

Zeolitová mineralizace z Heřmanic u České Lípy (Česká republika)

Zeolite mineralization from Heřmanice near Česká Lípa (Czech Republic)

PETR PAULIŠ^{1,2)*}, PETR ZEMAN³⁾, VOJTĚCH ZEMAN³⁾, JIŘÍ SEJKORA²⁾, RADANA MALÍKOVÁ²⁾,
LUBOŠ VRTIŠKA²⁾, ZDENĚK DOLNÍČEK²⁾, FERRY FEDIUK⁴⁾, ONDŘEJ POUR⁵⁾ A MIROSLAV RADOŇ⁶⁾

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⁾Nádražní 319, 407 25 Verneřice

⁴⁾Na Petřínách 1897, 162 00 Praha 6

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

⁶⁾Regionální muzeum v Teplicích, Zámecké náměstí 14, 415 01 Teplice

PAULIŠ P, ZEMAN P, ZEMAN V, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, VRTIŠKA L, DOLNÍČEK Z, FEDIUK F, POUR O, RADOŇ M (2018) Zeolitová mineralizace z Heřmanic u České Lípy (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 26(2): 123-137. ISSN 2570-7337

Abstract

A new interesting occurrence of zeolite mineralization was found in cavities of tephritic basaltoids at unnamed hill (453 m a. s. l.), ca. 300 m WNW of the village Heřmanice near Česká Lípa, Northern Bohemia (Czech Republic). Lévyne-Ca is typical and very abundant zeolite species at this locality, it forms colourless to white tabular crystals up to 9 mm in size. Its unit-cell parameters (for trigonal space group *R-3m*) refined from the powder X-ray data are: *a* 13.363(4) Å, *c* 22.995(2) Å and *V* 3556(1) Å³. Chemical analyses of lévyne-Ca correspond to the empirical formula $(Ca_{2.80}K_{0.60}Na_{0.09})_{\Sigma 3.49}(Si_{11.77}Al_{6.21})O_{36} \cdot 17 H_2O$. In association, chabazite-Ca, erionite-Ca, analcime, phillipsite-Ca, thomsonite-Ca, cowlesite and gismondine were found, for all these minerals physical and chemical data are given in the paper.

Key words: analcime, chabazite-Ca, cowlesite, erionite-Ca, gismondine, lévyne-Ca, phillipsite-Ca, thomsonite-Ca, tephrite, powder X-ray diffraction data, unit-cell parameters, chemical composition, Heřmanice near Česká Lípa, Czech Republic

Obdrženo 8. 10. 2018; přijato 4. 12. 2018

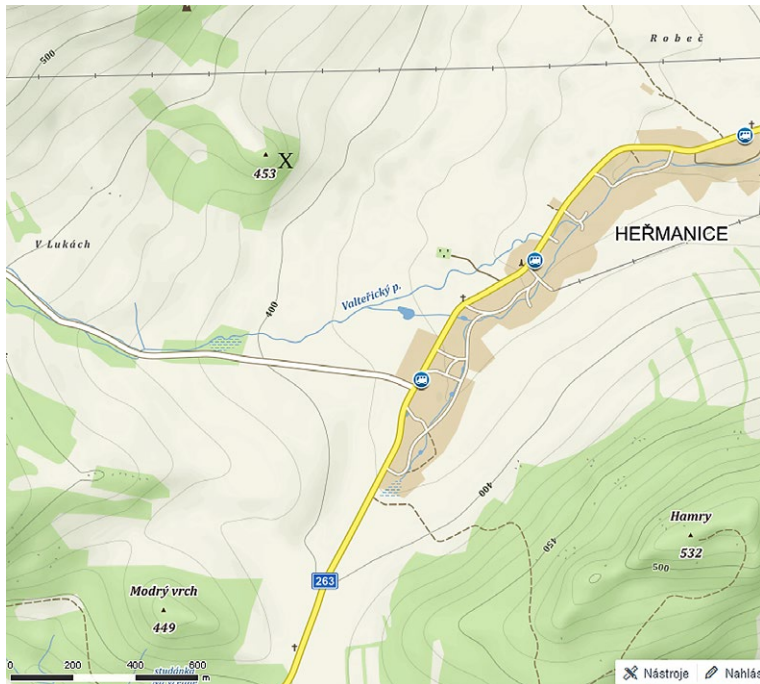
Úvod

Nově objevená lokalita Heřmanice je představována bezejmenným a zčásti zalesněným vrchem s vrcholovou kótou 453 m n. m., na katastru obce Heřmanice (dříve Hermsdorf) v okrese Česká Lípa, přibližně 600 m zsz. nad zdejší hřbitovem (GPS: 50°40'25" N; 14°23'25" E), asi 10 km zjz. od České Lípy (obr. 1). Tento dnes bezejmenný vrch je na císařském povinném otisku mapy stabilního katastru Čech (obec Velká Javorská) z let 1824 - 1843 označen názvem „Am Leipper Stiege“. Celý východní a částečně severovýchodní svah vrchu je rozčleněn do vodorovných teras s desítky metrů dlouhými kamennými zídkami, stavěnými patrně v souvislosti s potřebou zemědělského využití těchto ploch ve vzdálenější minulosti. Dnes jsou terasy zašlé a z větší části zarůstají listnatými stromy a křovinatou vegetací. Neobvykle rozsáhlý systém teras by si zasloužil pozornost historiků či archeologů. Horninový materiál se zeolitovou mineralizací se vyskytuje volně na nevelkých haldách (obr. 2, 3), z části je obsažen i v opěrných zdech starých teras. Z mineralogického hlediska jde o zcela nový a v mineralogické literatuře dosud nepublikovaný výskyt zeolitové mineralizace.

Masiv vrchu je tvořen intruzí sodalitického tefritu s lemem subvulkanické čedičové brekcie. V přímém podloží

vulkanitů jsou uloženy jemně až středně zrnité, jílovité až křemenné pískovce merboltického souvrství svrchní křídly (santon) s vložkami jílovitých prachovců a jílovců. Okolní svahy jsou překryty pleistocenními deluviálními hlinito-kamenitými sedimenty s balvany a bloky (Klein et al. 1991).

Historicky poprvé zaznamenal geologii vrchu Hibsche (1930), který vrch popisuje jako těleso sodalitického tefritu a v jeho okolí na geologické mapě zaznamenává santonské lupky a písky, jejichž stáří tehdy ještě považoval za oligocenní. V popisu samotného sodalitického tefritu uvádí toto těleso pod názvem „Blauer Berg“ (Modrý vrch), který však ve skutečnosti leží 1.5 km jiv. odtud a je tvořen intruzí olivinického nefelinitu, což potvrzuje i záznam příslušného mapového listu. Sodalitické tefrity Hibsche (1930) podle vzájemného poměru tmavých a světlých minerálů základní hmoty dále rozlišuje na čedičové a fonolitové, přičemž sodalitický tefrit tohoto vrchu považuje za fonolitový. Ve starší práci Sengera (1919) sice najdeme podrobný popis tefritových příkrovů Strážného a Havraního vrchu mezi obcemi Merboltice a Velká Javorská severovýchodně od popisované lokality, přičemž jsou tyto příkrovy zaznamenány i formou schematizované mapky, avšak těleso popisované lokality na ní zaznamená-



Obr. 1 Topografická mapa okolí Heřmanic s vyznačením zeolitové lokality (X), podle www.mapy.cz.



Obr. 2 Zeolitová lokalita Heřmanice (2017), foto P. Pauliš.



Obr. 3 Zeolitová lokalita Heřmanice (2017), foto P. Pauliš.

no není. Nejbližší tefritový příkrov ležící 500 m severovýchodně odtud popisuje Senger (1919) jako sodalitický haüynický tefrit.

Metodika výzkumu

Rentgenová prášková difrakční data byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s polovodičovým, pozičně citlivým detektorem LynxEye, za užití CuK α záření (40 kV, 40 mA). Práškové preparáty byly naneseny v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku a následně pak byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.01°, načítací čas 8 s/krok detektoru, celkový čas experimentu cca 15 hod.). Pozice jednotlivých difrakčních maxim byly popsány profilovou funkcí Pseudo-Voigt a upřesněny profilovým fitováním v programu HighScore Plus. Mřížkové parametry byly vypřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Celref (Laugier, Bochu 2011).

