobě Fe^{2+} vzhledem k jeho zanedbatelnému množství. Hodnota E% vyjadřující vyrovnání náboje byla vypočtena podle vzorce $E\% = 100 \times [(Al) - (Na + K) - 2 \times (Mg + Fe^{2+} + Ca + Sr + Ba)] / [(Na + K) + 2 \times (Mg + Fe^{2+} + Ca + Sr + Ba)]$ (Deer et al. 2004).

Rentgenová 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 nosiče zhotovené 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 jednoho 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 teoretického záznamu vypočteného programem Lazy Pulverix (Yvon et al. 1977) z publikovaných krystalových strukturních dat, parametry základních cel pak byly zpřesněny pomocí programu Burnhama (1962).

Geologická situace

Geologické poměry v okolí Oslavan jsou poměrně komplikované. Tato skutečnost je dána především tím, že se v nejbližším okolí stýkají hranice několika významných geologických jednotek, kterými jsou moldanubikum, svratecké krystalinikum a moravikum (olešnická a bítešská jednotka) na západě a boskovická brázda na východě. Studovaná lokalita geologicky náleží do krystalinika nejasného tektonického postavení, v této oblasti tradičně označovaného jako „moravská svorová zóna“. V současnosti je přiřazováno ke svrateckému krystaliniku (Buriánek et al. 2011) a je tvořeno středně až hrubě zrnitými biotit-muskovitickými svory s granátem a muskovit-biotitickými pararulami s vložkami amfibolitů, místy jsou hojně i migmatity až ortoruly (Jaroš 1992).

Vlastní výskyt zeolitové mineralizace alpské paragneze je vázán na těleso amfibolitu, vystupujícího po obou stranách říčky Balinky několik set metrů před jejím soutokem s řekou Oslavou, jež je součástí metamorfního komplexu tvořeného převážně biotit-muskovitickými svory přímo na hranici s olešnickou jednotkou. Jde o dlouze čočkovité těleso protažené ve směru SV - JZ (obr. 2).

Amfibolit je páskovaný, černě až tmavě zeleně zbarvený, místy s drobnými porfyroblasty červenohnědého granátu. Lokálně podlehly silné retrogradní metamorfóze a deformaci za vzniku hojného biotitu a částečně i muskovitu. Těleso bylo silně tektonicky postiženo a rozpukáno, četné úzké trhliny jsou místy vyplněny kalcitem. Zeolitová mineralizace je vzhledem k deformačním texturám amfibolitu (včetně typů s biotitem ± muskovitem) zřetelně

mladší, vyvinutá na trhlínách probíhajících napříč foliáci.

Bezprostřední tektonické podloží výše zmíněných hornin tvoří komplex tmavých jemnozrnných biotit-muskovitických svorů a pararul s četnými vložkami mramorů, kvarcitů a místy amfibolitů olešnické jednotky, zařazované již k moraviku (Jaroš 1992). Východně od lokality vystupuje na svrateckém krystaliniku a olešnické jednotce sedimentární komplex boskovické brázdy, reprezentovaný svrchnostefanskými balinskými slepenci a nadložním rosicko-oslavanským souvrstvím s uhelnými slojemi, které je v nadloží následováno padochovským souvrstvím permského stáří (Pešek 2004).

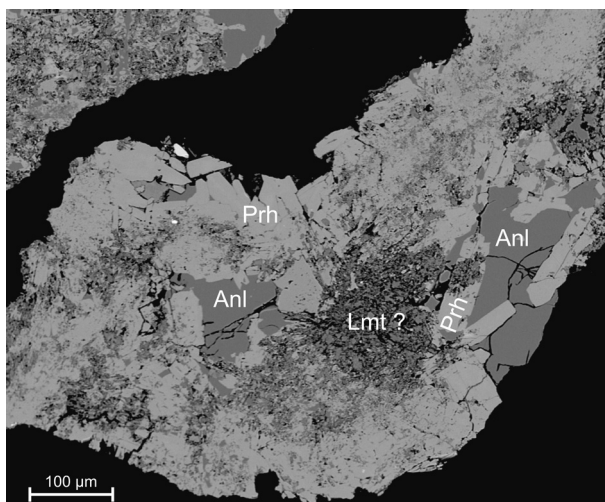
Charakteristika zeolitové mineralizace

Analcim

Analcim byl zjištěn makroskopicky na vzorku označeném VZ6 a mikroskopicky ve vzorku VZ7. Makroskopicky vytváří poměrně nenápadná, skelně lesklá izometrická zrna v asociaci s dalším Na-dominantním zeolitem, a to natrolitem; na některých vzorcích je i ve společnosti stilbitu-Ca. Zrna analcimu jsou při okrajích slabě popraskaná (pozorováno v BSE obraze). Barva analcimu je nejčastěji bílá až nažedlá. Vzácně tvoří světle růžové krystaly tvaru nepravidelného tetragon-trioktaedru, které mají velikost okolo 1 mm.

U vzorku VZ7, označeném ve sbírce MZM jako laumontit, bylo zjištěno, že se ve skutečnosti jedná o pseudomorfózu analcimu společně s prehnitem po laumontitu (obr. 3). Prehnit v pseudomorfóze dominuje nad analcimem, který vyplňuje zbytkové prostory v původním laumontitu. Relikty laumontitu jsou zachovány především v centrální části zrn, ale pro svůj vysoký stupeň přeměny a silnou nehomogenitu nebylo možné laumontit analyzovat. Tato forma výskytu analcimu byla na lokalitě, vzhledem k malému počtu dochovaných vzorků poměrně vzácná. Krystalový habitus laumontitu je na vzorku zachován ve formě drobných sloupcovitých krystalů o velikosti do 2 mm. Tyto pseudomorfované krystaly jsou bílé až nažedlé barvy, bez lesku.

