

ŽELEZEM BOHATÉ ZEOLITY Z LOKALITY SVOJANOV, ČESKÁ REPUBLIKA

IRON-RICH ZEOLITES FROM THE LOCALITY SVOJANOV, CZECH REPUBLIC

JIŘÍ TOMAN

Abstract

Toman, J. 2010: Železem bohaté zeolity z lokality Svojanov, Česká republika. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 96, 1, 3–10.

Iron-rich zeolites from the locality Svojanov, Czech Republic

Svojanov locality is situated in Pardubice region (Czech Republic), about 15 km SE far from Polička town, in a closed quarry located on NW of Svojanov village nearby Svojanov-Rohozná road. High contents of Fe were found by an electron microprobe in zeolites from the locality Svojanov. In the examined sample, three zeolites – ferrierite-Mg, chabazite-Ca and clinoptilolite-Mg, were identified closely associated with chlorite and calcite. Ferrierite-Mg crystals are radialized into red to brown spherulitic aggregates. Chabazite-Ca and clinoptilolite-Mg were present only in a microscopic size in the examined sample. Chabazite-Ca is the oldest whereas clinoptilolite-Mg is probably the youngest zeolite. Ferrierite-Mg is the Fe-richest (1.40–2.10 apfu; 1.87–2.77 wt. % Fe_2O_3), there is less Fe^{3+} in chabazite-Ca (0.03–0.14 apfu; 0.14–0.57 wt. % Fe_2O_3) and clinoptilolite-Mg (0.37–0.38 apfu; 0.51–0.52 wt. % Fe_2O_3), but the amount of Fe^{3+} is still significant within the zeolite group. There is a quite significant amount of Mg in ferrierite-Mg and clinoptilolite-Mg. The content of Mg in ferrierite-Mg (2.95–3.64 apfu; 4.76–6.00 wt. % MgO) is one of the highest in the world. The mineral association in studied sample from Svojanov is unique within the Czech Republic due to high amount of Fe^{3+} and Mg in zeolites.

Key words: mineral association, calcite, clinoptilolite-Mg, electron microprobe, ferrierite-Mg, chabazite-Ca, chlorite, Svojanov, zeolites

Jiří Toman, Department of Geological Sciences, Masaryk University, Brno, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic, george4g@seznam.cz

1. Úvod

Zeolity jsou dnes díky svým výjimečným vlastnostem hojně studované a používané minerály v různých odvětvích průmyslu. Problematika přítomnosti Fe v zeolitech nebyla dosud podrobně studována. Současné informace o výskytu Fe se omezují pouze na několik publikovaných analýz. Není zcela objasněna pozice Fe ve strukturní mřížce zeolitů a ani jeho valence. Z analýz dostupných v literatuře vyplývá, že obsahy Fe v těchto minerálech jsou obecně poměrně dosti nízké, řádově se pohybují v setinách hmotnostních procent až výjimečně v prvních hmotnostních procentech. DE'GENNARO a FRANCO (1988) uvádějí obsahy Fe^{3+} v chabazitu a phillipsitu ze sedimentárních hornin v Itálii. Množství Fe v chabazitu se pohybuje v rozmezí mezi 0,01–0,06 apfu Fe^{3+} (0,06–0,50 hm. % Fe_2O_3) a ve phillipsitu 0,02–0,08 apfu Fe^{3+} (0,17–0,48 hm. % Fe_2O_3). YÜCEL a CULFAZ (1988) popisují klinoptilolit s 0,26 apfu Fe^{3+} (0,77 hm. % Fe_2O_3) pocházející ze západní Anatolie v Turecku. V publikaci DEER *et al.* (2004) je uvedeno několik analýz zeolitů s obsahem železité

