

# Nordstrandit z lomu v Děpoltovicích u Karlových Varů (Česká republika)

## Nordstrandite from the Děpoltovice quarry near Karlovy Vary (Czech Republic)

JIRÍ SEJKORA<sup>1)</sup>, IVANA JEBAVÁ<sup>1)</sup>, JAKUB PLÁŠIL<sup>1)</sup>, BOHUSLAV BUREŠ<sup>2)</sup> A JAROMÍR TVRDÝ<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Národní muzeum, Václavské náměstí 68, 115 79 Praha 1

<sup>2)</sup> Plevenská 3111, 143 00 Praha 4

<sup>3)</sup> Příčná 3, 360 17 Karlovy Vary

SEJKORA J., JEBAVÁ I., PLÁŠIL J., BUREŠ B., TVRDÝ J. (2010): Nordstrandit z lomu v Děpoltovicích u Karlových Varů (Česká republika). - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* **18/1**, 33-41, ISSN 1211-0329.

### Abstract

The rich occurrence of well-crystalline rare Al-hydroxide, nordstrandite, was found in the Děpoltovice quarry near Karlovy Vary, western Bohemia (Czech Republic). It forms there several morphological types and in the studied association, gibbsite was not found. This is atypical in comparison with other similar localities. Nordstrandite is triclinic, space group *P*-1 with following unit-cell parameters:  $a = 6.131(6)$  Å,  $b = 6.946(6)$  Å,  $c = 5.063(5)$  Å,  $\alpha = 95.86(7)^\circ$ ,  $\beta = 99.05(7)^\circ$ ,  $\gamma = 83.26(8)^\circ$ ,  $V = 210.7(2)$  Å<sup>3</sup>. Chemical analyses yielded the average composition Na<sub>2</sub>O 0.06, CaO 0.04, MgO 0.08, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 67.57, SiO<sub>2</sub> 0.62, H<sub>2</sub>O<sub>calc.</sub> 36.22, total 104.59 wt. % corresponding to the formula (Al<sub>0.99</sub>Si<sub>0.01</sub>)<sub>Σ1.00</sub>(OH)<sub>3</sub> on the basis of 1 atom in cation sites. Nordstrandite was found in the close association of gonnardite and böhmite. Böhmite is orthorhombic, space group *Cmcm* with following unit-cell parameters:  $a = 2.82(3)$ ,  $b = 12.17(6)$ ,  $c = 3.71(2)$  Å,  $V = 127(2)$  Å<sup>3</sup> and its average chemical composition CaO 0.28, MgO 0.09, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 78.55, SiO<sub>2</sub> 0.80, H<sub>2</sub>O<sub>calc.</sub> 14.06, total 93.77 wt. % corresponding to the formula (Al<sub>0.99</sub>Si<sub>0.01</sub>)<sub>Σ1.00</sub>O(OH) on the basis of 1 atom in cation sites. Gonnardite is tetragonal, space group *I*-42*d* with following unit-cell parameters:  $a = 13.226(3)$ ,  $c = 6.619(3)$ ,  $V = 1157.8(3)$  and its average chemical composition Na<sub>2</sub>O 10.83, CaO 5.49, SrO 0.22, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 29.48, SiO<sub>2</sub> 40.64, H<sub>2</sub>O<sub>calc.</sub> 13.48, total 100.15 wt. % corresponding to the formula (Na<sub>5.60</sub>Ca<sub>1.57</sub>Sr<sub>0.03</sub>)<sub>Σ7.20</sub>[(Al<sub>9.27</sub>Si<sub>10.84</sub>)<sub>Σ20.11</sub>O<sub>40</sub>] · 12H<sub>2</sub>O on the basis 40 O. The origin of studied mineral association represented by calcite, gonnardite → nordstrandite → böhmite is interpreted as a product of precipitation from alkaline solutions with high alkali (Ca, Na) concentrations.

**Key words:** nordstrandite, gonnardite, böhmite, alkaline neovulkanic rocks, nephelinite, Děpoltovice near Karlovy Vary, Czech Republic

### Úvod

Nordstrandit podobně jako gibbsit, bayerit a doyleit je polymorfní modifikací Al(OH)<sub>3</sub>. Nejčastěji se vyskytuje jako mikroskopická součást bauxitických púd vznikajících zvětráváním vápencových hornin (např. Borneo, Guam, Jamajka nebo Maďarsko), objeven byl i jako žilný minerál v dolomitických roponosných břidlicích v Green River Formation, Colorado (Milton et al. 1975). Goldberry a Loughnan (1970, 1977) popisují výskyt nordstranditu jako produktu alterace dawsonitu a alumohydrokalcitu v Novém Jižním Walesu v Austrálii. Později byl objeven také v alkalických vyvřelých horninách - popsán byl Petersenem et al. (1976) jako pozdní minerál v pegmatitových uzavřeninách v nefelinickém syenitu v Grónsku. Sabina (1977) uvádí jeho výskyt v dutinách sodalitem bohatých hornin u Bancroftu (Kanada) a znám je i z pegmatitů, miarolových dutin a xenolitů v nefelinickém syenitu na známé lokalitě Mont St-Hilaire (Quebec, Kanada - Chao, Baker 1982).

Na trhlínách nefelinických vyvřelých hornin byl nordstrandit zjištěn na lokalitě Bärenstein v Sasku (Witzke 1994) a v lomu Mokrá u Žlutic v České republice

(Černý et al. 2002). Na obou zmíněných lokalitách je ale jen nehojnou akcesorií doprovázející převažující gibbsit.

Hojné nové nálezy nordstranditu na trhlínách alkalických bazických vyvřelin (nefelinický analcimit) na lokalitě Děpoltovice u Karlových Varů v asociaci s böhmitem a gonnarditem (Sejkora et al. 2008) bez přítomnosti gibbsitu jsou předmětem této studie.