Chemicky je analcim naprosto homogenní. Jediným prvkem vstupujícím v obou formách do kationtové pozice je Na, ostatní možné prvky jsou pod mezí detekce. Poměr Si/Al (2.37) a hodnota Tsi (0.70) odpovídá uváděným hodnotám pro tento zeolit (Tschernich 1992; Deer et al.



Obr. 3 Pseudomorfóza analcimu (Anl) a prehnitu (Prh) po laumontitu (Lmt); BSE foto R. Škoda.

Tabulka 1 Chemické složení zeolitů a prehnitu z Oslavan; uvedené analýzy pro jednotlivé vzorky (v hm. %) jsou vždy průměrem 10 bodových analýz

	natrolit			stilbit-Ca			analcim		heulandit-K	prehnit
	vz 1	vz 2	vz 3	vz 4	vz 5	vz 6	vz 7	vz 8	vz 7	
SiO ₂	47.65	47.50	59.57	57.45	58.57	56.79	56.86	57.14	43.12	
Al ₂ O ₃	25.53	25.54	16.46	16.50	16.17	20.27	20.27	16.39	23.08	
FeO	—	—	—	0.06	0.16	—	—	0.55	0.85	
MgO	—	—	0.13	0.10	0.12	—	—	0.64	—	
CaO	0.05	0.08	8.24	8.46	8.27	—	0.07	3.38	27.59	
BaO	—	—	—	—	—	—	—	4.82	—	
SrO	—	—	—	—	—	—	—	1.14	—	
K ₂ O	—	—	0.34	0.56	0.94	0.02	—	2.92	—	
Na ₂ O	15.16	15.16	0.69	0.36	0.09	12.31	12.37	0.81	0.06	
H ₂ O*	9.27	9.28	18.42	17.94	18.12	8.06	8.07	15.36	4.29	
total	97.66	97.56	103.85	101.43	102.44	97.45	97.64	103.15	98.99	
Si	3.07	3.07	27.13	26.87	27.12	2.11	2.11	26.75	3.01	
Al	1.94	1.94	8.84	9.09	8.82	0.89	0.89	9.05	1.90	
Σ T	5.01	5.01	35.97	35.96	35.94	3.00	3.00	35.80	4.91	
Fe	—	—	0.02	0.05	0.08	—	—	0.22	0.05	
Mg	—	—	0.09	0.07	0.08	—	—	0.45	—	
Ca	—	—	3.97	4.18	4.05	—	—	1.67	2.07	
Ba	—	—	—	—	—	—	—	0.89	—	
Sr	—	—	—	—	—	—	—	0.45	—	
K	—	—	0.20	0.33	0.55	—	—	1.75	—	
Na	1.89	1.90	0.61	0.33	0.08	0.89	0.89	0.74	0.01	
Σ cat	1.89	1.90	4.89	4.96	4.84	0.89	0.89	6.17	2.13	
H ₂ O/OH	2	2	28	28	28	1	1	24	2	
Si/Al	1.58	1.58	3.07	2.96	3.07	2.37	2.37	2.96	—	
E%	2.65	2.11	-1.45	-1.84	-2.54	0	0	-8.12	—	
T _{Si}	0.61	0.61	0.75	0.75	0.75	0.70	0.70	0.75	—	

obsah H₂O* byl dopočten na bázi 2H₂O (natrolit), 28H₂O (stilbit-Ca), 1H₂O (analcim), 24H₂O (heulandit-K), 2 OH (prehnit); koeficienty empirických vzorců byly dopočteny na základě 10 atomů kyslíku (natrolit), 72 atomů kyslíku (stilbit-Ca, heulandit-K), 6 atomů kyslíku (analcim) a 12 atomů kyslíku (prehnit)

Tabulka 2 Rentgenová prášková data analcimu z Oslavan

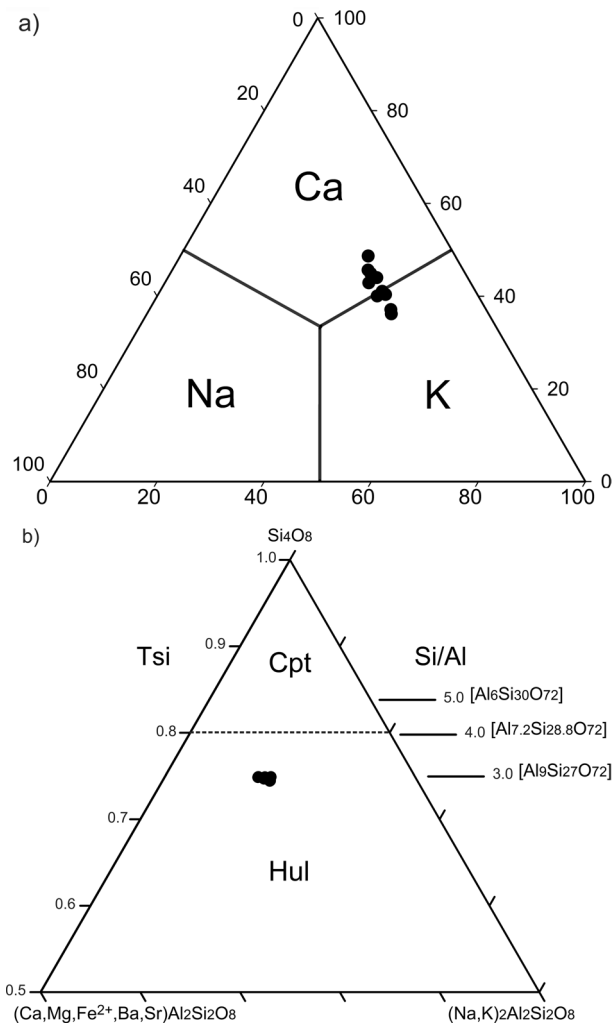
<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}
2	1	1	5.591	83	5.594	4	0	4	2.4220	4	2.4225	6	0	6	1.6156	1	1.6150
2	0	2	4.844	12	4.845	6	1	1	2.2219	7	2.2228	8	1	3	1.5931	2	1.5929
2	1	3	3.660	7	3.663	4	0	6	1.9001	5	1.9005	8	4	2	1.4955	1	1.4950
4	0	0	3.426	100	3.425	3	3	6	1.8647	3	1.8650	6	1	7	1.4778	1	1.4778
3	2	3	2.921	42	2.922	7	2	3	1.7403	7	1.7402	6	4	6	1.4611	1	1.4608
4	2	2	2.797	4	2.797	0	0	8	1.7134	2	1.7133	5	4	7	1.4445	1	1.4445
3	1	4	2.687	12	2.688	7	1	4	1.6866	2	1.6867	8	6	0	1.3699	1	1.3702
5	2	1	2.501	9	2.502	8	0	2	1.6616	1	1.6616	7	2	7	1.3570	3	1.3569