Zeolity byly předběžně identifikovány energiově disperzním spektrometrem Oxford Instruments XMAX 80 spojeným se skenovacím elektronovým mikroskopem Tescan Mira3 (Česká geologická služba, Praha), operujícím při urychlovacím napětí 15 kV na naleštěných zrnech identifikovaných minerálů. Kvantitativně bylo chemické složení zeolitů studováno pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha, analytik Z. Dolníček) za podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 5 nA, průměr svazku 10 μ m, standardy: baryt (BaL α), albit (NaK α), sanidin (SiK α , AlK α , KK α), rodonit (MnK α), diopsid (MgK α), apatit (PK α), hematit (FeK α), ZnO (ZnK α), celestin (SK α , SrL α), Cs sklo (CsK α), wollastonit (CaK α) a LiF (FK α). Obsahy prvků Cs, Fe, Mg, Mn, P, S, Zn a F byly pod mezí detekce přístroje (cca 0.03 - 0.05 hm. %). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Charakteristika zjištěné mineralizace

Lokalita Heřmanice byla objevena v dubnu 2017 druhým a třetím z autorů této publikace (PZ, VZ) při mineralogicko-topografickém průzkumu výskytu zeolitů v oblasti Českého středohoří a Lužických hor. Od té doby byla lokalita opakovaně navštěvována. Drobné, v terénu poměrně nenápadné vulkanické těleso je tvořeno dle geologického mapování vulkanickou brekcií, již pronikají analcimické tefrity. Západní částí vyvýšeniny proniká ve směru JV - SZ žila bazaltoidní horniny o mocnosti 1 - 2 metry. Centrální vrchol vyvýšeniny je tvořen v menší míře brekcií, jinak převážně několika typy silně proplyněných bazaltoidních hornin. Extrémně dutinaté partie obsahují až 600 dutinek o velikosti až 10 mm na dm³ a jsou tvořeny světlejší hor-

ninou šedavé barvy. Méně dutinaté partie tvoří pevnější bazaltoidní hornina, šedo zelenavé až černošedavé barvy s dutinami velikosti od 1 do 8 cm. Tyto dva zmíněné typy na lokalitě nejrozšířenějších hornin se od sebe částečně liší vzhledem, pevností, četností výskytu zeolitů a složením. Společným znakem obou typů hornin je poměrně častá přítomnost krystalovaného chabazitu v dutinách.

Vzorek rudohnědého, částečně alteračně postiženého dutinatého bazaltoidu byl podroben petrologickému studiu. Kontrastují v něm velmi hojné, víc než jednu čtvrtinu celkového objemu zaujímající bělavé mandle o rozměrech značně kolísajících od 0.5 až do 10 mm. Jsou vesměs mírně protáhlého, místy až kapkovitého tvaru. Na jejich prostorovém uspořádání není patrné žádné před-

Tabulka 1 Rentgenová prášková data chabazitu-Ca z Heřmanic

<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	1	9.359	100	9.364	3	1	2	3.035	7	3.036	5	1	4	1.8684	1	1.8657
1	1	0	6.892	14	6.907	2	1	4	2.892	31	2.892	4	1	6	1.8089	8	1.8084
0	1	2	6.373	5	6.368	2	2	3	2.845	2	2.844	3	3	6	1.6957	2	1.6959
0	2	1	5.548	18	5.558	0	4	2	2.774	3	2.779	3	2	7	1.6919	2	1.6922
0	0	3	5.028	33	5.015	2	0	5	2.692	10	2.688	0	0	9	1.6697	1	1.6717
2	0	2	4.682	10	4.682	4	1	0	2.607	13	2.611	3	4	5	1.6457	3	1.6463
2	1	1	4.321	94	4.330	2	3	2	2.577	1	2.578	0	4	8	1.5920	1	1.5920
1	1	3	4.057	1	4.058	0	0	6	2.5073	18	2.5075	2	4	7	1.5588	5	1.5577
3	0	0	3.980	7	3.988	4	0	4	2.3400	1	2.3409	5	2	6	1.5217	2	1.5223
1	2	2	3.869	22	3.875	3	3	0	2.2973	5	2.3023	7	1	3	1.5120	3	1.5109
1	0	4	3.594	29	3.588	3	1	5	2.2303	<1	2.2289	4	3	7	1.4507	1	1.4509
2	2	0	3.446	14	3.453	3	0	6	2.1218	1	2.1227	4	4	6	1.4223	<1	1.4222
1	3	1	3.236	7	3.240	3	3	3	2.0923	5	2.0924	1	6	7	1.3910	<1	1.3909
0	2	4	3.186	7	3.184	3	4	2	1.9071	2	1.9028	2	7	4	1.3628	1	1.3623
3	0	3	3.120	<1	3.121	5	0	5	1.8728	5	1.8727						

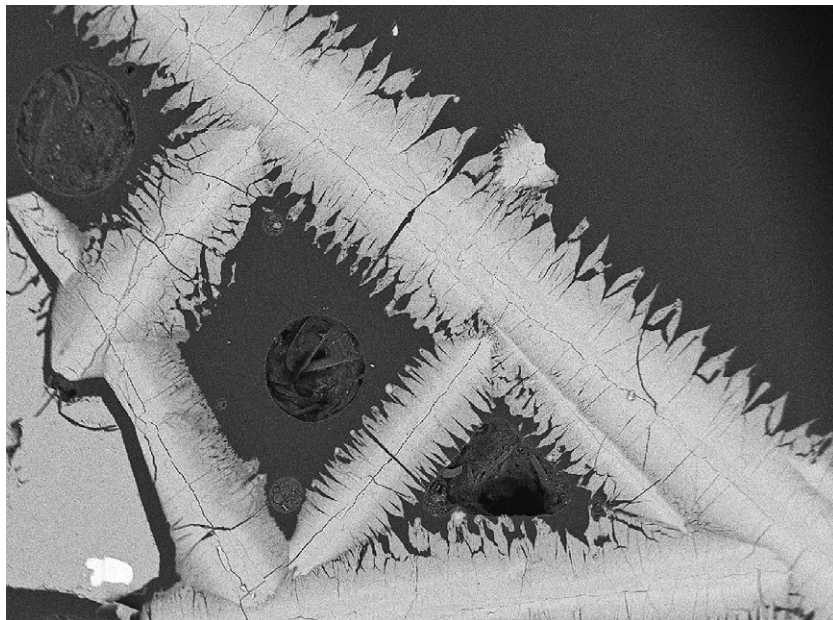
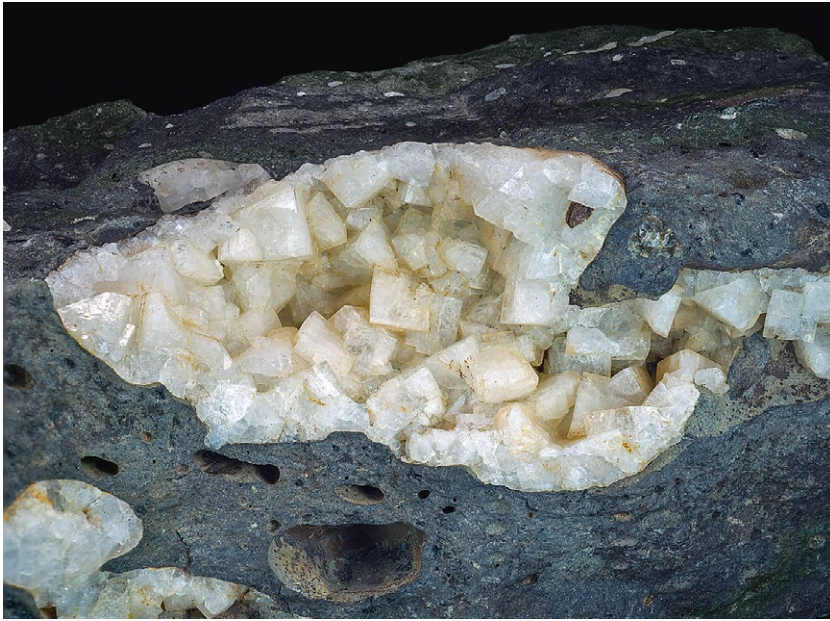
Tabulka 2 Parametry základní cely chabazitu (pro trigonální prostorovou grupu R-3m)

			<i>a</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
chabazit-Ca	Heřmanice	tato práce	13.814(5)	15.0449(3)	2486.3(9)
chabazit-Ca		Yakubovich et al. (2005)	13.831(3)	15.023(5)	2488.83
chabazit-Ca	Kluček	Pauliš et al. (2018)	13.825(5)	15.0289(2)	2487.6(8)
chabazit-Ca	Tachov	Pauliš et al. (2017)	13.833(8)	15.0213(3)	2490(1)
chabazit-Ca	Oldřichov	Pauliš et al. (2016a)	13.820(7)	15.0364(8)	2487.1(9)
chabazit-K	Oldřichov	Pauliš et al. (2016a)	13.832(8)	15.0265(6)	2489(1)
chabazit-Ca	Hackenberg	Pauliš et al. (2014)	13.837(6)	15.0073(4)	2488(1)
chabazit-Ca	Svor	Pauliš et al. (2016b)	13.826(6)	15.0196(3)	2486(1)
chabazit-Ca	Jehla	Pauliš et al. (2015)	13.820(6)	15.0226(4)	2484.9(1)