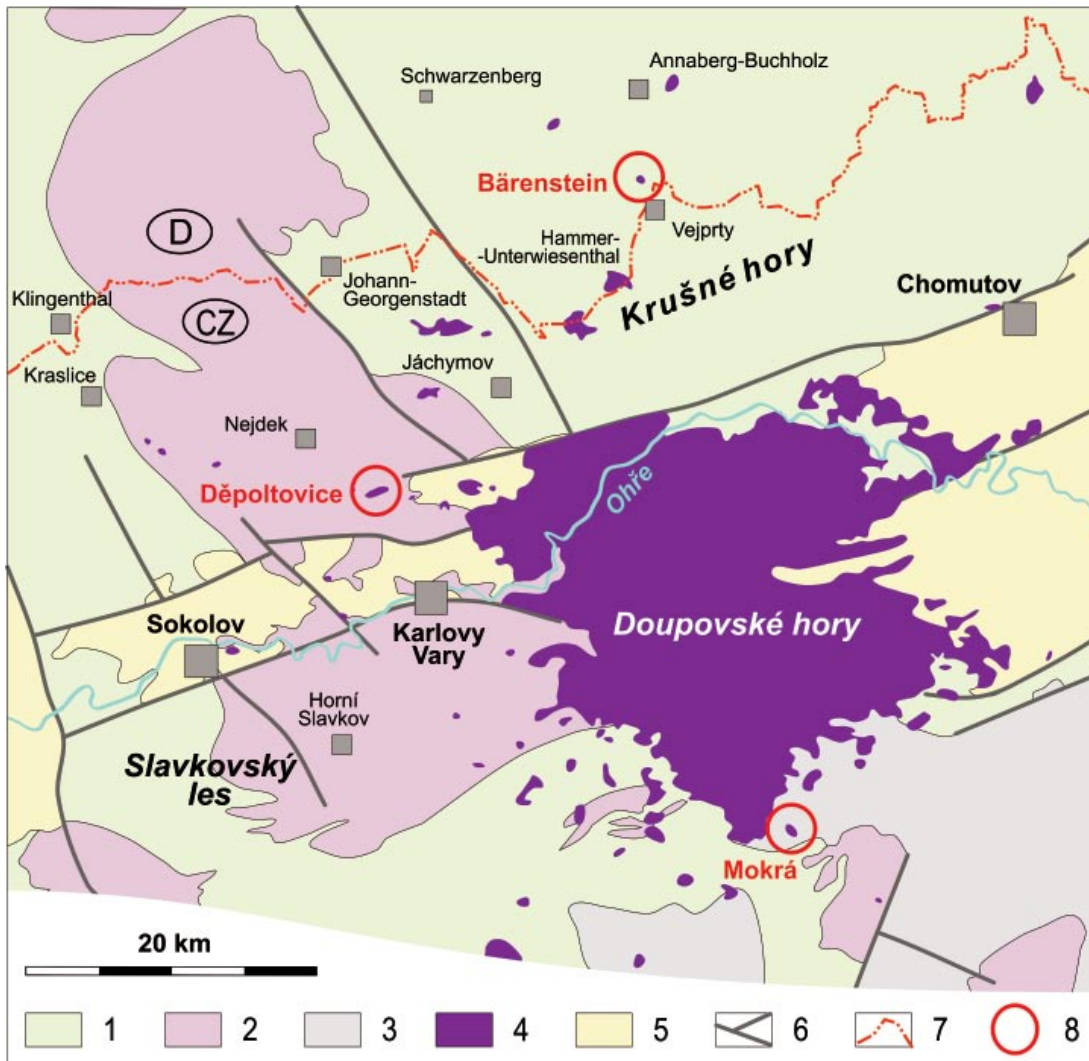
Obr. 1 Celkový pohled na lom Děpoltovice. Foto B. Bureš (2006).

### Charakteristika lokality

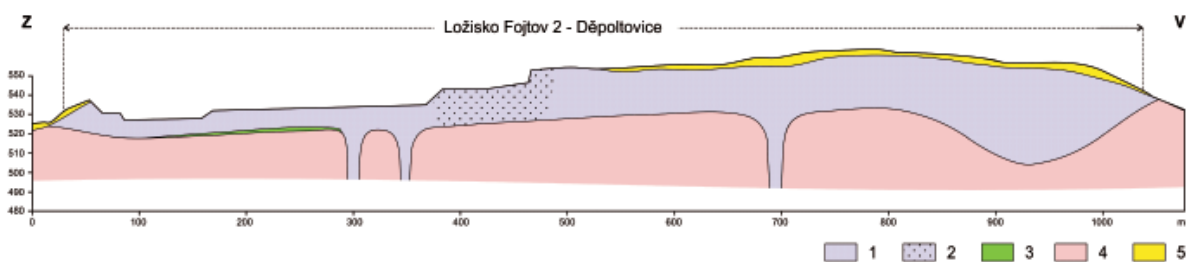
Rozsáhlý činný lom Děpoltovice se nachází na Dvorském vrchu (573.6 m), asi 800 m západně od Děpoltovic u Karlových Varů (obr. 1) v západních Čechách (Česká republika). Ložisko kamene s označením Fojtov 2 - Děpoltovice v současné době přechází ze společnosti Tarmac CZ do rukou Eurovia CS a.s. a s roční těžbou cca 100 - 200 tisíc tun suroviny je jedním z hlavních dodavatelů

drceného kameniva pro Karlovarský kraj.

Lom Děpoltovice je založen v neovulkanickém tělese (obr. 2) budovaném čedičovou horninou odpovídající olivinickému nefelinickému analcimitu až olivinickému analcimickému nefelinitu. Hlavními složkami celistvé až jemnozrné základní hmoty jsou nefelín, analcim, olivín, pyroxen a magnetit. Těleso vzniklo povrchového výlevem do poměrně hluboké deprese. Archivními vrty je interpretováno několik přívodních kanálů, které však



**Obr. 2** Geologická mapa okolí Doupských hor s vyznačením tří dosud známých míst výskytu nordstranditu (upraveno podle Škvora a Sattrana 1989). 1 - metamorfika; 2 - granity; 3 - sedimenty permokarbonské; 4 - neovulkanity; 5 - sedimenty terciéru; 6 - významné zlomy; 7 - státní hranice; 8 - výskyt nordstranditu.