2004). Hodnota E% je u obou vzorků 0. Chemické složení analcimu i prehnitu je znázorněno v tabulce 1. Průměrný empirický vzorec studovaného analcimu je možno vyjádřit jako Na_{0.89}[Al_{0.89}Si_{2.11}]_{Σ3}O₆·H₂O.

Rentgenová prášková data analcimu z Oslavan (tab. 2) odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalových strukturních dat (Mazzi, Galli 1978). Hodnoty parametrů základní cely analcimu z Oslavan (tab. 3) byly zpřesněny pro tetragonální prostorovou grupu I4₁/acd, reálná symetrie analcimu se pohybuje podle stupně uspořádání Si/Al od triklinické, monoklinické, ortorombické přes tetragonální až po kubickou (Mazzi, Galli 1978; Coombs et al. 1997).

Tabulka 3 Parametry základní cely analcimu (pro tetragonální prostorovou grupu I4₁/acd)

	<i>a</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
tato práce	13.7019(9)	13.706(1)	2573.2(3)
Mazzi, Galli (1978)	13.723(7)	13.69(1)	2577
Mazzi, Galli (1978)	13.727(2)	13.686(3)	2579
Mazzi, Galli (1978)	13.729(3)	13.709(4)	2584
Mazzi, Galli (1978)	13.721(1)	13.735(1)	2585
Mazzi, Galli (1978)	13.728(1)	13.722(1)	2586



Obr. 4 Znárodnění bodových analýz heulanditu-K z Oslavan v a) klasifikačním diagramu heulanditové skupiny s vyznačenými nejběžnějšími koncovými členy Ca - Na - K (Deer et al. 2004); b) klasifikačním diagramu heulandit (Hul) - klinoptilolit (Cpt) (Deer et al. 2004).

Heulandit-K

Zeolit náležející do heulanditové skupiny minerálů byl potvrzen na vzorku číslo VZ8 (tab. 1). Vyskytuje se v asociaci s bílým natrolitem, jehož paprscité agregáty jej obrůstají. Makroskopicky tvoří hnědočervená drobná zploštělá zrna pseudoortorombického habitu o velikosti do několika mm s hedvábným leskem. Zbarvením a leskem se velmi podobá stilbitu-Ca, od něhož se dá odlišit pouze na základě rozdílného charakteru agregátů (stilbit -Ca - paprscité agregáty; heulandit-K - plochá zrna).

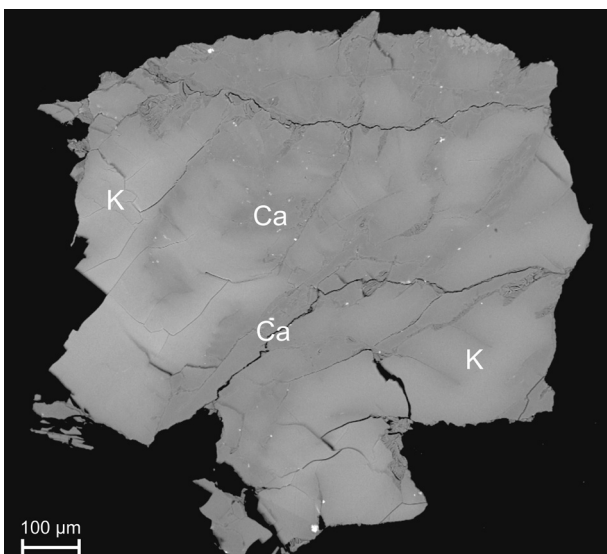
Z chemického hlediska se jedná o nejzajímavější zeolit na lokalitě. Dominujícími kationty v tomto případě jsou Ca a K (obr. 4a). Z průměrného (10 bodových analýz) chemického složení heulanditu z Oslavan (tab. 1) vyplývá mírná převaha K nad Ca v kationtové části vzorce, a proto lze tento vzorek označit jako heulandit-K. Tuto skutečnost podporuje i distribuce těchto dvou prvků ve studovaném zrnu. V BSE obraze (obr. 5) bylo pozorováno, že K komponenta dominuje ve světlejších homogenních částech analyzovaného zrna, zatímco Ca je distribuováno především podél trhlin a jeho přítomnost se projevuje tmavším zbarvením po stranách těchto nespojitých struktur. Zajímavé je také poměrně vysoké zastoupení obsahů Ba a Sr, zatímco obsah Mg je spíše ve středních hodnotách ve srovnání s analýzami vzorků heulanditu-K a heulanditu-Ca z jiných lokalit ve světě (Deer et al. 2004). Na základě poměru Si/Al (2.96), který v porovnání s možným rozsahem uvedeným v literatuře (Tschermich 1992) patří k nižším a středním hodnotám Tsi (0.75) lze tento zeolit s určitostí klasifikovat jako minerál heulanditové skupiny (obr. 4b). Chemicky velmi podobné zeolity klinoptilolitové série mají poměr Si/Al ≥ 4 a hodnotu Tsi ≥ 0.80 (Coombs et al. 1997). Vysoká záporná hodnota E% (-8.12) je stále ještě v akceptovatelném rozsahu +10% až -10% (Deer et al. 2004). Průměrný empirický vzorec heulanditu-K z Oslavan je možno vyjádřit jako: $(K_{1.75}Na_{0.74}Ca_{1.67}Ba_{0.89}Sr_{0.45}Mg_{0.45}Fe^{2+}_{0.22})_{\Sigma 6.17}[Al_{9.05}Si_{26.75}]_{\Sigma 35.8}O_{72} \cdot 24H_2O$.