Tabulka 3 Chemické složení chabazitu-Ca z Heřmanic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	45.74	45.80	45.41	45.33	45.82	46.48	45.62
Al ₂ O ₃	19.57	19.49	19.86	19.76	19.80	19.14	19.38
CaO	9.64	9.69	9.75	9.75	9.63	9.58	9.43
BaO	0.08	0.09	0.03	0.04	0.15	0.15	0.07
SrO	1.92	1.79	1.76	1.95	2.04	1.92	2.08
Na ₂ O	0.11	0.26	0	0.11	0.14	0.01	0.15
K ₂ O	0.52	0.74	0.36	0.45	0.59	0.55	0.40
H ₂ O*	20.69	20.72	20.68	20.58	20.80	20.78	20.57
total	98.27	98.58	97.85	97.97	98.83	98.61	97.70
Si ⁴⁺	7.956	7.951	7.901	7.923	7.927	8.049	7.978
Al ³⁺	4.011	3.989	4.073	4.037	4.037	3.906	3.995
Ca ²⁺	1.796	1.803	1.818	1.826	1.785	1.777	1.767
Ba ²⁺	0.005	0.006	0.002	0.003	0.010	0.010	0.005
Sr ²⁺	0.193	0.180	0.178	0.197	0.205	0.193	0.211
Na ⁺	0.038	0.088	0	0.038	0.048	0.004	0.050
K ⁺	0.115	0.165	0.080	0.101	0.131	0.121	0.088
H ₂ O	12	12	12	12	12	12	12
T _{Si}	0.66	0.67	0.66	0.66	0.66	0.67	0.67

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 24 kyslíků; H₂O* bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 12 H₂O.



nostní uspořádání, což dokládá, že degazace a následné zaplnění dutin proběhlo v pohybově klidovém prostředí. Čedičová hmota, která mandle obklopuje, je velmi jemnozrná a uzavírá nevelké (cca 10 %) množství prizmaticky výrazně protáhlých mafitů, dosahujících délky až 5 mm. I přes zjevnou dílčí alteraci si hornina udržuje značnou pevnost a tvrdost. Její nepravidelně kusovitý mechanický rozpad je zvýrazněn značně ostrými lomnými hranami. Výraznou složkou horniny jsou vyrostlice, jejichž složení je pestřejší než by se z makropohledu zdálo. Tvoří je tři minerální druhy, klinopyroxen s optickými vlastnostmi odpovídajícími čedičovému augitu, sytě hnědý amfibol patrně kaersutitové povahy a v nejmenším zastoupení plagioklas o bazicitě středního až bazického labradoritu. Některé amfibolové vyrostlice jsou zcela bez přeměn, část jich má však charakter silně opacitizovaných oxyhornblendů. Olivín mezi vyrostlicemi chybí. Základní hmota vykazuje proti vyrostlicím prudký rozměrový pokles na dolní setiny až na horní tisíce mm. Tvoří ji plagioklas, nefelin, analcim, klinopyroxen a magnetit. Posledně jmenovaný je zastoupen podílem kolem 10 % a spolu s lištovitým plagioklasem se ze všech součástí základní hmoty vyznačuje relativně nejvyšším stupněm automorfie a značně rovnoměrným rozmístěním. Struktura horniny je drobně porfyrická s holokrystalicky zrnitou strukturou základní hmoty. Výrazným rysem horniny je mandlovcovitá textura. V petrografickém systému přísluší hornině označení mandlovcovitý, drobně porfyrický, nefelinicko-analcimický tefrit.

Obr. 4 Dutina vyplněná krystaly chabazitu-Ca z Heřmanic; foto P. Fuchs, šířka záběru je 50 mm.

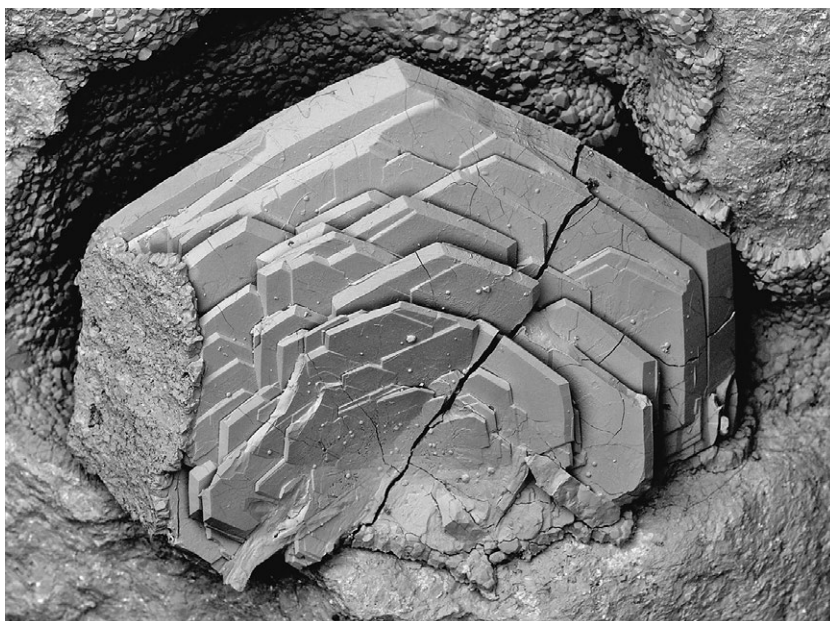
Obr. 5 Skupina tabulkovitých krystalů leucitu-Ca s epitaxními nárůsty erionitu-Ca z Heřmanic; foto P. Fuchs, šířka záběru je 10 mm.

Obr. 6 Řez tabulkovitými krystaly leucitu-Ca s epitaxními nárůsty erionitu-Ca z Heřmanic; BSE foto Z. Dolníček, šířka záběru je 2.2 mm.

V oválných dutinách uvedených hornin se vyskytují největší krystaly chabazitu-Ca, lévynu-Ca a phillipsitu-Ca. Původ těchto hornin lze jednoznačně vysledovat ve vrcholové, zřejmě uměle zarovnané části vyvýšeniny, což bylo potvrzeno několika menšími výkopovými sondami. Tato část lokality má složitou stavbu, charakterizovanou vícečetnými proniky bazaltoidních hornin do vulkanické brekcie a vznikem silně proplyněných kontaktních zón a zčásti i vnitřních partií bazaltoidového tělesa, v nichž se vyvinula výrazná zeolitová mineralizace, která je pro širší oblast Verneřické vrchoviny a Verneřického středohoří všeobecně výjimečná. Mocnost, uložení a směr těchto zajímavých hornin nebylo možno detailněji zdokumentovat, protože chybí přirozené výchozy hornin; lokalita se nalézá na soukromých pozemcích a je zemědělsky využívána.

Všechny studované vzorky zeolitové mineralizace pocházejí z bloků značně dutinatých hornin, nacházejících se volně na povrchu jihovýchodního svahu návrší a v těsném okolí vrcholu, výjimečně i v zídkách starých teras. Mineralizace čedičové žíly pronikající návrším je poměrně chudá. Ve vzácných dutinách o velikosti do 2 cm byly zjištěny až 1 mm velké krystaly phillipsitu, na které výjimečně narůstají až 5 mm velké mladší polokulovité agregáty téměř čirého thomsonitu.

Nejběžnějším minerálem lokality je **chabazit-Ca**. V silně dutinatém typu horniny tvoří často kompaktní výplně, méně často pak charakteristické číré klencové krystaly o velikosti do 3 mm. Zajímavé ukázky chabazitových krystalů lze nalézt v blocích tmavší méně dutinaté horniny. Ve větších dutinách o rozměrech 3 až 8 cm se vyskytují dokonale omezené



Obr. 7 Skupina tabulkovitých krystalů lévynu-Ca z Heřmanic; foto P. Fuchs, šířka záběru je 8 mm.

Obr. 8 Dutina vulkanitu vyplněná krystaly lévynu-Ca z Heřmanic; foto P. Fuchs, šířka záběru je 20 mm.

Obr. 9 Srostlice tabulkovitých krystalů lévynu-Ca; BSE foto B. Ekrť, šířka záběru 2 mm.

klencové krystaly 3 až 10 mm velké (obr. 4). Penetrační dvojčata jsou vzácná. Větší chabazitové krystaly bývají zakalené, často se rozpadají nebo z dutin vypadávají. Ve větších dutinách někdy chabazit-Ca narůstá na starší, drobně krystalovaný, bělavě zakalený phillipsit-Ca.