**Obr. 3** Geologický řez ložiskem Děpoltovice (upraveno podle práce Dlouhý et al. 1988, 2x převýšeno). 1 - bazalt (olivinický nefelinit až olivinický analcimit); 2 - tektonicky porušená zóna; 3 - tufy; 4 - granodiorit karlovarského plutonu; 5 - kvartér.



mohou být pouze prohlubněmi původního reliéfu (obr. 3). Vlivem rychlejšího ochlazení lávy při povrchu výlevu vznikla typická kulovitá odlučnost, zdůrazněná zejména ve zvětralých povrchových partiích na jihozápadě tělesa. Při pomalejším ochladnutí vznikla kompaktnější, kostkovitě a sloupcovitě odlučná hornina. Zhruba uprostřed horninového tělesa je vyvinuta příčná tektonická zóna směru SZ - JV, která je doprovázena hydrotermální alterací. Vulkanické těleso je uloženo na zvětralé žule karlovarského masivu (porfyrický biotitický granit až granodiorit starší intruzivní fáze). Lokálně je při bázi pevného vulkanitu vyvinuta poloha alterovaných tufů. Podle analogie s nedalekým Hutnickým vrchem lze usuzovat na stáří horniny kolem 20 Ma (Ulrych et al. 2003).

V severní části horní etáže lomu Děpoltovice byla v letech 2006 - 2007 nalezena deponie velkých bloků čedičové horniny s nápadnými bílými výplněmi trhlin (obr. 4). Prohlídkou přiléhající lomové stěny bylo zjištěno, že se jedná o materiál odtěžený na tomto místě. Hojné žilky měly mocnost do 1.5 cm a byly vyplněny kalcitem, gonnarditem, nordstranditem a böhmitem. V létě 2007 se na tomto místě nacházelo už jen několik bloků se zcela ojedinělou trhlinovou mineralizací, která poskytla pouze několik nekvalitních studijních vzorků. Vzhledem k tomu, že v této části lomu již byla ukončena těžba, nelze v nejbližší době nové nálezy očekávat.

#### Metodika výzkumu

Povrchová morfologie vzorků byla sledována v dopadajícím světle pomocí optického mikroskopu Nikon SMZ1500 ve spojení s digitální kamerou DXM 1200F (Národní muzeum), její detaily pak v obrazu sekundárních elektronů na elektronovém scanovacím mikroskopu Jeol JSM-6380 (Přírodovědecká fakulta UK, Praha).

Nábrusy studovaných vzorků byly pro chemické analýzy připraveny standardním leštěním pomocí diamantové suspenze. Chemické složení zkoumaných minerálních fází bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (společné pracoviště PřF MU v Brně a ČGS, analytik R. Škoda) ve vlnové disperzním módu za podmínek: 15 kV, 4 nA, průměr svazku elektronů 10  $\mu\text{m}$ . Pro kvantitativní WDS analýzu přítomných prvků byly vybrány následující analytické linie; K $\alpha$ : Ca (andradit), Fe (andradit), K (sanidin), Si (sanidin), Al (sanidin), Na (albit), S (baryt), Mg (olivín), P (fluorapatit), Mn (rodonit); L $\alpha$ : Ba (baryt), Sr (SrSO<sub>4</sub>). Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou zahrnuty v tabulkách, byly sice kvantitativně analyzovány, ale zjištěné obsahy byly pod detekčním limitem.

Rentgenová prášková data byla získána pomocí difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum) za podmínek: 40 kV, 40 mA, záření CuK $\alpha$ , detektor LynxEye, krok 0.01°, načítací čas 105 s. Pro snížení pozadí záznamu byly práškové preparáty nanášeny pomocí acetonu na bezdifrakční křemíkový nosič. Ke vzorkům, které vykazovaly značnou přednostní orientaci, byla pro snížení tohoto jevu přidána skelná drť. Pozice jednotlivých difrakčních maxim byly upřesněny za použití profilové funkce Pseudo-Voigt



Obr. 4 Bělavé povlaky kalcitu, gonnarditu a nordstranditu na tmavé čedičové hornině v lomu Děpoltovice. Foto B. Bureš (2006).

pomocí programu Topas (Bruker). Na základě mezirovinových vzdáleností  $d_{\text{obs}}$  získaných profilovým fitováním a indexů  $hkl$  přiřazených podle publikovaných krystalových struktur byly pomocí programu UnitCell (Holland, Redfern 1997), pracujícím na bázi nelineárních nejmenších čtverců, vypřesněny parametry základních cel.



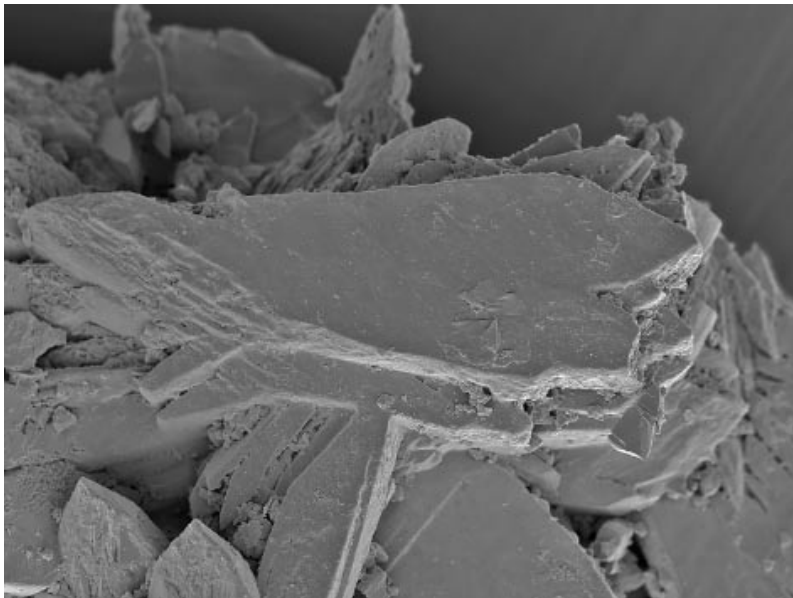
Obr. 5 Skupiny čirých krystalů kalcitu (o velikosti do 2 cm) na trhlinách čedičových hornin. Foto J. Tvrdý.