Rentgenová prášková data heulanditu-K z Oslavan (tab. 4) odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalových strukturálních dat (Galli et al. 1983). Významnější rozdíly zjištěné u intenzit jednotlivých difrakčních maxim jsou pravděpodobně vyvolány výraznou přednostní orientací preparátu vyvolanou štěpností typu (0k0). Hodnoty zpřesněných parametrů základní cely pro vzorek z Oslavan (tab. 5) leží mezi publikovanými údaji pro heulandit-K a heulandit-Ca, což je v plném souladu s výsledky jeho chemické analýzy.

Natrolit

Natrolit byl určen na vzorcích VZ1 a VZ2 (tab. 1). Vzorek VZ3 označený ve sbírce MZM původně jako natrolit byl nově identifikován jako stilbit-Ca. Natrolit tvoří jehlicovité radiálně paprscité agregáty, bílé barvy (obr. 6). Agregáty tvoří bohaté shluky na puklinách amfibolitu, a jejich tloušťka je až 5 mm. Velikost jednotlivých agregátů dosahuje v maximálním případě až 4 cm, ale obvyklá velikost je okolo 1 cm. Některé agregáty natrolitu jsou pokryty sekundárními rezavými povlaky, které jsou produktem zvětrávání okolní horniny. Nejčastěji se vyskytuje samostatně, na některých vzorcích je v asociaci se stilbitem-Ca a analcimem. Na základě množství vzorků zastoupených ve sbírce, lze odhadovat, že se jednalo o nejhojnější zeolit na lokalitě.

Z chemického hlediska se jedná o natrolit s dominancí Na v kationtové pozici bez příměsi dalších prvků (K,



Obr. 5 Chemická nehomogenita zrna heulanditu vyvolaná různým zastoupením Ca a K; BSE foto R. Škoda.

Tabulka 4 Rentgenová prášková data heulanditu-K z Oslavan

<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.}
0	2	0	8.966	100.0	8.970	1	5	0	3.499	0.9	3.500	6	4	-2	2.3460	0.6	2.3467
2	0	0	7.944	2.7	7.942	5	1	-1	3.478	0.9	3.479	0	8	0	2.2423	2.3	2.2424
2	0	-1	6.810	0.5	6.806	2	2	-2	3.430	3.0	3.430	2	8	0	2.1586	0.2	2.1580
0	0	1	6.643	0.2	6.650	4	0	-2	3.402	1.3	3.403	7	3	0	2.1223	0.3	2.1215
2	2	0	5.943	1.1	5.946	0	0	2	3.325	1.0	3.325	6	2	1	2.0936	0.5	2.0925
1	3	0	5.593	0.2	5.596	4	2	-2	3.181	2.8	3.182	6	4	-3	2.0231	0.5	2.0243
0	2	1	5.342	0.5	5.342	4	4	-1	3.131	3.4	3.131	1	9	0	1.9764	0.3	1.9777
3	1	-1	5.263	1.7	5.265	3	5	-1	3.006	1.7	3.006	8	4	-2	1.9661	0.4	1.9656
1	1	1	5.121	2.0	5.122	0	6	0	2.990	5.1	2.990	3	9	0	1.8659	0.4	1.8654
3	1	0	5.076	1.3	5.078	1	5	1	2.980	5.4	2.979	3	1	-4	1.8291	0.2	1.8278
1	3	-1	4.655	6.5	4.657	3	5	0	2.968	7.6	2.970	0	10	0	1.7941	2.6	1.7939
0	4	0	4.484	3.3	4.485	5	3	0	2.805	3.7	2.805	7	7	-2	1.7713	0.6	1.7711
4	0	-1	4.374	1.5	4.374	2	6	-1	2.739	1.7	2.737	5	7	-3	1.7460	0.3	1.7453
1	3	1	3.984	5.5	3.985	0	6	1	2.730	2.3	2.727	0	10	1	1.7321	0.5	1.7320
4	0	0	3.984	5.5	3.971	5	5	-1	2.525	1.7	2.522	1	7	-3	1.7286	1.3	1.7292
3	3	0	3.964	3.9	3.964	7	1	-1	2.4926	0.5	2.4932	10	0	-3	1.6980	0.3	1.6983
4	2	-1	3.929	1.3	3.931	4	6	-1	2.4681	0.7	2.4683	4	10	0	1.6352	0.3	1.6348
2	4	0	3.902	5.5	3.905	5	1	1	2.4454	0.9	2.4469	2	6	3	1.6180	0.3	1.6182
2	2	1	3.842	0.7	3.841	4	4	1	2.4275	0.8	2.4289	3	5	3	1.5949	0.4	1.5955
2	4	-1	3.744	1.2	3.745	7	1	-2	2.4275	0.8	2.4280	6	8	-3	1.5949	0.4	1.5948
2	0	-2	3.713	0.9	3.713	4	6	0	2.3866	0.4	2.3885						
3	1	-2	3.567	1.8	3.567	4	2	-3	2.3704	0.3	2.3696						

Tabulka 5 Parametry základní cely heulanditu-K (pro monoklinickou prostorovou grupu C2/m)

		<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	β [°]	<i>V</i> [Å ³]
heulandit-K	tato práce	17.743(4)	17.939(2)	7.429(1)	116.47(1)	2117(1)
heulandit-K	Galli et al. (1983)	17.767(7)	17.958(7)	7.431(1)	115.93(2)	2132
heulandit-Ca	Alberti (1972)	17.718	17.897	7.428	116.42	2109
heulandit-Ca	Gunter et al. (1994)	17.671(1)	17.875(7)	7.412(3)	116.39(3)	2097



Obr. 6 Radiálně paprscité agre-gáty natrolitu na puklině amfibolitu; foto J. Toman.