komponenty. Jedná se především o analcim, minerály skupiny chabazitu, skupinu erionitu, skupinu ferrieritu, skupinu heulanditu, laumontit a skupinu phillipsitu. Tyto minerály a skupiny minerálů vykazují nejvyšší obsahy Fe mezi zeolity. U analcimu se množství Fe pohybuje mezi 0,013–0,725 apfu Fe^{3+} (0,03–1,6 hm. % Fe_2O_3) (DEER *et al.*, 2004), kdy nejvíce Fe^{3+} vykazuje analcim z lokality Green River Formation ve Wyomingu v USA (RATTERMAN a SURDAM, 1981). Minerály skupiny chabazitu mají obsahy Fe v rozmezí 0,002–0,167 apfu Fe^{3+} (0,02–1,29 hm. % Fe_2O_3) (DEER *et al.*, 2004). Železem nejbohatší chabazit (1,29–3,02 hm. % Fe_2O_3) pochází z lokality Strzegom v Polsku (PASSAGLIA, 1970, JANECEK, 1985). Minerály skupiny erionitu obsahují 0,008–1,233 apfu Fe^{3+} (0,02–3,63 hm. % Fe_2O_3) (DEER *et al.*, 2004), nejvíce železa v minerálech této skupiny se vyskytuje na lokalitě Malheur County ve státě Oregon v USA (EBERLY, 1964). Poměrně vysoké obsahy Fe jsou také ve skupině ferrieritu, a to v rozmezí 0,003–1,20 apfu Fe^{3+} (0,01–3,29 hm. % Fe_2O_3) (DEER *et al.*, 2004). Železem nejbohatší je ferrierit-Mg z lokality Alberto Bassi v Itálii s obsahem 1,2 apfu Fe^{3+} (ALIETTI *et al.*, 1967). Ve skupině heulanditu je Fe v množství 0,006–0,564 apfu Fe^{3+} (0,02–1,55 hm. % Fe_2O_3) (DEER *et al.*, 2004). Nejvíce železa v heulanditu je na lokalitě Alberto Bassi v Itálii (PASSAGLIA, 1969). Další minerál, do kterého vstupuje Fe, je laumontit, jeho obsahy v něm jsou okolo 0,007–0,513 apfu Fe^{3+} (0,03–2,81 hm. % Fe_2O_3) (DEER *et al.*, 2004). Železem nejbohatší laumontit pochází z lokality Table Mountain ve státě Colorado v USA (HENDERSON a GLASS, 1933). Poslední významnější skupinou zeolitů s Fe je skupina phillipsitu, kde se množství železa pohybuje v rozmezí mezi 0,003–0,247 apfu Fe^{3+} (0,02–1,55 hm. % Fe_2O_3) (DEER *et al.*, 2004). Phillipsit s nejvyšší koncentrací Fe^{3+} pochází ze San Bernardino County ve státě California v USA (HAY, 1964).

2. Metodika práce

Vzorky zeolitů byly analyzovány pomocí elektronové mikrosondy CAMECA SX 100, na společném pracovišti Ústavu geologických věd, PřF MU a ČGS v Brně. Urychlovací napětí bylo 15 kV, proud 10 nA a průměr svazku 6 μm . Jako standardy byly použity syntetické a dobře definované přírodní minerální fáze: (Na - albit, $\text{NaK}\alpha$), (Si, Al, K - sanidin, $\text{SiK}\alpha$, $\text{AlK}\alpha$, $\text{KK}\alpha$), (Mg - MgAl_2O_4 , $\text{MgK}\alpha$), (Ca - andradit, $\text{CaK}\alpha$), (Fe - almandin, $\text{FeK}\alpha$), (Mn - spessartin, $\text{MnK}\alpha$), (Zn - gahnit, $\text{ZnK}\alpha$), (Cl - NaCl, $\text{ClK}\alpha$), (Ba - benitoit, $\text{BaL}\beta$), (F - topaz, $\text{FK}\alpha$). Získaná data byla korigována automatickou korekcí PAP (POUCHOU a PICHOR, 1985). Koeficienty empirického vzorce ferrieritu-Mg byly vypočteny na bázi 72 kyslíků v bezvodé části vzorce a obsah vody byl dopočítán na 8 molekul H_2O podle idealizovaného složení $(\text{K}, \text{Na}, \text{Mg}_{0,5}, \text{Ca}_{0,5})_6 [\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \times 8\text{H}_2\text{O}$ (COOMBS *et al.*, 1998). Hodnoty empirického vzorce chabazitu-Ca byly vypočteny na bázi 24 kyslíků v bezvodé části vzorce a obsah vody byl dopočítán na 12 molekul H_2O , podle idealizovaného vzorce pro chabazit $(\text{Ca}_{0,5}, \text{Na}, \text{K})_4 [\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}] \times 12\text{H}_2\text{O}$ (COOMBS *et al.*, 1998). Hodnoty v empirickém vzorci klinoptilolitu-Mg byly zjištěny přepočtem na 72 kyslíků v bezvodé části vzorce a množství vody bylo spočítáno na 20 molekul H_2O podle idealizovaného vzorce $(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca}_{0,5}, \text{Sr}_{0,5}, \text{Ba}_{0,5}, \text{Mg}_{0,5})_6 [\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \times 20\text{H}_2\text{O}$ (COOMBS *et al.*, 1998). Železo bylo přepočítáváno v podobě Fe^{3+} , což vycházelo z dosud publikovaných analýz v literatuře (DEER *et al.* 2004, DE'GENNARO a FRANCO 1988, JANECEK 1985, PASSAGLIA 1970, YÜCEL a CULFAZ 1988), kde je železo považováno za součást tetraedrické pozice v zeolitech nebo může být dispergováno v podobě oxidu, např. hematitu, v zeolitových kanálech a způsobovat tak červené nebo hnědé zbarvení zeolitů.