**Obr. 6** Běžové krystalické agregáty nordstranditu s drobnými bělavými polokulovitými agregáty böhmitu na trhlíně čedičové horniny, Děpoltovice. Foto J. Sejkora, šířka obrázku 6 mm.

**Obr. 7** Srůstající tabulkovité krystaly nordstranditu, Děpoltovice. SEM foto, šířka obrázku 510  $\mu\text{m}$ . Foto J. Sejkora.

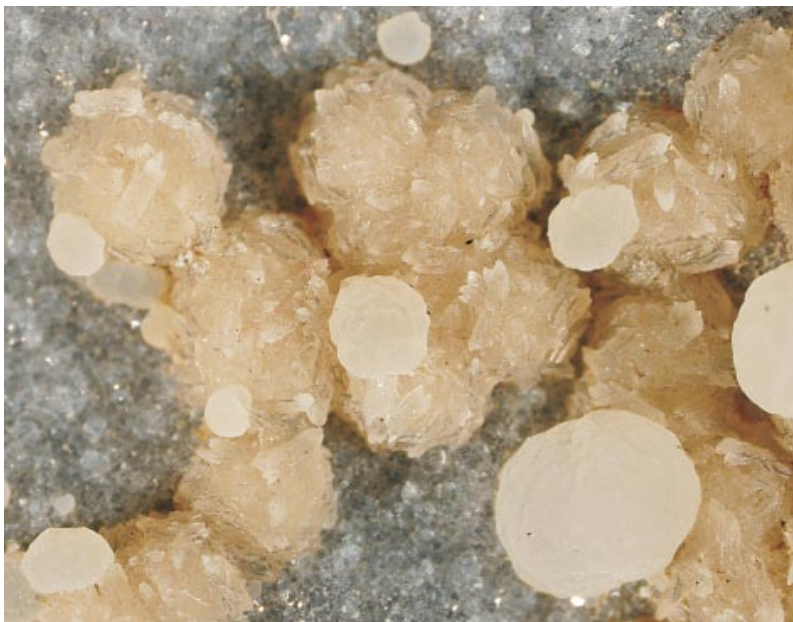


#### Charakteristika zjištěné mineralizace

Převažujícím minerálem světlých žilek vyplňujících trhliny čedičových hornin je kalcit, který v dutinách vytváří krystalické agregáty s jednotlivými krystaly o velikosti do 2 cm (obr. 5). Místa jsou ale trhliny na ploše až několika  $\text{dm}^2$  vyplněny jasně bílým gonnarditem v asociaci s lokálně hojnými výskyty agregátů böhmitu a nordstranditu.

#### Nordstrandit

Nordstrandit na studované lokalitě vytváří několik zřetelně odlišných barevných a morfologických typů. Nejčastěji tvoří pleťově béžové až světle nahnědlé polokulovité až kulovité agregáty s perleťovým leskem (obr. 6) na trhlínách čedičové horniny. Tyto agregáty dosahují velikosti až 0.5 cm a jsou složeny ze srůstajících dlouze tabulkovitých krystalů (obr. 7) o velikosti do 1 mm. S tímto typem nordstranditu vystupují na trhlínách šedavě bílé částečně průsvitné kulovité agregáty böhmitu (obr. 8) a vzácněji i šedobílé, až 1.5 cm velké krystaly kalcitu. Druhým typem nordstranditu jsou drobně krystalické agregáty tmavě oranžově hnědé barvy, které na ploše až několika  $\text{cm}^2$  vystupují v asociaci s krysta-



**Obr. 8** Běžové krystalické agregáty nordstranditu s narůstajícími bílými polokulovitými agregáty böhmitu, Děpoltovice. Foto J. Sejkora, šířka obrázku 5 mm.



**Obr. 9** Oranžově hnědé krystalické agregáty nordstranditu s asociací s bílým krystalovaným gonnarditem, Děpoltovice. Foto J. Sejkora. Šířka obrázku 12 mm.



**Obr. 10** Krémové „ježkovité“ krystalické agregáty nordstranditu, Děpoltovice. Foto J. Sejkora. Šířka obrázku 4.3 mm.



lickými agregáty jasně bílého gonnarditu (obr. 9). Posledním typem jsou nepravidelné „ježkovité“ agregáty nordstranditu (obr. 10) tvořené protáhle tabulkovitými, jehličkovitými až kopinatými jednotlivými krystaly o délce až 2 mm. Tyto agregáty jsou béžové a hnědavě žlutavé barvy a narůstají na agregáty bílého gonnarditu. Vedle výše popsaných krystalických agregátů byl nordstrandit zjištěn i jako rezavě hnědé souvislé celistvé výplně trhlín bez přítomnosti dalších minerálů.