Tabulka 6 Rentgenová prášková data natrolitu z Oslavan

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}
2	2	0	6.523	100	6.525	4	2	2	2.567	7	2.568	2	10	0	1.8258	7	1.8255
1	1	1	5.872	36	5.878	6	4	0	2.550	2	2.550	4	8	2	1.7555	3	1.7554
0	4	0	4.657	36	4.658	1	7	1	2.4451	14	2.4453	8	4	2	1.7417	3	1.7412
4	0	0	4.570	31	4.571	7	1	1	2.4074	13	2.4076	5	9	1	1.7377	4	1.7376
1	3	1	4.382	24	4.386	4	4	2	2.3168	4	2.3171	4	10	0	1.7255	11	1.7253
3	1	1	4.346	29	4.349	3	7	1	2.2862	5	2.2872	10	4	0	1.7023	8	1.7020
2	4	0	4.148	44	4.150	0	6	2	2.2586	4	2.2587	5	5	3	1.6799	1	1.6796
4	2	0	4.102	28	4.104	6	0	2	2.2361	2	2.2362	0	0	4	1.6460	1	1.6458
3	3	1	3.630	3	3.629	8	2	0	2.2199	2	2.2197	1	11	1	1.6334	3	1.6337
4	4	0	3.262	7	3.262	2	6	2	2.1927	7	2.1928	0	10	2	1.6218	3	1.6214
1	5	1	3.192	29	3.193	6	6	0	2.1748	13	2.1750	8	6	2	1.6062	2	1.6066
5	1	1	3.150	32	3.151	4	8	0	2.0748	1	2.0750	11	1	1	1.6062	2	1.6057
2	0	2	3.099	9	3.097	3	1	3	2.0521	3	2.0521	10	0	2	1.5985	1	1.5984
2	2	2	2.938	19	2.939	1	9	1	1.9635	1	1.9633	3	11	1	1.5847	1	1.5839
6	2	0	2.896	6	2.896	3	3	3	1.9591	1	1.9592	10	6	0	1.5757	2	1.5756
3	5	1	2.862	56	2.863	9	1	1	1.9311	1	1.9308	9	7	1	1.5673	1	1.5684
5	3	1	2.842	49	2.842	1	5	3	1.8806	2	1.8808						
2	4	2	2.578	4	2.579	5	1	3	1.8722	2	1.8721						

Tabulka 7 Parametry základní cely natrolitu (pro ortorombickou prostorovou grupu Fdd2)

	<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
tato práce	18.284(1)	18.631(1)	6.5832(6)	2242.6(2)
Hesse (1983)	18.319(4)	18.595(4)	6.597(1)	2247
Artioli et al. (1984)	18.272(6)	18.613(6)	6.593(2)	2242(2)
Alberti et al. (1995)	18.347	18.561	6.587	2243

Ca, Mg, Sr a Ba). Průměrné chemické složení je uvedeno v tabulce 1. Poměr Si/Al (1.58) a Tsi (0.61) u měřených vzorků dobře koreluje s vrchní hranicí hodnot pro tento minerál udávaných v literatuře (Tschernich 1992). Hodnota E% je v rozsahu 2.11 až 2.65. V BSE obraze se agregáty natrolitu jeví homogenně, nebylo zde pozorováno žádné prorůstání či orientované srůsty s jinými minerálními fázemi (mezolit, skolecit). Průměrný empirický vzorec natrolitu z Oslavan je možno vyjádřit jako: $\text{Na}_{1.90}[\text{Al}_{1.94}\text{Si}_{3.07}]_{\Sigma 5.01}\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Rentgenová prášková data natrolitu z Oslavan (tab. 6) odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalových strukturních dat (Alberti et al. 1995); určité rozdíly zjištěné u intenzit jednotlivých difrakčních maxim jsou pravděpodobně vyvolány přednostní orientací preparátu. Hodnoty zpřesněných parametrů základní cely natrolitu z Oslavan jsou v tabulce 7 porovnány s publikovanými údaji pro tuto minerální fázi.

Stilbit-Ca

Jedná se po natrolitu o druhý nejvíce zastoupený zeolit z této lokality ve sbírkách MZM. Byl analyticky potvrzen na třech vybraných vzorcích označených jako VZ3, VZ4 a VZ5. Vytváří stejně jako natrolit radiálně paprskovité agregáty (obr. 7) o velikosti do 3 cm. Barva agregátů je červená až hnědočervená, s hedvábným někdy až perleťovým leskem. Na vzorcích se často vyskytuje v asociaci s natrolitem a drobnými nedokonalými krystaly analcimu (obr. 7), vzácněji tvoří samostatné výplně puklin. Z chemického hlediska se jedná o Ca-dominantní člen stilbitové skupiny.

Kromě převažujícího Ca jsou jako minoritní prvky zastoupeny Na a K, jejichž množství je u jednotlivých analýz poměrně proměnlivé. Z dalších měřených prvků bylo v pořádkovém množství stanoveno Mg a Fe²⁺ (tab. 1).

Jak vyplývá z dostupných publikovaných analýz, je stilbit-Ca z Oslavan chemicky velmi blízký stilbitu-Ca z lokality Poona v Indii (Akizuki, Konno 1985) a z Skookumchuck Dam ve státě Washington v USA (Howell et al. 1990). Poměr Si/Al (2.96 - 3.07) a hodnota Tsi (0.75) dobře odpovídají údajům udávanými v literatuře pro tuto minerální fázi (Tschernich 1992). Vzhledem ke skutečnosti, že v měřených vzorcích značně kolísají obsahy vybraných prvků (zejména Na a K) je možné empirický vzorec stilbitu-Ca z Oslavan vyjádřit pomocí rozmezí: $(\text{Ca}_{3.97-4.18}\text{Na}_{0.08-0.61}\text{K}_{0.20-0.55}\text{Mg}_{0.07-0.09}\text{Fe}^{2+}_{0.02-0.08})_{\Sigma 4.34-5.51}[\text{Al}]_{8.82-9.09}\text{Si}_{26.87-27.13}\text{O}_{72} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$.