Rentgenová prášková data chabazitu-Ca z Heřmanic (tab. 1) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 2 porovnány s publikovanými hodnotami pro tento zeolit. V BSE obraze je chabazit-Ca chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Ba, Sr, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec chabazitu-Ca (tab. 3)

(průměr šesti bodových analýz) je na bázi 24 kyslíků možno vyjádřit jako $(Ca_{1.80}K_{0.12}Na_{0.04}Ba_{0.01})_{\Sigma 1.97}(Si_{7.96}Al_{4.01})O_{24} \cdot 12 H_2O$. Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.66$ tohoto chabazitu je ve střední části rozmezí uváděného pro chabazit-Ca (Coombs et al. 1997). Zajímavý je zvýšený obsah Sr, který dosahuje 0.19 *apfu*. Obdobně zvýšené obsahy Sr (1.6 % SrO) byly zjištěny například u chabazitu z Řepčic (Ulrych, Rychlý 1981) či z Jehly (0.15 *apfu*) (Pauliš et al. 2015). Ze světových výskytů jsou stronciem bohaté chabazity-Ca známé např. z italských lokalit z okolí Říma, kde obsahy Sr dosahují až 0.57 *apfu* (Passaglia 1972).

Charakteristickým a velmi hojným zeolitem této lokality je **lévyn-Ca**. Lze dokonce konstatovat, že Heřmanice

Tabulka 4 Rentgenová prášková data lévynu-Ca z Heřmanic

<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	10.308	7	10.337	4	1	3	2.3967	5	2.3985	5	2	6	1.6657	31	1.6683
0	1	2	8.117	26	8.156	2	3	5	2.2961	1	2.2993	2	2	12	1.6619	1	1.6622
0	0	3	7.631	9	7.665	1	0	10	2.2520	1	2.2554	3	5	1	1.6470	2	1.6489
1	1	0	6.656	75	6.681	3	3	0	2.2203	31	2.2271	6	2	1	1.6003	3	1.6009
0	2	1	5.591	7	5.611	0	2	10	2.1384	2	2.1369	2	6	2	1.5867	8	1.5894
1	0	4	5.151	12	5.148	3	0	9	2.1304	5	2.1301	1	6	7	1.5527	3	1.5546
1	1	3	5.013	3	5.037	4	1	6	2.1050	1	2.1087	0	0	15	1.5340	1	1.5330
2	1	1	4.294	5	4.297	5	0	5	2.0640	1	2.0674	4	4	6	1.5286	2	1.5312
3	0	3	4.081	100	3.446	1	5	2	2.0421	1	2.0453	2	6	5	1.5130	1	1.5152
3	0	0	3.844	69	3.857	4	2	5	1.9724	1	1.9750	5	2	9	1.4969	<1	1.5001
2	0	5	3.586	12	3.600	5	1	4	1.9532	1	1.9546	1	5	11	1.4735	4	1.4739
2	1	4	3.471	11	3.481	4	3	1	1.8918	2	1.8960	0	8	1	1.4420	3	1.4437
1	1	6	3.330	42	3.324	1	2	11	1.8872	3	1.8861	5	4	4	1.4322	1	1.4348
1	0	7	3.158	16	3.160	6	0	3	1.8669	<1	1.8704	0	2	16	1.3955	1	1.3948
3	1	2	3.088	10	3.091	5	2	0	1.8478	8	1.8531	2	4	13	1.3760	2	1.3753
4	0	1	2.858	25	2.870	1	1	12	1.8433	1	1.8420	2	7	4	1.3723	1	1.3729
0	4	2	2.803	40	2.806	2	4	7	1.8163	1	1.8204	6	0	12	1.3589	<1	1.3594
2	1	7	2.625	2	2.627	6	1	2	1.7430	1	1.7443	8	1	1	1.3497	2	1.3521
2	2	6	2.517	38	2.518	3	0	12	1.7141	3	1.7161	5	1	13	1.3467	2	1.3471
3	2	4	2.4073	2	2.4103												

Tabulka 5 Parametry základní cely lévynu-Ca (pro trigonální prostorovou grupu R-3m)

	Heřmanice (tato práce)	Hackenberg (Pauliš et al. 2014)	Merlino et al. (1975)
<i>a</i> [Å]	13.363(4)	13.330(3)	13.338(4)
<i>c</i> [Å]	22.995(2)	23.0122(3)	23.0140(90)
<i>V</i> [Å ³]	3556(1)	3541.3(9)	3545.72

Tabulka 6 Chemické složení lévynu-Ca z Heřmanic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	48.39	51.02	51.19	49.57	48.76	50.33	48.33
Al ₂ O ₃	21.67	21.16	21.50	21.21	21.98	22.03	22.14
CaO	10.73	10.08	10.91	10.94	10.89	10.79	10.76
Na ₂ O	0.19	0.00	0.38	0.06	0.13	0.29	0.25
K ₂ O	1.93	2.61	1.46	1.90	1.97	1.53	2.12
H ₂ O*	20.95	21.51	21.72	21.19	21.16	21.58	21.28
total	103.86	106.38	107.16	104.87	104.89	106.55	104.88
Si ⁴⁺	11.771	12.090	12.014	11.922	11.747	11.886	11.579
Al ³⁺	6.211	5.909	5.949	6.012	6.242	6.133	6.250
Ca ²⁺	2.796	2.559	2.743	2.819	2.811	2.730	2.762
Na ⁺	0.091	0.000	0.172	0.029	0.061	0.133	0.115
K ⁺	0.599	0.789	0.437	0.584	0.605	0.460	0.648
H ₂ O	17	17	17	17	17	17	17
T _{Si}	0.65	0.67	0.67	0.66	0.65	0.66	0.65

Empirický vzorec byl přepočten na bázi 36 kyslíků; H₂O* bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 17 H₂O.

Tabulka 8 Parametry základní cely erionitu (pro hexagonální prostorovou grupu $P6_3/mmc$)

	Heřmanice (tato práce)	Gualtieri et al. (1998)
a [Å]	13.309(8)	13.304(1)
c [Å]	15.0700(5)	15.078(2)
V [Å ³]	2312(1)	2311.21

Tabulka 9 Chemické složení erionitu-Ca z Heřmanic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	52.30	53.21	51.29	51.73	52.73	51.64	53.17
Al ₂ O ₃	18.80	18.89	18.66	18.25	19.14	18.94	18.94
MgO	0.27	0.25	0.28	0.27	0.29	0.29	0.26
CaO	6.80	6.97	6.88	6.83	6.28	6.87	6.95
BaO	0.10	0.13	0.06	0.04	0.10	0.18	0.11
SrO	0.39	0.31	0.58	0.32	0.36	0.40	0.38
Na ₂ O	0.06	0.13	0.00	0.00	0.02	0.06	0.11
K ₂ O	4.65	4.28	6.44	4.49	4.11	4.34	4.26
H ₂ O*	18.22	18.83	18.47	18.30	18.48	18.45	18.83
total	101.59	103.00	102.66	100.23	101.51	101.17	103.01
Si ⁴⁺	25.815	25.415	24.981	25.419	25.663	24.938	25.394
Al ³⁺	10.938	10.635	10.711	10.570	10.977	10.884	10.664
Mg ²⁺	0.199	0.178	0.202	0.198	0.211	0.211	0.186
Ca ²⁺	3.598	3.567	3.591	3.596	3.275	3.588	3.556
Ba ²⁺	0.021	0.022	0.012	0.009	0.020	0.035	0.020
Sr ²⁺	0.113	0.086	0.164	0.292	0.102	0.114	0.106
Na ⁺	0.059	0.121	0.000	0.000	0.018	0.059	0.103
K ⁺	2.930	2.606	4.003	2.817	2.550	2.701	2.594
H ₂ O	30	30	30	30	30	30	30
T _{Si}	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70

Empirický vzorec erionitu-Ca byl přepočten na bázi 72 kyslíků; H₂O* bylo do počítáno na základě teoretického obsahu 30 H₂O.



Obr. 12 Dutina vyplněná krystaly analcimu z Heřmanic; foto P. Fuchs, šířka záběru je 3 mm.

hladký povrch jejich ploch bez nejmenšího náznaku epitaxních nárůstů erionitu. Kromě lévynu-Ca se v těchto dutinách vyskytují pouze velmi drobné (0.X mm) krystaly analcimu.

Rentgenová prášková data lévynu-Ca z Heřmanic (tab. 4) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry základní cely (tab. 5) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit. V BSE obraze je lévyn-Ca chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec lévynu-Ca (tab. 6) (průměr šesti bodových analýz) je na bázi 36 kyslíků možno vyjádřit jako $(Ca_{2.80}K_{0.60}Na_{0.09})_{\Sigma 3.49}(Si_{11.77}Al_{6.21})O_{36} \cdot 17 H_2O$. Vypočtená hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.65$ je ve střední části rozmezí uváděného pro tento minerální druh (Coombs et al. 1997).