Rentgenová prášková data všech studovaných typů nordstranditu jsou si velmi blízká a odpovídají publikovaným údajům pro tuto minerální fázi; současně se zřetelně odlišují od dat uváděných pro další polymorfnní modifikace  $\text{Al}(\text{OH})_3$  - minerály gibbsit, bayerit a doyleit. Za zmínku také stojí, že gibbsit nebyl ve studovaných vzorcích zjištěn ani jako minoritní příměs. Podrobně byla zpracována rentgenová prášková data prvního typu nordstranditu, z hodnot intenzit difrakcí v tabulce 1 je zřejmá výrazná přednostní orientace preparátu vyvolaná dokonalou štěpností studované fáze. Vypřesněné parametry základní cely studovaného nordstranditu jsou v tabulce 2 porovnány s publikovanými údaji. Vzhledem k tomu, že triklinická buňka tohoto minerálu je různými autory uváděna v odlišných



**Obr. 11** Bílé polokulovité agregáty böhmitu narůstající na hnědavé krystalické agregáty nordstranditu, Děpoltovice. Foto J. Sejkora. Šířka obrázku 7 mm.

**Tabulka 1** Rentgenová prášková data nordstranditu z Děpoltovic

$l_{obs}$	$h$	$k$	$l$	$d_{obs}$	$d_{calc}$
100	1	1	0	4.773	4.780
1	1	-1	0	4.317	4.314
1	0	1	-1	4.213	4.208
1	1	0	-1	4.150	4.150
1	0	1	1	3.875	3.879
1	1	0	1	3.582	3.588
1	0	2	0	3.439	3.437
<1	2	0	0	3.026	3.011
<1	1	2	-1	2.858	2.854
<1	2	1	-1	2.700	2.700
<1	-1	2	1	2.4811	2.4795
2	2	2	0	2.3891	2.3902
	1	1	-2		2.3879
<1	2	1	1	2.3103	2.3162
<1	2	-1	1	2.2531	2.2567
<1	0	3	1	2.0172	2.0172

**Tabulka 1** Pokračování

$l_{obs}$	$h$	$k$	$l$	$d_{obs}$	$d_{calc}$
<1	2	2	-2	1.9035	1.9000
	1	3	-2	1.7713	1.7822
	3	0	1		1.7736
<1	1	4	-1	1.6786	1.6739
	3	2	1	1.6170	1.6166
<1	-3	2	1		1.6147
	1	-3	2		1.6139
<1	2	2	2	1.5900	1.5903
	2	-2	2		1.5903
<1	1	4	1	1.5507	1.5497
	4	1	-1	1.5098	1.5102
<1	-1	4	1		1.5134
<1	-2	1	3	1.4720	1.4741
	3	1	2	1.4376	1.4368
<1	3	-3	0		1.4382
	-1	2	3		1.4353
	1	-2	3		1.4367

**Tabulka 2** Mřížkové parametry nordstranditu pro triklinickou prostorovou grupu P-1

		$a$ [Å]	$b$ [Å]	$c$ [Å]	$\alpha$ [°]	$\beta$ [°]	$\gamma$ [°]	$V$ [Å <sup>3</sup> ]
Děpoltovice	1	6.131(6)	6.946(6)	5.063(5)	95.86(7)	99.05(7)	83.26(8)	210.7(2)
Mont St-Hilaire	2	6.148(2)	6.936(2)	5.074(1)	95.76(2)	99.06(2)	83.30(2)	211.47(7)
Sokolovsko-Sarbay	3	6.125(4)	6.923(3)	5.082(2)	95.67(4)	98.88(4)	83.53(4)	210.8(1)
Dinaridy	4	6.137(1)	6.927(2)	5.075(1)	95.82(2)	98.93(2)	83.53(2)	210.93(6)
Guam	5	6.148(2)	6.933(2)	5.079(1)	95.80(2)	98.93(2)	83.22(2)	211.61(6)
West Sarawak	6	6.156(3)	6.928(6)	5.078(2)	95.76(5)	98.97(4)	83.38(6)	211.7(2)
West Sarawak	7	6.149(2)	6.934(2)	5.078(1)	95.79(3)	98.92(3)	83.30(3)	211.72(7)
Sydney Basin	8	6.141(8)	6.932(5)	5.087(6)	95.93(7)	98.62(8)	83.33(9)	211.8(2)
Narssarsuk	9	6.167	6.924	5.082	95.62	99.08	83.27	212.11
synt.	10	6.163(2)	6.931(3)	5.081(2)	95.70(3)	98.92(3)	83.32(3)	212.24(9)

1 - tato práce; 2 - Chao, Baker (1982); 3 - 10 - data přepočítána z publikovaných rentgenových práškových dat na jednotnou triklinickou redukovanou celu (Chao, Baker 1982); 3 - Kulikova et al. (1975); 4 - Maric (1968); 5 - Hathaway, Schlanger (1962, 1965); 6 - Saalfeld, Mehrotra (1966); 7 - Wall et al. (1962); 8 - Goldbery, Loughnan (1977); 9 - Petersen et al. (1976); 10 - Bosmans (1970).

**Tabulka 3** Chemické složení nordstranditu a böhmitu z Děpoltovic (hm. %)

	nordstrandit								böhmit					
	mean <sup>a</sup>	1	2	3	4	5	6	7	mean <sup>b</sup>	1	2	3	4	5
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.15	0.00	0.06	0.09	0.03	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.04	0.06	0.05	0.02	0.03	0.06	0.09	0.00	0.28	0.24	0.35	0.28	0.26	0.24
MgO	0.08	0.19	0.06	0.09	0.04	0.08	0.05	0.02	0.09	0.07	0.08	0.07	0.11	0.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	67.57	66.83	67.81	67.87	67.31	67.75	67.65	67.77	78.55	77.61	78.46	78.90	78.62	79.17
SiO <sub>2</sub>	0.62	0.68	0.71	0.57	0.50	0.68	0.70	0.50	0.80	0.79	0.67	0.70	1.03	0.79
H <sub>2</sub> O <sup>*</sup>	36.22	36.01	36.33	36.36	36.02	36.32	36.25	36.27	14.06	13.88	14.03	14.10	14.11	14.17
total	104.59	103.91	104.97	104.97	103.98	104.91	104.74	104.68	93.77	92.59	93.59	94.05	94.13	94.48
Na <sup>+</sup>	0.002	0.004	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca <sup>2+</sup>	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003
Mg <sup>2+</sup>	0.001	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002
Al <sup>3+</sup>	0.989	0.984	0.989	0.990	0.991	0.989	0.989	0.991	0.987	0.988	0.988	0.988	0.984	0.987
Si <sup>4+</sup>	0.008	0.008	0.009	0.007	0.006	0.008	0.009	0.006	0.008	0.009	0.007	0.007	0.011	0.008
H <sup>+</sup>	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

mean<sup>a</sup> - průměr 7 bodových analýz nordstranditu; mean<sup>b</sup> - průměr 5 bodových analýz böhmitu; H<sub>2</sub>O<sup>\*</sup> - obsahy dopočteny na bázi ideálních vzorců; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi Na+Ca+Mg+Al+Si = 1 *apfu*.