Rentgenová prášková data stilbitu-Ca z Oslavan (tab. 8) odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalových strukturních dat (Galli 1971); určité rozdíly zjištěné u intenzit jednotlivých difrakčních maxim jsou pravděpodobně vyvolány přednostní orientací preparátu. Na rozdíl od chemicky velmi blízkého ortorombického stelleritu bylo v experimentálním záznamu pozorováno charakteristické rozštěpení některých difrakčních maxim vyvolané nižší, monoklinickou symetrií stilbitu (Di Renzo, Gabelica 1997). Hodnoty zpřesněných parametrů základní cely stilbitu-Ca z Oslavan jsou v tabulce 9 porovnány s publikovanými údaji pro tuto minerální fázi.



Obr. 7 Hnědočervené radiálně paprscité agregáty stilbitu-Ca v těsné asociaci s bílým natrolitem a drobně krystalickým analcimem; foto J. Toman.

Tabulka 8 Rentgenová prášková data stilbitu-Ca z Oslavan

<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.}
0	2	0	9.112	100.0	9.117	2	4	0	3.475	0.7	3.476	0	6	2	2.509	1.1	2.509
0	0	1	8.905	7.2	8.898	4	0	-2	3.404	1.4	3.405	0	4	3	2.4865	1.2	2.4861
2	0	-1	6.806	0.3	6.810	1	1	-3	3.393	3.4	3.394	2	6	-3	2.3597	0.3	2.3601
0	2	1	6.367	1.2	6.368	1	1	2	3.373	2.1	3.374	4	4	0	2.3174	0.1	2.3151
2	0	-2	5.444	0.6	5.442	4	2	-2	3.190	3.3	3.190	1	3	3	2.3072	0.3	2.3068
2	0	0	5.370	0.3	5.375	4	0	-1	3.165	0.9	3.167	6	0	-3	2.2697	0.3	2.2701
1	3	-1	5.304	2.2	5.306	3	3	-3	3.115	1.0	3.115	3	1	-5	2.2141	0.3	2.2139
1	1	-2	5.231	0.5	5.234	3	3	0	3.086	0.3	3.087	5	5	-2	2.1614	0.4	2.1635
2	2	-2	4.672	4.4	4.673	1	5	-2	3.030	11.6	3.033	0	6	3	2.1230	0.8	2.1226
2	2	0	4.626	4.0	4.630	1	3	-3	3.003	2.9	3.003	2	8	-2	2.1024	0.6	2.1022
0	4	0	4.558	1.9	4.558	1	3	2	2.989	2.2	2.989	2	2	-5	2.0669	0.5	2.0673
0	0	2	4.446	1.3	4.449	0	0	3	2.966	0.9	2.966	1	5	3	2.0583	0.3	2.0583
3	1	-2	4.287	2.3	4.289	0	6	1	2.875	0.8	2.876	5	3	-5	2.0499	0.3	2.0492
3	1	-1	4.261	1.0	4.264	0	2	3	2.821	0.8	2.821	5	3	0	2.0276	0.5	2.0269
1	3	-2	4.059	19.7	4.063	2	6	-1	2.775	3.7	2.775	1	9	1	1.8978	0.5	1.8974
0	2	2	4.007	1.3	3.998	4	0	-4	2.721	0.9	2.721	0	10	0	1.8231	2.6	1.8233
2	4	-1	3.786	0.3	3.788	2	2	2	2.594	0.7	2.595	0	8	3	1.8074	0.6	1.8072
2	0	-3	3.746	2.4	3.747	3	5	-3	2.573	1.1	2.572	6	6	-2	1.7799	0.6	1.7783
2	0	1	3.699	1.4	3.703	3	5	0	2.557	1.2	2.556						
2	4	-2	3.494	0.6	3.494	1	7	0	2.531	0.5	2.531						

Tabulka 9 Parametry základní cely stilbitu-Ca (pro monoklinickou prostorovou grupu C2/m)

	<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	β [°]	<i>V</i> [Å ³]
tato práce	13.621(4)	18.233(2)	11.275(3)	127.89(1)	2210(1)
Slaughter (1970)	13.69(1)	18.25(1)	11.31(2)	128.2(2)	2221
Galli (1971)	13.64(3)	18.24(4)	11.27(2)	128.0(3)	2210
Pauliš et al. (2011)	13.622(9)	18.229(8)	11.269(7)	127.94(2)	2207(2)

Doprovodné minerály

Dalším minerálem vyskytujícím se na lokalitě je *prehnit*. Jak již bylo zmíněno výše, je společně s analcimem součástí polyminerálních pseudomorfóz po laumontitu. Jeho chemické složení je uvedeno v tabulce 1. Společně s ním je na vzorcích přítomen mladší *natrolit*. Lokálně a nepravidelně se vyskytuje i jemně šupinatý *Mg-chlorit*.

Titanit byl zjištěn ve formě drobných dobře vyvinutých psaníčkovitých krystalů o velikosti do 2 mm na puklině amfibolitu v asociaci se zrny narůžovělého živce. Barva titanitu je medově hnědá a má skelný lesk.

Za zajímavost této lokality lze považovat vzorek **kalcitu s křemenem - ametystem**. Ametyst v podobě světle fialových krystalických agregátů tvoří mladší žilky v kalcitu a v centrální části vzorku dokonce dobře omezené krystaly vyvinuté do dutiny. Tento vzorek (č. 5380) pochází z roku 1925, ze sbírky B. Kučery.

Sukcesní a paragenetický vztah titanitu, kalcitu, křemene - ametystu a Mg-chloritu k zeolitům není z těchto ojedinelých vzorků jasný. S výjimkou prehnitu nebyly proto blíže studovány.