3. Geologické poměry lokality

Lokalita Svojanov se nachází v Pardubickém kraji, přibližně 15 km JV od města Polička (Česká republika). Studované vzorky zeolitů (sběr p. J. Hovorky, 80. léta 20. století)

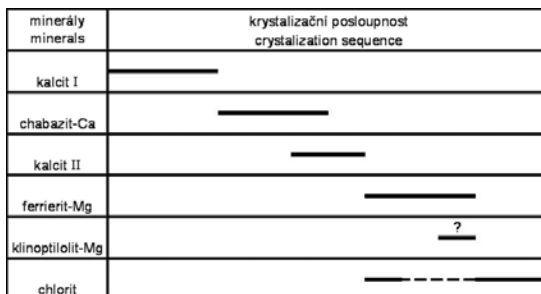
pocházejí z nečinného dvouetážového lomu ležícího severozápadně od obce Svojanov ne-daleko silnice Svojanov-Rohozná. V blízkém okolí se stýkají dvě regionálně významné jed-notky, letovické a poličské krystalinikum. Hranicí mezi nimi je svojanovská mylonitová zóna. Studovaná lokalita náleží do letovického krystalinika. Tato oblast je budována pře-devším dvojslídnyými svory a rulami s pruhy amfibolitů a vložkami kvarcitů (MÍŠAŘ *et al.*, 1983). Lom byl založen v tělese granátického amfibolitu (SVOBODA *et al.*, 1962), který je protkán žilkami křemene o různé mocnosti, řádově do prvních centimetrů. Ve střední čás-ti lomu pronikala amfibolit kalcitová žíla, která místy dosahovala mocnosti až 20 centimet-rů. Na kontaktu žíly s amfibolitem došlo k alteraci amfibolitu. Právě při okraji kalcitové ží-ly byla nepravidelně vyvinuta zeolitová mineralizace (ústní sdělení Hovorka a Veselovský, 2009). Zeolitová mineralizace za Svojanova je zmiňována v publikaci BERNARDA *et al.* (1981) a v článku RYCHLÉHO *et al.* (1996).

4. Výsledky

4.1. Minerální asociace se zeolity

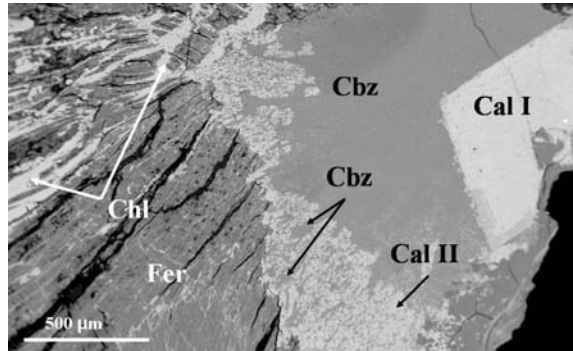
Žíla obsahující zeolity je tvořena kalcitem, do kterého zarůstají hnědozelené, černé a místy červené agregáty zeolitů. Tyto agregáty se makroskopicky jeví jako radiálně pa-pršcité, mají vějířovitý tvar a jsou tvořeny protaženými tabulkovitými krystaly perletové-ho lesku. Průměr agregátů dosahuje velikosti až okolo 1 cm. Vzorek vybraný ke studiu měl hnědočervené zbarvení, protože toto zbarvení může indikovat přítomnost Fe v zeo-litech. Studovaný vzorek je makroskopicky tvořen především ferrieritem-Mg, který vytváří výše zmíněné tabulkovité krystaly v agregátech, zatímco ostatní zjištěné zeolity ve vzorku (chabazit-Ca a klinoptilolit-Mg) jsou v agregátech přítomny pouze v mikroskopic-ké podobě. Studované minerály, zejména ferrierit-Mg, se v BSE obraze jeví značně hete-rogení. Z pozorování na elektronové mikrosondě vyplývá, že nejstarším zeolitem v aso-ciaci je chabazit-Ca (Obr. 1), který narůstá na starší, dokonale omezené klencové krystaly kalcitu I. Posléze je sám zatlačován mladším kalcitem II a vytváří izolované ne-pravidelné reliktů (Obr. 2). Ferrierit-Mg je hojně prorůstán chloritem (Obr. 3). Místy jsou jeho krystaly příčně rozpraskány, tyto praskliny jsou rovněž vyplněny chloritem. Mezi krystaly ferrieritu-Mg, v těsném sousedství s chloritem, zarůstá klinoptilolit-Mg (Obr. 4). Sukcesní postavení klinoptilolitu-Mg vůči ferrieritu-Mg není zcela dobře patrné, pravděpodobně vznikal zároveň s ním v konečné fázi krystalizace ferrieritu-Mg. Klinoptilo-lit-Mg je zatlačován mladším chloritem (Obr. 4). RYCHLÝM *et al.* (1996) jsou z této mi-nerální asociace popisovány také dachiardit-Ca, laumontit a mor-denit, tyto zeolity však nebyly ve studovaném vzorku zjištěny.