**Tabulka 4** Rentgenová prášková data böhmitu

$l_{obs}$	$h$	$k$	$l$	$d_{obs}$	$d_{calc}$
100	0	2	0	6.081	6.085
6	0	2	1	3.159	3.165
3	0	4	0	3.019	3.043
1	1	3	0	2.3420	2.3174
1	0	0	2	1.8537	1.8529
<1	1	5	0	1.8258	1.8436
1	0	8	0	1.5273	1.5213

**Tabulka 5** Mřížkové parametry böhmitu (pro ortorombickou prostorovou grupu Cmc<sub>2</sub>)

	tato práce	Farkas et al. (1977)
$a$ [Å]	2.82(3)	2.874
$b$ [Å]	12.17(6)	12.234
$c$ [Å]	3.71(2)	3.701
$V$ [Å <sup>3</sup> ]	127(2)	130.13

postaveních, byla pro porovnání zvolena data přepočtená Chao a Bakerem (1982) pro redukovanou triklinickou celu.

Výsledky kvantitativní chemické analýzy nordstranditu z Děpoltovic jsou uvedeny v tabulce 3; vedle převažujícího Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zde byly zjištěny i minoritní obsahy SiO<sub>2</sub> v rozmezí 0.50 - 0.71 hm. %; obdobné obsahy SiO<sub>2</sub> jsou uváděny i pro nordstrandit z Mont St-Hilaire (Chao, Baker 1982). Chemické složení nordstranditu z Děpoltovic je možno na bázi Na+Ca+Mg+Al+Si = 1 *apfu* vyjádřit empirickým vzorcem (Al<sub>0.99</sub>Si<sub>0.01</sub>)<sub>Σ1.00</sub>(OH)<sub>3</sub>.

#### Böhmit

Böhmit vystupuje na trhlinách čedičových hornin v podobě průsvitných až neprůhledných, chalcedon připomínajících krust a polokulovitých až kulovitých agregátů o velikosti do 3 mm, jasně bílé až šedobílé barvy. Narůstá na starší světle hnědé agregáty nordstranditu (obr. 11). Polokulovité agregáty böhmitu na lomu vykazují radiálně paprscitou strukturu (obr. 12) a zřetelný hedvábný lesk. Pro rentgenová prášková data böhmitu z Děpoltovic (tab. 4) jsou charakteristické projevy velmi výrazné přednostní orientace práškového preparátu vyvolané dokonalou štěpností minerálu. Vypřesněné parametry základní cely (tab. 5) jsou ve velmi dobré shodě s publikovanými údaji pro tuto minerální fázi. Při studiu jeho chemického složení (tab. 3) byly vedle zcela převládajícího Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zjištěny i minoritní obsahy SiO<sub>2</sub> (do 1.03 hm. %) a CaO (do 0.35 hm. %), empirický vzorec je možno na bázi Ca+Mg+Al+Si = 1 *apfu* vyjádřit jako (Al<sub>0.99</sub>Si<sub>0.01</sub>)<sub>Σ1.00</sub>O(OH).

#### Gonnardit

Nejhornější fázi je ve studované asociaci vedle kalcitu gonnardit, který vytváří výplně trhlín na ploše až několika dm<sup>2</sup>; je neprůhledný, nápadně jasně bílý a v dutinách vytváří skupiny drobných krystalů až krystalické agregáty o velikosti do několika mm (obr. 13). Zpravidla je zřetelně starší než nordstrandit a böhmit.

Rentgenová prášková data gonnarditu (tab. 6) odpovídají publikovaným údajům pro tento minerál; v některých záznamech byla zjištěna minoritní příměs fáze blízké natrolitu nebo thomsonitu. Vzhledem k tomu, že přítomnost další fáze při studiu chemického složení nebyla zjištěna, nelze vyloučit že se může jednat o přechodný

**Tabulka 6** Rentgenová prášková data gonnarditu

$l_{obs}$	$h$	$k$	$l$	$d_{obs}$	$d_{calc}$
100	0	2	0	6.601	6.613
72	1	0	1	5.907	5.919
73	2	2	0	4.671	4.676
47	2	1	1	4.404	4.410
38	1	3	0	4.177	4.182
4	0	4	0	3.304	3.306
32	3	2	1	3.205	3.208
11	1	1	2	3.118	3.120
26	2	0	2	2.958	2.960
70	4	1	1	2.884	2.887
13	1	5	0	2.5939	2.5937
13	4	3	1	2.4552	2.4562
6	4	0	2	2.3376	2.3391
2	2	5	1	2.3017	2.3025
4	3	3	2	2.2679	2.2692
13	2	4	2	2.2046	2.2052
1	1	0	3	2.1762	2.1762
2	1	2	3	2.0674	2.0672
2	5	4	1	1.9718	1.9717
3	3	6	1	1.8913	1.8895
1	5	3	2	1.8703	1.8709
5	6	4	0	1.8337	1.8341
7	7	0	1	1.8178	1.8168
1	2	6	2	1.7657	1.7678
2	2	7	1	1.7510	1.7519
7	3	7	0	1.7365	1.7366
1	4	3	3	1.6952	1.6943
1	0	0	4	1.6554	1.6547
1	0	8	0	1.6515	1.6532
4	6	5	1	1.6399	1.6405
2	2	8	0	1.6040	1.6038
2	4	7	1	1.5916	1.5923
1	1	6	3	1.5492	1.5486
2	3	1	4	1.5386	1.5387
1	7	5	0	1.5368	1.5374
1	8	3	1	1.5072	1.5073
3	8	0	2	1.4791	1.4789
1	3	6	3	1.4694	1.4701
1	8	2	2	1.4453	1.4433
1	9	0	1	1.4341	1.4346
1	6	7	1	1.3985	1.4020
2	7	5	2	1.3954	1.3943
1	5	8	1	1.3716	1.3715
1	8	4	2	1.3513	1.3500