Diskuse a závěr

Zeolitová mineralizace z Oslavan nebyla dosud v odborné literatuře detailněji popsána. Na základě minerální asociace, charakteru mineralizace (výplň plochých puklin) a horniny, ve které je vyvinuta, ji lze obecně řadit k tzv. alpské paragenézi typu C (Bernard et al. 1981). Fluidní systém, z něhož krystalizovaly minerály, byl v některých etapách vývoje bohatý rovněž Na a K, což odpovídá předpokladu postupné alterace bazických plagioklasů v prostředí fluid bohatých H₂O. Charakteristická je především nízká aktivita SiO₂ ve fluidech (v zeolitové paragenézi chybí křemen, i v doprovodných kalcitových žilách je mladším minerálem), což geochemicky odpovídá prostředí amfibolitu.

Celkem byly na studovaných vzorcích potvrzeny čtyři minerály náležející mezi zeolity. Jedná se o analcim, heulandit-K, natrolit a stilbit-Ca, nejstarším minerálem byl zřejmě laumontit. Přestože zmíněný laumontit nemohl být na vzorcích přesně identifikován, krystaly odpovídající jeho habitu jsou tvořeny směsí analcimu a prehnitu, na což poukazovali už Kučera a Novotná (1927). Tito autoři také popisují, včetně výše zmíněné pseudomorfózy po laumontitu, stejnou minerální asociaci z puklin amfibolitu u Letovic. Analcim, natrolit a stilbit-Ca náleží mezi běžné druhy zeolitů, mající relativně stabilní chemické složení, které dobře odpovídá publikovaným datům pro tyto minerální fáze.

Nejzajímavějším zjištěným minerálem je bezpochyby heulandit-K, který náleží k vzácným koncovým členům heulanditové skupiny; další koncové členy představují heulandit-Ca, Na, Sr (Combs et al. 1997) a heulandit-Ba (Larsen et al. 2005). Tento minerál se vyskytuje pouze na několika málo lokalitách na světě, publikované údaje pocházejí pouze z typové lokality Albero Bassi v Itálii (Passaglia 1969) a z vrtné lokality MITI-Nishitsugaruoki v Japonsku (Ogihara, Iijima 1990). Heulandit-K z těchto dvou lokalit má vyšší obsahy draslíku než studovaný vzorek z Oslavan (1.75 *apfu*); v případě lokality Albero Bassi je to 2.41 *apfu* a u druhé uvedené dokonce až 5.14 *apfu* K. Heulandit-K z Oslavan je tak blíže materiálu z typové lokality; mají i velice podobný obsah vápníku (1.67 *apfu*

laumontit	—	1. Ca fáze
prehnit	—	
heulandit-K	—	2. K-Ca fáze
analcim	----	
natrolit	—	3. Na-Ca fáze
stilbit-Ca	—	

Obr. 8 Sukcesní schéma zeolitové mineralizace na lokalitě Oslavy.

Ca - Oslavy; 1.64 *apfu* Ca - Albero Bassi), který ale byl v případě studovaného vzorku dotován z vnějšího zdroje až po vlastní krystalizaci heulanditu-K. Nižší obsah K a naopak poměrně vysoké zastoupení Ba a Sr v analyzovaném vzorku oproti typové lokalitě poukazuje na výraznější uplatnění substituce těchto dvou prvků za draslík.

Na základě pozice jednotlivých zeolitů na vzorcích a při neznalosti detailních poměrů jejich výskytu v horninovém výchozu lze krystalizační posloupnost určit jen přibližně. S největší pravděpodobností zdejší mineralizace vznikla během několika střídajících se period různé aktivity složek ve fluidní fázi (obr. 8). Starší sukcesní fáze se vyznačovala hlavně uplatněním Ca, příp. K, mladší Ca a Na. V první fázi krystalizoval z Ca bohatých fluidních roztoků laumontit, pravděpodobně za teplot nepřilíš převyšujících 150 - 170°C, záhy byl však zcela pseudomorfován prehnitem a později uplatněným analcimem. Za poklesu teploty a přínosu draslíku (nebo jen při růstu aktivity K ve fluidech) krystalizoval heulandit-K. Ten je podél intergranulár a od okrajů zatlačován heulanditem-Ca (mladší přínos Ca). Už v závěrečné fázi krystalizace prehnitu nastupuje krystalizace Na-fází počínaje analcimem, který se z počátku částečně ještě podílí na přeměně laumontitu. Poté, po zřetelném vzrůstu aktivity Na, vzniká hojný natrolit, tvořící stejně jako část analcimu samostatné krystaly. S natrolitem se vyskytuje i Ca-bohatý stilbit, který vznik celé asociace zeolitů za T < 150 - 140°C ukončil.

Zeolitová mineralizace podobného charakteru z puklin amfibolitu je známá také z Vémyslic (natrolit + analcim + heulandit + laumontit) a Letovic (analcim + heulandit + stilbit + laumontit + natrolit), o nichž se ve svém přehledu zmiňují Kučera a Novotná (1927). Další lokalitou s výskytem zeolitů stejného makroskopického typu, která není dosud v literatuře popsána, jsou Tetčice (stilbit + heulandit + laumontit). V těchto třech případech lze předpokládat možný výskyt výše popsaného vzácného heulanditu-K a rozšíření počtu jeho lokalit v ČR i ve světě.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat L. Rejlovi za cenné informace týkající se lokalizace výskytu a R. Škodovi (Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita Brno) za spolupráci při laboratorním studiu. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2014/02, 00023272) pro JS a výzkumné organizace Moravské zemské muzeum (DKRVO, MK000094862) pro SH.