Vedle zeolitů jsou přítomny také doprovodné minerály kalcit a chlorit. Chlorit se ve vzorku vy-skytuje ve dvou typech. První typ vytváří tenké žilky mezi krystaly ferrieritu-Mg a pravděpodobně vznikal zároveň s ním. Druhý typ chloritu zarůstá do ferrieritu-Mg a částečně ho zatlačuje, tento typ je zřejmě mladší, než ferrierit-Mg (Obr. 2 a Obr. 3). Pravděpodobně se jedná o chamosit, který nebyl dále podrobněji studován.



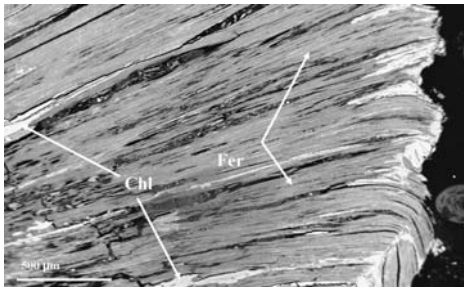
Obr. 1. Sukcesní schéma studované minerální asociace.

Fig. 1. Succession diagram of studied mineral association.



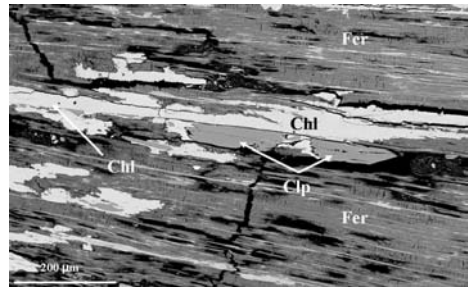
Obr. 2. Chabazit-Ca (Cbz) obklopující kalcit první generace (Cal-I) a reliktů chabazitu-Ca (Cbz) v kalcitu druhé generace (Cal-II). Prorůstání a částečné zatlačování ferrieritu-Mg (Fer) chloritem (Chl). (foto: P. Gadas)

Fig. 2. First generation calcite (Cal-I) surrounded by chabazite-Ca (Cbz) and chabazite-Ca relics (Cbz) in calcite of second generation (Cal-II). Ferrierite-Mg (Fer) intergrowth and partially replaced by chlorite (Chl). (photo: P. Gadas)



Obr. 3. Prorůstání a částečné zatlačování ferrieritu-Mg (Fer) pravděpodobně mladším chloritem (Chl). (foto: P. Gadas)

Fig. 3. Ferrierite-Mg (Fer) intergrowths and its partial replacement by younger chlorite (Chl). (photo: P. Gadas)



Obr. 4. Hypautomorfni krystal klinoptilolitu-Mg (Clp) mezi krystaly ferrieritu-Mg (Fer), v sousedství mladšího chloritu (Chl). (foto: P. Gadas)

Fig. 4. Hyp-automorphic crystal of clinoptilolite-Mg (Clp) in the vicinity of younger chlorite (Chl), in the vicinity of younger chlorite (Chl). (photo: P. Gadas)

4.2. Chemické složení studovaných zeolitů

Podle chemického složení se v případě materiálu ze Svojanova jedná o ferrierit-Mg. Reprezentativní analýzy ferrieritu-Mg ze Svojanova jsou uvedeny v Tab. 1. Ferrierit-Mg je železem nejbohatší zeolit ze všech analyzovaných zeolitů ve vzorku ze Svojanova. Množství Fe^{3+} v měřeném vzorku se pohybuje v rozsahu 1,40–2,10 apfu. Obsah Mg (2,95–3,64 apfu) je poměrně vysoký v porovnání s údaji v literatuře (DEER *et al.* 2004, ALIETTI *et al.* 1967, WISE a TSCHERNICH 1976). Hodnota T_{Si} se pohybuje v rozmezí 0,68–0,70 a E% je v rozsahu -0,05–0,18 (Tab. 1). Poměr Si/Al se u měřeného ferrieritu-Mg pohybuje okolo hodnoty 2,5. Na Obr. 5 je srovnání chemického složení ferrieritu-Mg ze Svojanova s ferrierit-Mg ze zahraničních lokalit, které mají vysoké obsahy Mg a Fe^{3+} . Minerál ze skupiny chabazitu leží na hranici mezi chabazitem-K a chabazitem-Ca. Reprezentativní analýza je uvedena v Tab. 1. Obsah Ca (0,58–0,63 apfu) je mírně vyšší nežli obsah K (0,53–0,56 apfu), lze ho tedy označit jako chabazit-Ca. Množství Fe^{3+} (0,03–0,14

apfu) je v chabazitu-Ca nejnižší ze všech studovaných zeolitů ze Svojanova. Typický je také velmi nízký obsah Mg (0,01-0,15 apfu) a jako jediný studovaný zeolit obsahuje Na (0,15 apfu). Hodnota T_{Si} je 0,82, která je blízká horní hranici hodnot T_{Si} uvedenou v COOMBS *et al.* (1998). Hodnota E% je 0,44. Poměr Si/Al u měřeného vzorku je 4,97. Na Obr. 6 je srovnání chemického složení chabazitu-Ca ze Svojanova se dvěma chabazity-Ca ze zahraničních lokalit, které vykazují vyšší obsah Fe^{3+} .