**Tabulka 7** Mřížkové parametry gonnarditu (pro tetragonální prostorovou grupu I-42d)

	tato práce	Artioli, Galli (1999)
$a$ [Å]	13.226(3)	13.2670(4)
$c$ [Å]	6.619(3)	6.6023(6)
$V$ [Å <sup>3</sup> ]	1157.8(3)	1162.09





**Obr. 12** Bílé, polokulovité až kulovité agregáty bóhmitu s radiální vnitřní stavbou, Děpoltovice. Foto J. Sejkora. Šířka obrázku 4.5 mm.



**Obr. 13** Bílé krystalické agregáty gonnarditu, částečně obrůstáné hnědavým nordstranditem, Děpoltovice. Foto J. Sejkora. Šířka obrázku 5.5 mm.

**Tabulka 8** Chemické složení gonnarditu z Děpoltovic (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Na <sub>2</sub> O	10.83	10.78	10.33	10.84	11.70	10.15	10.97	11.36	11.63	9.72
CaO	5.49	5.56	5.54	5.91	4.40	6.06	5.38	5.46	4.92	6.17
SrO	0.22	0.18	0.23	0.27	0.23	0.10	0.21	0.30	0.22	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.48	29.73	29.64	29.81	29.22	28.86	29.83	29.51	30.11	28.66
SiO <sub>2</sub>	40.64	39.28	39.28	40.58	40.04	40.89	42.42	40.76	40.87	41.66
H <sub>2</sub> O	13.48	13.28	13.23	13.57	13.31	13.42	13.86	13.56	13.64	13.51
total	100.15	98.80	98.25	100.96	98.91	99.47	102.67	100.95	101.38	100.00
Na <sup>+</sup>	5.603	5.665	5.449	5.573	6.131	5.279	5.521	5.847	5.946	5.020
Ca <sup>2+</sup>	1.569	1.614	1.613	1.678	1.276	1.740	1.496	1.553	1.392	1.762
Sr <sup>2+</sup>	0.034	0.028	0.036	0.041	0.037	0.015	0.031	0.046	0.033	0.043
Na+Ca+Sr	7.207	7.307	7.099	7.292	7.443	7.033	7.049	7.445	7.371	6.825
Al <sup>3+</sup>	9.272	9.493	9.504	9.316	9.312	9.119	9.126	9.231	9.360	8.997
Si <sup>4+</sup>	10.844	10.643	10.685	10.761	10.827	10.964	11.011	10.816	10.781	11.095
Al+Si	20.115	20.136	20.189	20.076	20.139	20.083	20.137	20.047	20.141	20.092
H <sub>2</sub> O*	11.996	12.002	12.003	12.002	12.003	12.002	12.000	12.002	12.001	12.001
T <sub>si</sub>	0.54	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.54	0.54	0.55
Si/Al	1.17	1.12	1.12	1.16	1.16	1.20	1.21	1.17	1.15	1.23

mean - průměr 9 bodových analýz; H<sub>2</sub>O\* - obsahy dopočten na bázi ideálního obsahu 12 H<sub>2</sub>O; koeficienty empirického vzorce počítány na bázi 40 O *apfu*.



produkt dehydratace gonnarditu. Vypřesněné parametry základní cely gonnarditu z Děpoltovic (tab. 7) jsou v dobré shodě s publikovanými údaji.

Chemické složení studovaného gonnarditu z Děpoltovic (tab. 8) odpovídá údajům uváděným pro tuto minerální fázi v pracích Tschernich (1992), Artioli, Galli (1999) a Coombs et al. (1997). Zjištěné hodnoty  $T_{Si}$  0.53 - 0.55 leží v rozmezí 0.51 - 0.63 uváděném pro gonnardit Tschernichem (1992), resp. 0.52 - 0.62 Coombsem et al. (1997). Dominantními kationty jsou Na (5.02 - 6.13 *apfu*) a Ca (1.28 - 1.76 *apfu*), v malém množství byly zjištěny i obsahy Sr (0.02 - 0.05 *apfu*); celkový obsah kationtů se pohybuje v rozmezí 6.83 - 7.45 *apfu*, což dobře odpovídá hodnotám 6 - 8 *apfu* uváděným Coombsem et al. (1997). Průměrné složení gonnarditu z Děpoltovic (tab. 8) je možno na bázi 40 O vyjádřit empirickým vzorcem  $(Na_{5.60}Ca_{1.57}Sr_{0.03})_{\Sigma 7.20}[(Al_{9.27}Si_{10.84})_{\Sigma 20.11}O_{40}] \cdot 12H_2O$ .

## Závěr

Vývoj studované minerální asociace v Děpoltovicích lze zjednodušeně popsat paragenetickou sekvencí kalcit, gonnardit → nordstrandit → böhmit. Vzhledem k hojněmu výskytu nordstranditu a úplné absenci jinde běžného gibbsitu lze předpokládat vznik asociace ve silně bazickém prostředí (pH 9 - 11) bohatém alkalickými (Na,Ca) ionty. Vznik gibbsitu je totiž preferován v prostředí s vyšší aciditou a nižší koncentrací alkálií (Goldbery, Loughnan 1970; Milton et al. 1975; Violante et al. 1982; Dani et al. 2001). Minerály krystalizovanly nejspíše ze slabě temperovaných a pomalu proudících roztoků obohacených Al ionty a akáliemi, jejichž zdroj lze najít v alterovaných horninotvorných alumosilikátech (analcim, nefelín, příp. smektity). Vlivem nízkých obsahů Si byla zpočátku malá část Al vázána na gonnardit a následně se vyloučily čisté hlinité fáze nordstrandit a böhmit.