Literatura

- Akizuki M., Konno H. (1985) Order-disorder structure and the internal texture of stilbite. *Amer. Mineral.* 70, 814-821.
- Alberti A. (1972) On the crystal structure of the zeolite heulandite. *Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitt.* 18, 129-146.
- Alberti A., Cruciani G., Dauru I. (1995) Order-disorder in natrolite group minerals. *Eur. J. Mineral.* 7, 501-508.
- Artoli G., Smith J. V., Kvik Å. (1984) Neutron diffraction study of natrolite, $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, at 20 K. *Acta Cryst.* C40, 1658-1662.
- Bernard J. H., Čech F., Dávidová Š., Dudek A., Fediuk F., Hovorka D., Kettner, R., Koděra M., Kopecký L., Němec D., Paděra K., Petránek J., Sekanina J., Staněk J., Šímová M. (1981) Mineralogie Československa. 1-645, *Academia, Praha*.
- Buriánek D., Bubík M., Franců J., Fůrychová P., Havlín A., Gilřková H., Janderková J., Konečný F., Krejčí Z., Krumlová H., Kryštofová E., Kunceová E., Müller P., Otava J., Paleček M., Pecina V., Poul I., Sedláček J., Skácelová Z., Šrámek J., Petrová P., Verner K., Večeřa J., Vít J. (2011) Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000 list 24-341 Oslavany. MS, ČGS, *Závěrečná zpráva 1-257*.
- Burkart E. (1953) Moravské nerosty a jejich literatura. *Mährens Minerale und ihre Literatur. 1-1008, Nakl. ČSAV, Praha*.
- Burnham Ch. W. (1962) Lattice constant refinement. *Carnegie Inst. Washington Year Book* 61, 132-135.
- Coombs S. D., Alberti A., Artikula G., Collella C., Galli E., Grice D. J., Liebau F., Mandarino A. J., Minuto H., Nickel H. E., Passaglia E., Peacor R. D., Quartieri S., Rinaldi R., Ross M., Sheppard A. R., 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. (1965) Harmotom z desilikovaných pegmatitů u Hrubšic na západní Moravě. *Acta Univ. Carol., Geol.* 1, 31-43.
- Deer A. W., Howie A. R., Wise S. W., Zussman J. (2004) Rock-forming minerals. Framework Silicates: Silica Minerals, Feldspathoids and the Zeolites. 1-982, *The Geological Society, London*.
- Di Renzo F., Gabelica Z. (1997) Barrerite and other zeolites from Kuiu and Kupreanof islands, Alaska. *Can. Mineral.* 35, 691-698.
- Galli E. (1971) Refinement of the crystal structure of stilbite. *Acta Cryst.* B27, 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.* B39, 189-197.
- Gunter M. E., Armbruster T., Kohler T., Knowles Ch. R. (1994) Crystal structure and optical properties of Na- and Pb-exchanged heulandite-group minerals. *Amer. Mineral.* 79, 675-682.
- Hesse K.-F. (1983) Refinement of a partially disordered natrolite, $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Zeit. Kristall.* 163, 69-74.
- Howell D. A., Johnson G. K., Tasker I. R., O'Hare P. A. G., Wise W. S. (1990) Thermodynamic properties of the zeolite stilbite. *Zeolites.* 10, 6, 525-531.
- Hrazdil V. (2001) Minerální asociace alpských žil od Templštejna u Jamolic, západní Morava. *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.* 86, 75-84.
- Hruschka W. (1826) Die Schlucht von Tempelstein. *Mitth. d. m. schl. Gesell., Nr 43*.
- Jaroš J. (1992) The nappe structure in the Svatka Dome. In: Kukul Z. (ed.): *Proceed. of the 1st Inter. Conf. on the Bohemian massif, 1988, 137-140, Czech geological survey, Praha*.
- Karásek J. (1996) Natrolit a prehnit z Mohelna. *Minerál.* 4, 2, 115-116.
- Kruža T. (1966) Moravské nerosty a jejich literatura 1940-1965. 1-379, *Moravské museum, Brno*.
- Kučera B. (1926) Doplnky k seznamu nerostů a nalezišť moravských za rok 1924 a 1925. *Čas. Morav. zem. Mus.* 24, 184-196.
- Kučera B., Novotná B. (1927) Nová naleziště zeolithů na Moravě. *Čas. Morav. zem. Mus.* 25, 214-227.
- Larsen A. O., Nordrum F. S., Döbelin N., Armbruster T., Petersen O. V., Erambert M. (2005) Heulandite-Ba, a new zeolite species from Norway. *Eur. J. Mineral.* 17, 143-153.
- Mazzi F., Galli E. (1978) Is each analcime different? *Amer. Mineral.* 63, 448-460.
- Ogihara S., Iijima A. (1990) Exceptionally K-rich clinoptilolite-heulandite group zeolites from three offshore boreholes off northern Japan. *Eur. J. Mineral.* 2, 819-826.
- Ondruš P. (1993) ZDS - A computer program for analysis of X-ray powder diffraction patterns. *Materials Science Forum*, 133-136, 297-300, EPDIC-2. *Enchede*.
- Passaglia E. (1969) Le zeoliti di Albergo Bassi (Vicenza). *Per. Min.* 38, 237-243.
- Pauliš P., Heřmánek J., Jebavá I., Zahradníček L. (2011) Stilbit-Ca z amfibolitového kamenolomu Markovice u Čáslavi (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 19, 52-55.
- Pešek J. (2004) Late Paleozoic limnic basins and coal deposits of the Czech Republic. *Folia Mus. Rer. natur. Bohem. occid., geologica*, 188 s.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" ($\phi - \rho - Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis (J. T. Armstrong, ed.)*, 104-106. *San Francisco Press, San Francisco*.
- Slaughter M. (1970) Crystal structure of stilbite. *Amer. Mineral.* 55, 387-397.
- Suess E. F. (1905) Geologische Spezialkarte Trebitsch und Kromau, Zone 9, Col. XIV, 1:75000. *K. k. Geologischen Reichsanstalt, Wien*.
- Tschernich R. W. (1992) Zeolites of the World. 1-563, *Geoscience Press, Phoenix*.
- 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.