Poměrně častým průvodcem lévynu-Ca je **erionit-Ca**, který vytváří epitaxní nárůsty velmi jemných jehliček na jeho krystalových plochách (obr. 5, 6, 10). Samostatně výplně dutin (bez přítomnosti lévynu) erionitu-Ca na studované lokalitě zjištěny nebyly.

Rentgenová prášková data erionitu-Ca z Heřmanic (tab. 7) jsou blízká datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry (tab. 8) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit (Gualtieri et al. 1998). Při studiu jeho chemického složení (tab. 9) byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Ba, Sr, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec erionitu-Ca z Heřmanic (průměr šesti bodových analýz) je na bázi 72 kyslíků možno vyjádřit jako $(Ca_{3.60}K_{2.93}Mg_{0.20}Na_{0.06}Sr_{0.11}Ba_{0.02})_{\Sigma 6.92}(Si_{25.81}Al_{10.94})O_{72} \cdot 30 H_2O$. Vypočtená hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.70$ se nachází při spodní hranici uváděného rozmezí (0.68 - 0.79 - Coombs et al. 1997). Tak jako u chabazitu-Ca byl v erionitu-Ca zjištěn zvýšený obsah Sr, který dosahuje 0.11 *apfu*. Řádově obdobná příměs SrO (0.17 *apfu*) byla zjištěna u erionitu-K z Jehly (Pauliš et al. 2015). Příměs MgO, která u erionitu-Ca z Heřmanic dosahuje 0.20 *apfu*, je u řady analyzovaných erionitů ze světových lokalit běžná (Tschernich 1992; Deer et al. 2004).

Nenápadným zeolitem této lokality je **analcim** tvořící pouze drůzy drobných krystalů, které pokrývají menší dutiny, v nichž často následně krystalizovaly mladší zeolity - lévyn-Ca, případně phillipsit-Ca či thomso-

Tabulka 10 Rentgenová prášková data analcimu z Heřmanic

<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	2	5.607	54	5.594	4	0	4	2.4207	5	2.4221	3	4	7	1.5931	2	1.5928
2	0	2	4.850	14	4.844	2	3	5	2.2285	4	2.2227	4	2	8	1.4947	1	1.4950
1	2	3	3.669	4	3.662	3	1	6	2.0195	1	2.0202	6	5	5	1.4778	<1	1.4775
0	0	4	3.427	100	3.425	6	0	4	1.8990	3	1.9000	6	4	6	1.4602	<1	1.4606
0	2	4	3.072	1	3.064	2	5	5	1.8643	2	1.8645	5	4	7	1.4434	<1	1.4443
3	2	3	2.920	27	2.921	2	3	7	1.7406	6	1.7401	3	6	7	1.4131	1	1.4132
2	2	4	2.802	3	2.797	0	0	8	1.7129	2	1.7127	6	0	8	1.3699	2	1.3701
1	3	4	2.686	10	2.687	1	4	7	1.6877	1	1.6865	2	7	7	1.3565	<1	1.3566
2	1	5	2.507	6	2.502	6	0	6	1.6136	1	1.6147						

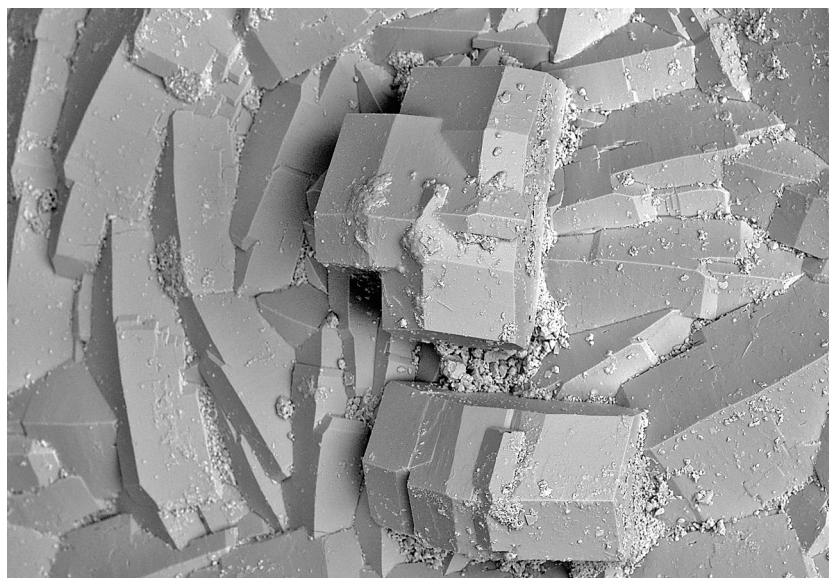
Tabulka 11 Parametry základní cely analcimu (pro kubickou prostorovou grupu Ia-3d)

	Heřmanice tato práce	Tachovský vrch Pauliš et al. (2017)	Gatta et al. (2006)	Hackenberg Pauliš et al. (2014)
<i>a</i> [Å]	13.701(5)	13.709(6)	13.6999(3)	13.703(5)
<i>V</i> [Å ³]	2572(1)	2576(1)	2571.3	2573(1)

Tabulka 12 Chemické složení analcimu z Heřmanic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	53.94	53.78	53.29	53.33	53.84	54.87	54.52
Al ₂ O ₃	21.19	21.34	21.14	21.04	21.02	21.35	21.27
CaO	0.11	0.12	0.10	0.09	0.10	0.12	0.12
Na ₂ O	12.33	11.82	12.49	12.37	12.53	12.57	12.17
K ₂ O	0.14	0.13	0.15	0.14	0.13	0.15	0.16
H ₂ O*	7.87	7.85	7.81	7.81	7.86	7.99	7.93
total	95.58	94.91	94.98	94.78	95.48	97.05	96.17
Si ⁴⁺	2.054	2.055	2.046	2.049	2.055	2.058	2.062
Al ³⁺	0.951	0.961	0.957	0.952	0.946	0.944	0.948
Ca ²⁺	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005
Na ⁺	0.910	0.876	0.930	0.921	0.927	0.914	0.892
K ⁺	0.007	0.006	0.007	0.007	0.006	0.007	0.008
H ₂ O	1	1	1	1	1	1	1
T _{Si}	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68

Empirický vzorec byl přepočten na bázi šesti kyslíků; H₂O* bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 1 H₂O.



Obr. 13 Skupina krystalů phillipsitu-Ca z Heřmanic; BSE foto B. Ekrť, šířka záběru 1.2 mm.

nit-Ca (obr. 11). Analcim tvoří čiré, skelně lesklé krystaly charakteristického tvaru dvacetičtyřstěnu deltoidového o velikosti 0.2 - 0.8 mm (obr. 12).

Rentgenová prášková data analcimu z Heřmanic (tab. 10) jsou v souladu s daty pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry základní cely (tab. 11) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit. V BSE obraze je analcim chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 12) byly zjištěny pouze obsahy Si, Al, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec analcimu z Heřmanic (průměr sedmi bodových analýz) je na bázi šesti kyslíků možno vyjádřit jako $\text{Na}_{0.91}\text{K}_{0.01}(\text{Al}_{0.95}\text{Si}_{2.05})\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Téměř výhradně v tmavším a kompaktnějším bazaltoidu se v protáhlých dutinách vyskytuje **phillipsit-Ca**, jehož bělavé krystaly o velikosti 1 - 4 mm (obr. 13) a jejich

srostlice (obr. 14) tvoří souvislé kúry. V některých případech jsou doprovázeny mladším chabazitem-Ca. Naopak jen vzácně se vyskytuje společně s polokulovitými agregáty thomsonitu. Ve větších dutinách tvoří phillipsit-Ca i čtyřčetné srostlice. Na základě detailního studia bylo zjištěno, že phillipsitem jsou též až 10 mm velké polokulovité, někdy příčně rozpraskané agregáty, které byly zpočátku na základě neúplných dat považované za garronit (obr. 15). Tento typ phillipsitu-Ca byl nalezen v drobných dutinách společně s analcimem, thomsonitem-Ca a poměrně často i s lévnyem-Ca.