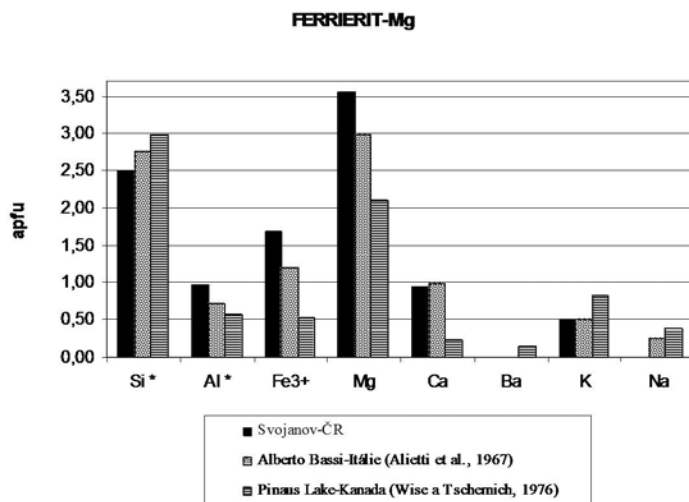
Klinoptilolit byl určen jako klinoptilolit-Mg díky převažující hodnotě Mg (1,99-2,04 apfu) nad ostatními výměnnými kationty. Z ostatních kationtů je v něm zastoupen ještě K (0,91 apfu), Ca (0,49-0,54 apfu) a Ba (0,13 apfu). Mg se v minerálech skupiny klinoptilolitu vyskytuje poměrně běžně, ale jeho množství je obvykle nižší (DEER *et al.*, 2004). Klinoptilolit-Mg nebyl dosud popsán jako samostatně uznávaný minerální druh (COOMBS *et al.*, 1998); jeho výskyt ve Svojanově vzhledem k minimálním rozměrům však nedovoluje podrobnější popis. Obsah Fe^{3+} (0,37-0,38 apfu)

Tabulka 1. Chemické analýzy zeolitů; 1 - chabazit-Ca, 2 - klinoptilolit-Mg, 3-5 - ferrierit-Mg.

Table 1. Chemical analyses of zeolites; 1 - chabazite-Ca, 2 - clinoptilolite-Mg, 3-5 - ferrierite-Mg.

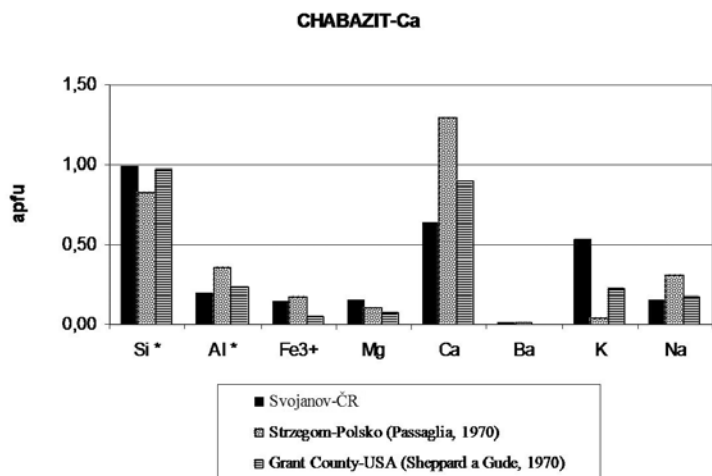
	1	2	3	4	5
SiO ₂	66,81	67,40	63,00	63,01	64,23
Al ₂ O ₃	11,41	12,71	21,00	20,76	19,33
Fe ₂ O ₃	0,57	0,52	2,55	2,54	2,52
MgO	0,67	3,16	5,93	6,00	5,23
CaO	3,97	1,05	2,05	2,22	1,93
BaO	0,20	0,74	0,03	0,04	0,03
K ₂ O	2,80	1,64	1,10	1,02	0,92
Na ₂ O	0,52	0,00	0,02	0,01	0,00
H ₂ O	24,39	13,79	6,03	6,03	5,97
Σ oxidů	111,34	101,01	101,71	101,63	100,18
Si	9,85	29,28	25,02	25,06	25,78
Al	1,98	6,51	9,83	9,73	9,15
Fe ³⁺	0,14	0,38	1,70	1,69	1,69
Σ Si+Al+Fe ³⁺	11,97	36,17	36,55	36,48	36,61
Mg	0,15	2,04	3,51	3,56	3,13
Ca	0,63	0,49	0,87	0,94	0,83
Ba	0,01	0,13	0,00	0,00	0,00
K	0,53	0,91	0,56	0,51	0,47
Na	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ Mg+Ca+Ba+K+Na	1,46	3,57	4,94	5,01	4,43
H ₂ O	12	20	8	8	8
T _{Si}	0,82	0,81	0,68	0,69	0,70
E %	0,44	0,16	-0,05	0,05	0,18

k minimálním rozměrům však nedovoluje podrobnější popis. Obsah Fe^{3+} (0,37-0,38 apfu)