## Poděkování

V práci jsou uvedeny výsledky výzkumu, který byl finančně podpořen Ministerstvem kultury ČR v rámci výzkumného záměru MK00002327201. Milou povinností autorů je poděkovat R. Škodovi (Masarykova univerzita, Brno) za spolupráci při laboratorním výzkumu.

## Literatura

- Artioli G., Galli E. (1999): Gonnardite: Re-examination of holotype material and discreditation of tetranatrolite. - *Am. Mineral.* **84**, 1445-1450.
- Bosmans H. J. (1970): Unit cell and crystal structure of nordstrandite,  $Al(OH)_3$ . - *Acta Cryst.* **B26**, 649-652.
- Coombs D. S., Alberti A., Armbruster T., Artioli G., Colella C., Galli E., Grice J. D., Liebau F., Mandarino J. A., Minato H., Nickel E. H., Passaglia E., Peacor D. R., Quartieri S., Rinaldi R., Ross M., Sheppard R. A., Tillmanns E., Vezzalini G. (1997): Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names. - *Can. Mineral.* **35**, 1571-1606.
- Černý P., Černý P., Habermann V., Koloušek V., Ondruš P., Veselovský F. (2002): Mokrá u Žlutic, lokalita gibbsitu, böhmitu a zeolitů. - *Mineral* **10**, 6, 403-408.
- Dani N., Formoso M. L. L., Decarreau A., Meunier A. (2001): Nordstrandite in bauxite derived from phonolite, Lages, Santa Catarina, Brazil. - *Clays and Clay Mineral.* **49**, 216-226.
- Dlouhý V. a kolektiv (1988): Závěrečná zpráva úkolu Fojtov - těžební průzkum. - MS, Geindustria (Archiv Geofond P059690).
- Farkas L., Gadó P., Werner P.-E. (1977): The structure refinement of boehmite ( $\gamma$ - $AlOOH$ ) and the study of its structural variability based on Guinier-Hägg powder data. - *Mater. Res. Bull.* **12**, 1213-1219.
- Goldbery R., Loughnan F. C. (1970): Dawsonite and nordstrandite in the Permian Berry Formation of the Sydney Basin, New South Wales. - *Am. Mineral.* **55**, 477-490.
- Goldbery R., Loughnan F. C. (1977): Dawsonite, aluminohydrocalcite, nordstrandite and gorceixite in Permian marine strata of the Sydney Basin, Australia. - *Sedimentology* **24**, 565-579.
- Hathaway J. C., Schlanger S. O. (1962): Nordstrandite from Guam. - *Nature* **196**, 265-266.
- Hathaway J. C., Schlanger S. O. (1965): Nordstrandite ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ) from Guam. - *Am. Mineral.* **50**, 1029-1037.
- Holland T. J. B., Redfern S. A. T. (1997): Unit cell refinement from powder diffraction data: the use of regression diagnostics. - *Mineral. Mag.* **61**, 65-77.
- Chao G. Y., Baker J. (1982): Nordstrandite from Mont St-Hilaire, Quebec. - *Can. Mineral.* **20**, 77-85.
- Kulikova G. V., Tsekhovol'skaya D. I., Shitov V. A. (1975): First find of nordstrandite in the USSR. - *Dokl. Acad. Sci. USSR, Earth Sci. Sect.* **217**, 106-109.
- Maric L. (1968): Nordstrandite and gibbsite in the terrarossa of Dinarides karst. - *Geol. Vjesn.* **21**, 281-291.
- Milton C., Dwornik E. J., Finkelman R. B. (1975): Nordstrandite,  $Al(OH)_3$ , from the Green River Formation in Rio Blanco County, Colorado. - *Am. Mineral.* **60**, 285-291.
- Petersen O. V., Johnsen O., Leonardsen E. S. (1976): Nordstrandite from Narssârssuk, Greenland. - *Mineral. Rec.* **7**, 78-82.
- Saalfeld H., Mehrotra B. B. (1966): Zur Struktur von Nordstrandit  $Al(OH)_3$ . - *Naturwiss.* **53**, 128-129.
- Sabina A. P. (1977): New occurrences of minerals in parts of Ontario. - *Geol. Surv. Can., Pap.* **77-1A**, 335-339.
- Sejkora J., Bureš B., Tvrdý J. (2008): Nordstrandit von Depoltovice bei Karlovy Vary (Karlsbad), Tschechien. - *Lapis* **33**, 12, 36-38.
- Škvor V., Sattran V. (1989): Geologická mapa České republiky 1: 50 000. List 11-21 Karlovy Vary. - ÚÚG Praha.
- Tschernich R. W. (1992): Zeolites of the world. - 1-563, Geoscience Press, Inc., Arizona, USA.
- Ulrych J., Lloyd F. E., Balogh K. (2003): Age Relations and Geochemical Constraints of Cenozoic Alkaline Volcanic Series in W Bohemia: A Review. - *Geolines* **15**, 168-180.
- Violante P., Violante A., Tait J. M. (1982): Morphology of nordstrandite. - *Clays and Clay Mineral.* **30**, 431-437.
- Wall J. R. D., Wolfenden E. B., Beard E. H., Deans T. (1962): Nordstrandite in soil from West Sarawak, Borneo. - *Nature* **196**, 264-265.
- Witzke T. (1994): Neufunde aus Sachsen (II): Nordstrandit vom Bärenstein bei Annaberg in Sachsen. - *Lapis* **19**, 10, 36-39.