Rentgenová prášková data phillipsitu-Ca z Heřmanic (tab. 13) dobře odpovídají uváděným datům pro tento minerální druh, jeho zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 14 porovnány s publikovanými údaji. V BSE obraze je phillipsit-Ca chemicky poměrně homogenní. Při

Tabulka 13 Rentgenová prášková data phillipsitu-Ca z Heřmanic

<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	8.094	3	8.136	0	1	3	2.3557	<1	2.3567	2	2	3	1.6376	3	1.6376
0	2	0	7.144	100	7.157	-4	0	1	2.3385	3	2.3399	-5	4	4	1.6337	3	1.6340
0	1	1	6.388	14	6.409	-2	4	3	2.2557	2	2.2593	-6	0	2	1.6099	2	1.6093
1	2	0	5.358	15	5.374	2	4	1	2.2497	1	2.2516	-3	6	4	1.6059	1	1.6064
0	2	1	5.047	19	5.065	-4	2	3	2.2311	3	2.2314	-6	1	4	1.6037	1	1.6034
-2	0	1	4.962	6	4.961	-4	2	1	2.2254	3	2.2240	0	8	2	1.6008	1	1.6008
-1	0	2	4.311	5	4.315	3	0	1	2.1595	2	2.1601	-6	1	2	1.5996	1	1.5992
1	0	1	4.281	6	4.295	-3	1	4	2.1483	1	2.1483	2	6	2	1.5964	1	1.5961
-1	1	2	4.131	20	4.132	-3	5	2	2.1427	1	2.1415	-2	3	5	1.5921	2	1.5919
-2	0	2	4.101	35	4.091	-3	2	4	2.0787	1	2.0792	-6	2	2	1.5698	1	1.5701
-1	2	2	3.691	1	3.696	-2	2	4	2.0652	<1	2.0659	-3	8	2	1.5651	<1	1.5648
0	1	2	3.533	1	3.477	-2	6	2	2.0608	1	2.0608	4	6	0	1.5479	2	1.5478
-3	0	1	3.217	8	3.219	-2	5	3	2.0430	1	2.0419	-6	3	4	1.5291	1	1.5285
0	4	1	3.201	41	3.202	-4	4	2	2.0381	1	2.0386	-5	6	3	1.5179	<1	1.5178
-3	1	1	3.138	18	3.140	-1	1	4	1.9887	<1	1.9886	-6	0	1	1.4981	<1	1.4982
-3	2	1	2.932	8	2.935	-3	3	4	1.9769	4	1.9775	-1	3	5	1.4947	<1	1.4949
-2	0	3	2.916	8	2.913	-4	4	3	1.9630	2	1.9634	-5	4	5	1.4880	1	1.4881
-1	0	3	2.759	8	2.759	4	2	0	1.9568	1	1.9565	2	7	2	1.4808	3	1.4809
-1	4	2	2.757	12	2.755	-5	0	4	1.8372	2	1.8366	-6	4	4	1.4703	<1	1.4709
1	0	2	2.750	14	2.750	-2	7	2	1.8313	1	1.8290	-6	4	2	1.4674	1	1.4677
-1	1	3	2.707	11	2.709	2	7	0	1.8268	2	1.8270	2	5	3	1.4499	<1	1.4503
1	1	2	2.701	11	2.701	1	6	2	1.8010	1	1.8021	-4	7	4	1.4460	<1	1.4461
-2	4	2	2.693	19	2.693	3	6	0	1.7912	6	1.7912	0	10	0	1.4315	1	1.4313
2	4	0	2.688	5	2.687	-5	2	4	1.7786	3	1.7790	-4	2	6	1.4279	1	1.4275
-3	1	3	2.677	11	2.679	4	4	0	1.7687	2	1.7683	5	0	1	1.4210	1	1.4209
-3	3	1	2.669	2	2.668	-3	1	5	1.7326	<1	1.7330	-7	0	4	1.4119	1	1.4114
0	5	1	2.658	5	2.659	-5	4	2	1.7213	1	1.7218	-5	2	6	1.4015	1	1.4017
-1	2	3	2.572	3	2.574	2	5	2	1.7187	2	1.7179	-4	6	5	1.3982	1	1.3984
-3	2	3	2.545	1	2.548	-5	3	4	1.7142	2	1.7140	-7	2	4	1.3847	1	1.3848
3	2	0	2.538	1	2.536	-2	8	1	1.6836	2	1.6831	-3	8	4	1.3805	1	1.3812
0	0	3	2.3894	4	2.3893	-1	5	4	1.6438	4	1.6439	0	3	5	1.3728	2	1.3729
1	3	2	2.3834	4	2.3826	1	5	3	1.6415	3	1.6413	-5	7	4	1.3668	3	1.3664

Tabulka 14 Parametry základní cely phillipsitu (pro monoklinickou prostorovou grupu $P2_1/m$)

			<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	β [°]	<i>V</i> [Å ³]
phillipsit-Ca	Heřmanice	tato práce	9.922(2)	14.314(4)	8.742(2)	124.91(3)	1018.0(4)
phillipsit-K	Vrbička	Pauliš et al. (2013)	9.919(3)	14.314(3)	8.740(3)	124.93(1)	1017.5(6)
phillipsit-K	Nový Oldřichov	Pauliš et al. (2016a)	9.925(1)	14.312(3)	8.740(2)	124.92(3)	1018.0(3)
phillipsit-Ca	Nový Oldřichov	Pauliš et al. (2016a)	9.922(1)	14.313(3)	8.743(2)	124.91(2)	1018.1(3)
phillipsit-K	Svor	Pauliš et al. (2016b)	9.924(2)	14.315(3)	8.742(2)	124.93(7)	1018.2(4)
phillipsit		Gatta et al. (2009)	9.9238(6)	14.3145(5)	8.7416(5)	124.920(9)	1018.2
phillipsit-Ca	Jehla	Pauliš et al. (2015)	9.924(2)	14.321(4)	8.737(2)	124.92(3)	1017.4(4)
phillipsit-K	Hackenberg	Pauliš et al. (2014)	9.917(4)	14.314(8)	8.737(4)	124.92(0)	1016.9(9)

studiu jeho chemického složení byly zjištěny obsahy Si, Al, Ca, Ba, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Podle chemického složení je možno ve studovaném materiálu rozlišit phillipsit-Ca s vyšším a nižším obsahem K. V prvním případě je možné empirický vzorec (tab. 15; průměr pěti bodových analýz) vyjádřit jako $(Ca_{2.14}K_{1.56}Na_{0.15}Ba_{0.02})_{\Sigma 3.87}(Si_{10.19}Al_{5.74})O_{32} \cdot 12 H_2O$. Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.64$ tohoto typu je ve střední části uváděného rozmezí (Coombs et al. 1997). Empirický vzorec phillipsitu-Ca s nižším obsahem K, který tvoří agregáty podobné garronitu (tab. 16; průměr osmi bodových analýz) je možno na bázi 32 kyslíků vyjádřit jako $(Ca_{2.80}K_{0.62}Na_{0.29}Ba_{0.04})_{\Sigma 3.75}(Si_{11.18}Al_{6.43})O_{32} \cdot 12 H_2O$. Hodnota $T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.63$ tohoto typu se také nachází ve střední části uváděného rozmezí (Coombs et al. 1997).

Poměrně vzácným zeolitem této lokality je **thomsonit-Ca**, který vytváří polokulovité bělavé až nažloutlé polokulovité agregáty o velikosti do 6 mm (obr. 16), většinou s téměř hladkým povrchem. Lištovitě zakončení krystalů plochou (001) je patrné pouze při dostatečném zvětšení. Thomsonit-Ca se vyskytuje v dutinách nejčastěji se starším phillipsitem-Ca (obr. 17). Vzácněji jeho polokulovité agregáty porůstají až 1.5 mm velké čiré klenče chabazitu-Ca či destičkovité krystaly lévny-Ca (obr. 18).

Rentgenová prášková data thomsonitu-Ca z Heřmanic (tab. 17) jsou blízká uváděným datům pro tento minerální druh, jeho zpfesněné parametry základní cely (tab. 18) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento zeolit. V BSE obraze je thomsonit-Ca chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 19) byly zjištěny pouze obsahy Si, Al, Ca a Na; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec thomsonitu-Ca (průměr šesti bodových analýz) je na bázi 20 kys-



Obr. 14 Dutina vyplněná krystaly phillipsitu-Ca z Heřmanic. Foto P. Fuchs, šířka záběru je 4 mm.



Obr. 15 Agregáty phillipsitu-Ca připomínající garronit z Heřmanic; foto P. Fuchs, šířka záběru je 8 mm.

Obr. 16 Kulovitý agregát thomsonitu-Ca z Heřmanic; foto P. Fuchs, šířka záběru je 10 mm.



Tabulka 15 Chemické složení phillipsitu-Ca z Heřmanic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5
SiO ₂	47.01	46.42	47.22	47.43	46.56	47.42
Al ₂ O ₃	22.46	22.07	22.38	23.09	22.15	22.59
CaO	9.23	9.49	9.11	8.95	9.32	9.26
BaO	0.29	0.21	0.33	0.19	0.27	0.43
Na ₂ O	0.36	0.29	0.31	0.37	0.38	0.46
K ₂ O	5.63	5.36	5.55	5.96	5.61	5.67
H ₂ O*	16.60	16.39	16.61	16.81	16.45	16.75
total	101.58	100.23	101.51	102.80	100.74	102.58
Si ⁴⁺	10.187	10.188	10.228	10.152	10.182	10.189
Al ³⁺	5.737	5.709	5.713	5.526	5.708	5.722
Ca ²⁺	2.143	2.231	2.114	2.052	2.184	2.131
Ba ²⁺	0.025	0.019	0.029	0.015	0.024	0.036
Na ⁺	0.151	0.124	0.130	0.154	0.160	0.191
K ⁺	1.557	1.501	1.533	1.628	1.566	1.554
H ₂ O	12	12	12	12	12	12
T _{Si}	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64

Empirické vzorce jsou přepočteny na bázi 32 kyslíků; H₂O* bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 12 H₂O.