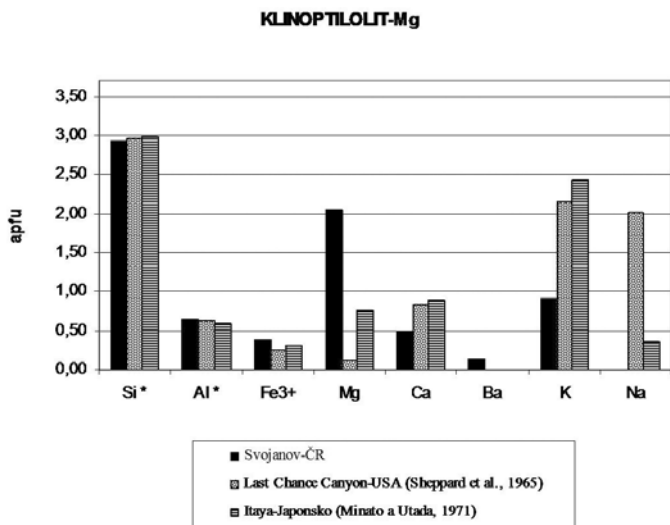
Obr. 5. Srovnání chemického složení ferrieritu-Mg ze Svojanova se zahraničními lokalitami. Hodnoty prvků označených * jsou zmenšeny 10-krát.

Fig. 5. Comparison of chemical composition of ferrierite-Mg from the Svojanov locality with foreign localities. Values of elements marked by * are divided by 10.



Obr. 6. Srovnání chemického složení chabazitu-Ca ze Svojanova se zahraničními lokalitami. Hodnoty prvků označených * jsou zmenšeny 10-krát.

Fig. 6. Comparison of chemical composition of chabazite-Ca from the Svojanov locality to foreign localities. Values of elements marked by * are divided by 10.



Obr. 7. Srovnání chemického složení klinoptilolitu-Mg ze Svojanova se zahraničními lokalitami. Hodnoty prvků označených * jsou zmenšeny 10-krát.

Fig. 7. Comparison of chemical composition of clinoptilolite-Mg from the Svojanov locality to foreign localities. Values of elements marked by * are divided by 10.

dosahuje středních až vyšších hodnot v porovnání s analýzami klinoptilolitů z jiných lokalit ve světě, jak je znázorněno na Obr. 7. Hodnota E% je u měřeného vzorku 0,16. Hodnota T_{Si} (0,81) a poměr Si/Al (4,5) odpovídají hodnotám pro skupinu klinoptilolitu (COOMBS *et al.*, 1998). Reprezentativní analýza klinoptilolitu-Mg je uvedena v Tab. 1.

Empirické vzorce studovaných zeolitů (průměrné hodnoty):

ferrierit-Mg - $(\text{Mg}_{3,4} \text{Ca}_{0,88} \text{K}_{0,51}) [\text{Al}_{9,57} \text{Fe}^{3+}_{1,69} \text{Si}_{25,29} \text{O}_{72}] \times 8\text{H}_2\text{O}$

chabazit-Ca - $(\text{Ca}_{0,63} \text{K}_{0,53} \text{Na}_{0,15} \text{Mg}_{0,15} \text{Ba}_{0,01}) [\text{Al}_{1,98} \text{Fe}^{3+}_{0,14} \text{Si}_{9,85} \text{O}_{24}] \times 12\text{H}_2\text{O}$

klinoptilolit-Mg - $(\text{Mg}_{2,04} \text{K}_{0,53} \text{Ca}_{0,49} \text{Ba}_{0,13}) [\text{Al}_{6,51} \text{Fe}^{3+}_{0,38} \text{Si}_{29,28} \text{O}_{72}] \times 20\text{H}_2\text{O}$