Tabulka 16 Chemické složení phillipsitu-Ca z Heřmanic - agregáty vzhledově připomínající garronit (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	49.54	49.43	50.04	50.53	50.39	48.99	48.05	49.21	49.71
Al ₂ O ₃	24.16	24.33	24.19	24.47	23.85	24.30	23.71	24.00	24.40
CaO	11.60	11.73	11.05	12.05	11.80	12.07	11.14	11.18	11.81
BaO	0.41	0.31	0.58	0.26	0.39	0.27	0.60	0.47	0.43
Na ₂ O	0.66	0.97	0.75	1.22	0.59	0.51	0.29	0.40	0.54
K ₂ O	2.17	1.80	2.49	1.22	2.07	1.69	3.12	2.82	2.12
H ₂ O*	15.94	17.61	17.68	17.91	16.07	17.49	15.52	15.84	15.93
total	104.48	106.18	106.78	107.66	105.16	105.32	102.43	103.92	104.97
Si ⁴⁺	11.179	10.097	10.184	10.151	11.280	10.077	11.141	11.410	11.225
Al ³⁺	6.427	5.857	5.801	5.794	6.292	5.891	6.479	6.559	6.494
Ca ²⁺	2.804	2.578	2.409	2.594	2.830	2.650	2.767	2.778	2.857
Ba ²⁺	0.037	0.025	0.046	0.021	0.034	0.022	0.054	0.043	0.038
Na ⁺	0.287	0.385	0.296	0.476	0.256	0.203	0.131	0.181	0.236
K ⁺	0.624	0.469	0.646	0.311	0.482	0.443	0.922	0.836	0.619
H ₂ O	12	12	12	12	12	12	12	12	12
T _{Si}	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63

Empirické vzorce jsou přepočteny na bázi 32 kyslíků; H₂O* bylo dopočítáno na základě teoretického obsahu 12 H₂O.



Obr. 17 Polokulovitý agregát thomsonitu-Ca narůstající na phillipsit-Ca z Heřmanic; foto B. Bureš, šířka záběru je 9 mm.

líků možno vyjádřit jako $\text{Ca}_{1.86}\text{Na}_{0.98}(\text{Si}_{5.43}\text{Al}_{4.53})\text{O}_{20} \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$. Vypočtená hodnota $T_{\text{Si}} = \text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}) = 0.55$ se nachází při horní hranici rozmezí uváděného pro thomsonit-Ca (Coombs et al. 1997).

Vzácným zeolitem lokality je **cowlesit**. Dosud tu byly nalezeny pouze tři vzorky. Dva pocházejí z pevného tmavého bazaltoidu z kontaktu s vulkanickou brekcií, kde vystupuje v asociaci s lévynem-Ca a chabazitem-Ca.

V 3 - 8 mm velkých dutinách tvoří tento zeolit bělošedé polokulovité agregáty o velikosti do 2 mm (obr. 19). Další vzorek byl nalezen v silně proplyněném bazaltoidu v cca 5 mm velké dutině v asociaci s phillipsitem-Ca a celistvým chabazitem-Ca. Cowlesit tu opět tvoří velmi drobné (do 0.5 mm) polokulovité agregáty hnědavé barvy. V BSE obraze je cowlesit chemicky homogenní. Při studiu jeho chemického složení (tab. 20) byly zjiště-



Obr. 18 Polokulovitý agregát thomsonitu-Ca s krystaly lévynu-Ca z Heřmanic; foto P. Fuchs, šířka záběru je 10 mm.

Tabulka 17 Rentgenová prášková data thomsonitu-Ca z Heřmanic

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs}	<i>I</i> _{obs}	<i>d</i> _{calc}
1	1	0	9.254	16	9.249	4	1	3	2.580	4	2.579	4	4	5	1.7436	3	1.7420
2	0	0	6.548	91	6.552	3	4	1	2.566	7	2.565	5	4	4	1.7394	1	1.7391
1	0	2	5.895	13	5.911	1	5	0	2.561	7	2.561	0	7	3	1.7184	12	1.7182
2	1	1	5.367	1	5.356	3	4	2	2.4315	7	2.4321	3	2	7	1.6780	1	1.6779
2	2	0	4.628	100	4.625	4	4	0	2.3130	3	2.3123	7	3	2	1.6642	1	1.6645
1	2	2	4.378	12	4.382	4	4	1	2.2795	2	2.2779	2	5	6	1.6324	2	1.6327
0	3	1	4.136	55	4.135	4	3	3	2.2542	6	2.2515	5	6	2	1.6237	3	1.6232
3	1	1	3.948	1	3.954	0	5	3	2.2482	6	2.2476	2	4	7	1.5877	3	1.5882
2	2	2	3.790	2	3.792	2	4	4	2.1886	8	2.1908	2	8	0	1.5837	3	1.5837
1	3	2	3.505	21	3.505	4	4	2	2.1832	20	2.1831	4	7	2	1.5748	3	1.5745
4	0	0	3.280	20	3.276	1	0	6	2.1778	35	2.1768	3	5	6	1.5726	1	1.5728
1	0	4	3.204	7	3.210	3	5	2	2.1229	3	2.1231	6	6	0	1.5412	1	1.5415
2	3	2	3.180	14	3.180	2	1	6	2.0664	7	2.0656	5	7	2	1.4814	1	1.4812
3	3	0	3.081	4	3.083	2	5	4	1.9573	1	1.9569	0	8	4	1.4638	4	1.4639
4	2	0	2.926	44	2.928	4	5	2	1.9509	2	1.9514	5	7	3	1.4368	<1	1.4369
4	2	1	2.858	36	2.859	3	6	2	1.8685	2	1.8687	1	7	6	1.4167	2	1.4164
2	4	1	2.852	5	2.853	6	0	4	1.8253	1	1.8231	9	2	1	1.4132	1	1.4130
3	3	2	2.792	6	2.795	6	4	0	1.8142	14	1.8152	9	3	0	1.3807	1	1.3808
2	2	4	2.692	8	2.692	2	1	7	1.8003	3	1.8005	2	8	5	1.3595	2	1.3593
4	2	2	2.676	32	2.678	6	2	4	1.7542	1	1.7560	5	8	2	1.3560	1	1.3561
2	4	2	2.670	2	2.673												

Tabulka 18 Parametry základní cely thomsonitu-Ca (pro ortorombickou prostorovou grupu *Pnca*)

	Heřmanice (tato práce)	Tachovský vrch (Pauliš et al. 2017)	Stahl et al. (1990)	Hackenberg Pauliš et al. (2014)
<i>a</i> [Å]	13.104(2)	13.1081(14)	13.1043(14)	13.104(2)
<i>b</i> [Å]	13.0570(19)	13.0558(18)	13.0569(18)	13.056(1)
<i>c</i> [Å]	13.245(3)	13.2448(16)	13.2463(30)	13.247(2)
<i>V</i> [Å ³]	2266.2(6)	2266.7(5)	2266.46	2266.4(6)

Tabulka 19 Chemické složení thomsonitu-Ca z Heřmanic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	37.64	36.66	37.10	37.94	37.71	37.86	38.54
Al ₂ O ₃	26.63	26.79	26.85	26.84	26.53	26.11	26.65
CaO	12.04	12.47	12.50	12.06	11.67	11.76	11.77
Na ₂ O	3.49	3.40	3.44	3.52	3.49	3.52	3.54
H ₂ O*	12.47	12.35	12.45	12.56	12.43	12.40	12.61
total	92.27	91.67	92.34	92.92	91.83	91.65	93.11
Si ⁴⁺	5.429	5.338	5.362	5.433	5.456	5.491	5.496
Al ³⁺	4.528	4.599	4.573	4.529	4.524	4.463	4.480
Ca ²⁺	1.861	1.946	1.935	1.851	1.809	1.827	1.799
Na ⁺	0.976	0.961	0.964	0.977	0.979	0.990	0.979
H ₂ O	6	6	6	6	6	6	6
T _{Si}	0.55	0.53	0.54	0.55	0.54	0.55	0.55