5. Diskuse

Dominantním prvkem žilné mineralizace je Ca, který je hlavní složkou převažujícího kalcitu; jeho zjištěné obsahy v zeolitech jsou u těchto minerálů v běžné výši. V minerální asociaci se téměř nevyskytuje Na. Zeolitová asociace ze Svojanova vykazuje poměrně vysoké obsahy Fe. Ve studovaném vzorku převládá ferrierit-Mg nad chabazitem-Ca a klinoptilolitem-Mg. Výskyty minerálů skupiny ferrieritu v rámci České republiky jsou poměrně vzácné, dosud byl kromě Svojanova popsán z Hončovy hůrky u Příbora (KUDĚLÁSKOVÁ *et al.* 1990, PELZ a BŘEČKOVÁ 1996, SMUTNÝ 1997) a také z puklin pelokarbonátových kongrecí z hnědouhelného lomu Libouš u Chomutova (JANEČEK a COUFAL, 2008). Množství Fe^{3+} ve ferrieritu-Mg ze Svojanova (1,40–2,10 apfu) je několikanásobně větší, nežli dosud publikované údaje v literatuře, výjimkou je pouze ferrierit-Mg z italské lokality Alberto Bassi (1,2 apfu Fe^{3+}) (ALIETTI *et al.*, 1967). Železo v klinoptilolitu-Mg (0,37–0,38 apfu) dosahuje daleko nižších hodnot v porovnání s ferrieritem-Mg, ale v rámci skupiny klinoptilolitu jsou i tyto hodnoty významné. Obsahy Fe^{3+} v chabazitu-Ca (0,03–0,14 apfu) se pohybují přibližně v hodnotách blízkých ostatním lokalitám ve světě (DEER *et al.*, 2004). Zajímavé jsou velmi vysoké obsahy Mg v klinoptilolitu-Mg a ferrieritu-Mg. Nejvíce Mg-bohatý je klinoptilolit-Ca pocházející z lokality Mohave County v Arizoně (1,36 apfu Mg) (DEER *et al.*, 2004). Nejvíce hořečnatý ferrierit-Mg byl nalezen v Alberto Bassi v Itálii, kde množství Mg dosahovalo hodnot 2,98 apfu (ALIETTI *et al.*, 1967). Ferrierit-Mg a klinoptilolit-Mg ze Svojanova tyto hodnoty značně převyšují.

6. Závěr

Studovaná minerální asociace se zeolity ze Svojanova odpovídá alpské paragenezi. Na lokalitě jsou zastoupeny tři minerály patřící do skupiny zeolitů, a to ferrierit-Mg, chabazit-Ca a klinoptilolit-Mg. V asociaci je doprovází chlorit a kalcit. Makroskopicky pozorovatelný je pouze ferrierit-Mg, zatímco chabazit-Ca a klinoptilolit-Mg jsou mikroskopické. Nejstarším zeolitem v asociaci je chabazit-Ca. Ve všech zeolitech ze Svojanova bylo zjištěno zvýšené množství Fe^{3+} . Ze studovaných zeolitů má nejvyšší obsah Fe^{3+} ferrierit-Mg, obsahy Fe^{3+} v něm jsou u tohoto minerálu jedny z nejvyšších dosud zjištěných. U klinoptilolitu-Mg a chabazitu-Ca je množství Fe^{3+} podstatně nižší, ale i tak poměrně významné. Za zdroj železa jsou považovány amfibolity vyskytující se v nejbližším okolí mineralizace. Ferrierit-Mg a klinoptilolit-Mg neobsahují Na, výjimkou je pouze chabazit-Ca jehož obsah Na je pro tento minerál běžný. Množství Ca přítomné v zeolitech ze Svojanova je pro tyto minerály typické. Studovaná minerální asociace je také typická zvýšenými obsahy Mg, především v klinoptilolitu-Mg a ferrieritu-Mg. Oba minerály jsou svými vysokými obsahy Mg unikátní v celosvětovém měřítku, jedná se pravděpodobně zatím o jeho nejvyšší zjištěné hodnoty v těchto zeolitech. Minerální asociace se zeolity ze Svojanova je poměrně ojedinělá v rámci České republiky a svými obsahy Fe a především Mg je i světově významná.

Poděkování

Autor děkuje prof. RNDr. Milanu Novákovi, CSc. za cenné připomínky při tvorbě tohoto článku, Mgr. Janu Filipovi, PhD. a Mgr. Jiřímu Sejkorovi, PhD. za pročetí a posou-

zeni článku, dále Mgr. Petru Gadasovi z pracoviště elektronové mikroanalýzy a mikrosondy PřF MU za chemické analýzy zeolitů, J. Povolnému za zhotovení nábrusů a v neposlední řadě také J. Hovorkovi a F. Veselovskému za ochotné sdělení informací týkajících se lokality Svojanov.