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

**Obr. 19** Dutina vyplněná radiálně paprsciťými agregáty cowlesitu z Heřmanic; foto P. Fuchs, šířka záběru je 7 mm.**Tabulka 20** Chemické složení cowlesitu z Heřmanic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5
SiO ₂	43.54	45.86	44.03	41.65	41.30	44.85
Al ₂ O ₃	22.81	23.31	22.59	22.83	21.84	23.44
CaO	11.78	12.57	12.70	12.70	10.36	10.59
Na ₂ O	0.63	0.79	0.72	0.33	0.71	0.68
K ₂ O	0.13	0.11	0.09	0.10	0.06	0.31
H ₂ O*	21.01	22.08	21.71	20.64	19.96	21.49
total	99.90	104.72	101.84	98.25	94.28	101.36
Si ⁴⁺	3.107	3.113	3.040	3.025	3.102	3.128
Al ³⁺	1.919	1.865	1.838	1.954	1.938	1.927
Ca ²⁺	0.901	0.914	0.940	0.988	0.834	0.791
Na ⁺	0.088	0.104	0.096	0.046	0.104	0.092
K ⁺	0.012	0.010	0.008	0.010	0.005	0.028
H ₂ O	5	5	5	5	5	5
T _{Si}	0.62	0.62	0.62	0.61	0.62	0.62

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

ny pouze obsahy Si, Al, Ca, Na a K; ostatní měřené prvky byly pod mezí detekce. Empirický vzorec cowlesitu (průměr pěti bodových analýz) je na bázi 10 kyslíků možno vyjádřit jako (Ca_{0.90}Na_{0.09}K_{0.01})_{Σ1.00}(Si_{3.11}Al_{1.92})O₁₀·5 H₂O. Hodnota T_{Si} = Si/(Si+Al) = 0.62 je v horní části rozmezí publikovaného pro tento minerální druh (Coombs et al. 1997).

Dalším vzácným zeolitem je **gismondin**, který vytváří číré krystaly charakteristického dipyramidálního habitu o velikosti jen do 0.6 mm (obr. 20). Jeho samostatné krystaly narůstají v drobných dutinách na bělavý, drobně krystalovaný phillipsit-Ca. Výskyt gismondinu je vázán na úlomky deskovitě odlučných tmavých bazaltoidů, které jsou poměrně vzácnou součástí volné sutě. Vzhledem k malým rozměrům tohoto minerálu bylo provedeno pouze orientační stanovení jeho chemického složení. Průměr dvou bodových EDS analýz, provedených na úlomku krystalu, byl přepočten na teoretický obsah H₂O (22 hm. %): 16 CaO; 29 Al₂O₃ a 33 SiO₂ hm. % a je blízký teoretickým hodnotám pro tuto minerální fázi.

Nejmladším minerálem, který doprovází zeolity na této lokalitě, je **kalcit**. Je poměrně podružnou výplní dutin vulkanitů. Objevuje se pouze v deskovitě odlučném bazaltoidu ve formě celistvých výplní až 10 mm velkých dutin. Ojedinele byl přítomen v několika dutinách, kde vyplňoval jejich centrální část, v asociaci s drobnými krystaly phillipsitu. V podobě dobře omezených krystalů tu zjištěn nebyl. Pouze ve dvou vzorcích byl zjištěn **aragonit**, tvořící jehlicovité krystaly o délce do 4 mm s hexagonálním omezením, v asociaci s phillipsitem-Ca.

Závěr

Na bezejmenném vrchu s vrcholovou kótou 453 m n. m., cca 600 m szs. od hřbitova v Heřmanicích, zjz. od České Lípy, byla v dutinách tefritických hornin zjištěna nová, v odborné literatuře dosud nezachycená lokalita zeolitové mineralizace. Jedná se o bohatý výskyt jak z hlediska kvantity, tak i různorodosti zastoupení jednotlivých zeolitových druhů. Charakteristickým a velmi hojným zeolitem této lokality je lévyn-Ca, který tu tvoří dobře vyvinuté tabulkovité krystaly o velikosti do 9 mm. Spolu s lévynem-Ca byly v dutinách bazaltoidních hornin zjištěny chabazit-Ca, erionit-Ca, analcim, phillipsit-Ca, thomsonit-Ca, cowlesit a gismondin.

Obr. 20 Dutina vyplněná phillipsitem-Ca s krystalem gismondinu z Heřmanic; foto P. Fuchs, šířka záběru je 2.6 mm.



Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za poskytnutí fotografií P. Fuchsovi z Teplic, B. Burešovi z Prahy a B. Ekrtovi z Národního muzea v Praze. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2018/02, 00023272).

Literatura

- COOMBS DS, ALBERTI A, ARMBRUSTER T, ARTIOLI G, COLELLA C, GALLI E, GRICE JD, LIEBAU F, MANDARINO JA, MINATO H, NICKEL EH, PASSAGLIA E, PEACOR DR, QUARTIERI S, RINALDI R, ROSS M, SHEPPARD RA, TILLMANN S, VEZZALINI G (1997) Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names. *Can Mineral* 35:1571-1606
- DEER WA, HOWIE RA, WISE WS, ZUSSMAN J (2004) *Rock-forming Minerals, Framework Silicates: Silica Minerals, Feldspathoids and the Zeolites*. Vol. 4B The Geological Society London
- GATTA GD, CAPPELLETTI P, ROTIROTI N, SLEBODNICK C, RINALDI R (2009) New insights into the crystal structure and crystal chemistry of the zeolite phillipsite. *Am Mineral* 94: 190-199
- GATTA GD, NESTOLA F, BOFFA BALLARAN T (2006) Elastic behavior, phase transition, and pressure induced structural evolution of analcime. *Am Mineral* 91: 568-578
- GUALTIERI A, ARTIOLI G, PASSAGLIA E, BIGI S, VIANI A, HANSON JC (1998) Crystal structure – crystal chemistry relationships in the zeolites erionite and offretite. *Am Mineral* 83: 590-606
- HIBSCH JE (1930) Erläuterungen zur geologischen Karte der Umgebung von Graber-Kosel westlich Böhm. Leipa. (50 pp.) Mit 1 geol. Karte. Knihovna Stát geol ústavu Čsl rep, sv 12, Praha
- KLEIN V a kolektiv (1991) Geologická mapa ČR, list 02 - 42 Česká Lípa, 1 : 50 000. Český geologický ústav, 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
- MERLINO S, GALLI E, ALBERTI A (1975) The crystal structure of levyne. *Tschermaks Miner Petrogr Mitt* 22: 117-129
- PASSAGLIA E (1972) Le zeoliti di Alberto Bassi (Vicenza). *Period di Mineral* 28: 237-243
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, JANEČEK O, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R (2014) Cowlesit a doprovodná mineralizace z vrchu Hackenberg u České Kamenice (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 22, 2: 248-260
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, JANEČEK O, 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
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, JANEČEK O, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, FEDIUK F (2016a) Zeolitová mineralizace z Nového Oldřichova u Kamenického Šenova (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 24, 1: 100-113
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, JANEČEK O, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, POUR O, FEDIUK F (2016b) Zeolitová mineralizace ze Svoru u Nového Boru (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 24, 2: 194-204
- PAULIŠ P, HRŮZEK L, SEJKORA J, ADAMOVIČ J, RADOŇ M, VRTIŠKA L, MALÍKOVÁ R, FEDIUK F, POUR O (2018) Zeolitová mineralizace z Klučku u Heřmaniček u České Lípy (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 26, 1: 43-56
- PAULIŠ P, JANEČEK O, HRŮZEK L, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R, FEDIUK F, POUR O (2017) Nordstrandit a zeolitová mineralizace fonolitu Tachovského vrchu u Doks (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 25, 1: 69-84
- PAULIŠ P, SVEJKOVSKÝ J, JANEČEK O, HRŮZEK L, DVOŘÁK Z, JEBAVÁ I (2013) Offretit z kamenolomu Vrbička u Valče v Doupovských horách. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz* 21, 2: 171-178
- POUCHOU JL, PICOIR F (1985) "PAP" (φρZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (J. T. Armstrong, ed.). San Francisco Press, San Francisco, 104-106
- SENGER A (1919) Die Tephrite vom Hutberg und Rabenstein bei Mertendorf im nordöstlichen Teile des Böhmisches Mittelgebirge. *Verhandl Geol Reichsanst* 5: 123-128 Wien
- STAHL K, KVICK A, SMITH JV (1990) Thomsonite, a neutron diffraction study at 13K. *Acta cryst C* 46: 1370-1373
- TSCHERNICH RW (1992) *Zeolites of the world*. Geoscience Press, Phoenix
- ULRYCH J, RYCHLÝ R (1981) Strontian chabazite from Řepečice, Bohemia. *Chem Erde* 40: 68-71
- YAKUBOVICH OV, MASSA W, GAVRILENKO PG, PEKOV IV (2005) Crystal structure of chabazite. *Kristallografiya* 50, 4: 595-604