LITERATURA

- ALIETTI, A., PASSAGLIA, E., SCAINI, G. 1967: A new occurrence of ferrierite. - *Amer. Mineral.*, 52, 1 562-1 563.
- BERNARD, J. H. *et al.* 1981: Mineralogie Československa, 2. vyd. - Československá akademie věd. Praha.
- COOMBS, S. D., ALBERTI, A., ARTIKLU, 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., TILLMANN, E., VEZZALINI, G. 1998: Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. - *In: Martin F. R. (ed.): The nomenclature of minerals: a compilation of IMA reports.*, Mineralogical Association of Canada, 91-126, Ottawa.
- DEER, A. W., HOWIE, A. R., WISE, S. W., ZUSSMAN, J. 2004: Rock-forming minerals. Framework Silicates: Silica Minerals, Feldspathoids and the Zeolites. - The Geological Society. London.
- DE'GENNARO, M., FRANCO, E. 1988: Mineralogy of Italian sedimentary phillipsite and chabazite. - *In: Kalló D., Sherry S. H. (eds): Occurrence, properties and utilization of natural zeolites.* 87-97, Akadémiai Kiadó. Budapest.
- EBERLY, P. E. JR. 1964: Adsorption properties of naturally occurring erionite and its cationic-exchange forms. - *Amer. Mineral.*, 49, 30-40.
- HAY, R. L. 1964: Phillipsite of saline lakes and soils. - *Amer. Mineral.*, 49, 1 366-1 387.
- HENDERSON, E. P., GLASS, J. J. 1933: Additional notes on laumontite and thomsonite from Table Mountain, Colorado. - *Amer. Mineral.*, 18, 402-406.
- JANEČEK, J. 1985: Typomorficzne minerały pegnatitów masywu granitoidowego Strzegom - Sobótka. - *Geol. Sudetica*, 20, 1-62, Warszawa.
- JANEČEK, O., COUFAL, P. 2008: Nerosty v pelokarbonátových konkrétech na hnědouhelném lomu Libouš u Chomutova. - *Minerál 1/2008*, 42-44, České Budějovice.
- KUDÉLÁSKOVÁ, M., KUDÉLÁSEK, V., MATÝSEK, D. 1990: Zeolity v pikritech těšinitové asociace na lokalitě Hončova hůrka u Příbora (severní Morava). - *Časopis pro mineralogii a geologii*, 3, 317-321, Praha.
- MINATO, H., UTADA, M. (1971): Clinoptilolite from Japan. - *Molecular sieve zeolites*, American Chemical Society, 311-316, Washington.
- MÍŠAŘ, Z., DUDEK, A., HAVLENA, V., WEIS, J. 1983: Geologie ČSSR I - Český masiv. - Státní pedagogické nakladatelství. Praha.
- PASSAGLIA, E. 1969: Le zeoliti di Alberto bassi (Vicenza). - *Per. Min.*, 38, 37-43.
- PASSAGLIA, E. 1970: The crystal chemistry of chabasites. - *Amer. Mineral.*, 55, 1 278-1 301.
- PELZ, J., BREČKOVÁ, J. 1996: Zeolity - význačné minerály podbeskydských vyvěřelin. - *Minerál 2/1996*, 128-130, Brno.
- POUCHOU, J. L., PICOIR, F. (1985): "PAP" ($\varphi - \rho - Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. - *In: Armstrong J.T. (ed.): Microbeam analysis.* San Francisco Press, 104-106, San Francisco.
- RATTERMAN, N. G., SURDAM, R. C. 1981: Zeolite mineral reaction in a tuff in the Laney Member of the Green River Formation, Wyoming. - *Clays Clay Min.*, 29, 365-377.
- RYCHLÝ, R., VESELOVSKÝ, F., ONDRUŠ, P. 1996: Dachardite from Svojanov, Czech Republic. - *In: Scripta Facultatis scientiarum naturalium Universitatis Masarykianae Brunensis, Geology*, 26, 42-43.
- SHEPPARD, R. A., GUDE, A. J. 1965: Zeolitic authigenesis of tuffs in the Ricardo formation, Kern County, southern California. - *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 525-D, 44-47.
- SHEPPARD, R. S., GUDE, A. J. 1970: Calcic siliceous chabazite from the John Day Formation, Grant County Oregon. - *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 700-D, 176-180.
- SMUTNÝ, Z. 1997: Hončova hůrka - stav lokality a nálezy minerálů v letech 1995-1996. - *Časopis Slezského muzea (A)*, 46, 188-189, Opava.
- SVOBODA, J., BENEŠ, K., BERNARD, J., ČICHA, I., DORNIČ, J., DVOŘÁK, J., DVOŘÁK, J., HAVLENA, V., HORNÝ, R., CHALOUPSKÝ, J., CHLUPÁČ, I., KALÁSEK, J., KETTNER, R., MALECHA, A., MÍŠAŘ, Z., PACOVSKÁ, E., PETRÁNEK, J., ŘEZÁČ, B., SOUKUP, J., VODIČKA, J., ZOUBEK, V., ZRŮSTEK, V. 1962: Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1 : 200 000, M - 33 - XXIII, Česká Třebová. - Československá akademie věd, Geofond, Praha.
- WISE, W. S., TSCHERNICH, R.W. 1976: Chemical composition of ferrierite. - *Amer. Mineral.*, 61, 60-65
- YÜCEL, H., CULFAZ, A. 1988: Characterization of clinoptilolites of Western Anatolia. - *In: Kalló D., Sherry S. H. (eds): Occurrence, properties and utilization of natural zeolites.* 99-108, Akadémiai Kiadó. Budapest.