

SCIENTIAE  
GEOLOGICAE

ACTA  
MUSEI  
MORAVIAE

---

93 ■ 2008 ■ 1-2

---

Edited by Stanislav Houzar

---

MORAVSKÉ ZEMSKÉ

---

MUZEUM BRNO 2008

## HYDROMAGNEZIT, BRUGNATELLIT A COALINGIT V MINERÁLNÍ ASOCIACI PUKLIN SERPENTINITU Z KAMENOLOMU „U PUSTÉHO MLÝNA“ U HRUBŠIC, MOLDANUBIKUM, ZÁPADNÍ MORAVA

HYDROMAGNESITE, BRUGNATELLITE AND COALINGITE IN MINERAL ASSEMBLAGE  
OF FISSURES IN SERPENTINITE, QUARRY „U PUSTÉHO MLÝNA“, HRUBŠICE,  
MOLDANUBIAN ZONE, WESTERN MORAVIA

ONDŘEJ KOVÁŘ, ZDENĚK LOSOS, STANISLAV HOUZAR & JOSEF ZEMAN

### *Abstract*

Kovář, O., Losos, Z., Houzar, S., Zeman, J., 2008: Hydromagnezit, brugnatellit a coalingit v minerální asociaci puklin serpentinitu z kamenolomu „U Pustého mlýna“ u Hrubšic, moldanubikum, západní Morava. *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 93, 19-34.

*Hydromagnesite, brugnatellite and coalingite in mineral assemblage of fissures in serpentinite, quarry „U Pustého mlýna“, Hrubšice, Moldanubian zone, western Moravia*

Low-temperature fissure mineralization was found in the quarry “U Pustého mlýna” (the Hrubšice serpentinite body, Moravian Moldanubicum). It is formed by rare Mg-, Mg-Fe-hydrocarbonate minerals (hydromagnesite, artinite, brugnatellite, coalingite), followed by aragonite, brucite, dolomite and calcite. Two main stages of genesis have been recognised. The oldest stage of mineralization was relatively Fe-rich, with brugnatellite and coalingite (and brucite), the younger, more extensive Mg-rich stage, produced artinite and four types of hydromagnesite. The youngest minerals of fissures are calcite and dolomite, while the position of aragonite is unclear. Mineral assemblages have formed from low-temperature solutions, which were enriched in Mg<sup>2+</sup>, at pH ~ 9, with relatively low fugacity of CO<sub>2</sub> and temperature lower than 44 °C.

*Key words:* hydromagnesite, brugnatellite, coalingite, aragonite, fissure minerals, serpentinite, Moldanubicum, Bohemian Massif

Ondřej Kovář: Department of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic; e-mail: kovarondra@centrum.cz

Zdeněk Losos: Department of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic; e-mail: losos@sci.muni.cz

Stanislav Houzar: Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 659 37 Brno; e-mail: shouzar@mzm.cz

Josef Zeman: Department of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic; e-mail: jzeman@sci.muni.cz

### 1. Úvod

Hrubšické hadcové těleso, které vystupuje zhruba 6 km západně od Ivančic v okrese Brno-venkov, je již řadu let známo mezi sběrateli minerálů především díky nálezům mag-



Obr. 1. Pohled na lom „U Pustého mlýna“, stav v dubnu 2006. Foto O. Kovář.  
Fig. 1. View on quarry „U Pustého mlýna“, the situation in April 2006. Photo O. Kovář.

nezitu, sepiolitu, chloritu a chalcedonu (plazmy) v reziduálních zvětralinách, některým minerálům desilikovaných pegmatitů a vzácné zeolitové mineralizaci na jeho styku s okolními horninami (BURKART 1953). Hadcové těleso bylo otevřeno několika lomy, dnes vesměs opuštěnými, několika štolami zde byl těžen magnezit a sepiolit (KETTNER 1919).

Činný stěnový kamenolom „U Pustého mlýna“ firmy Kamena Brno, provozovna Hrubšice, se nalézá na pravém břehu řeky Jihlavy v katastru Hrubšic, zhruba 0,5 km jižně od Biskoupek (obr. 1). Je rozdělen na dvě etáže, vytěžená část se využívá pro skladování odtěženého kameniva, které se dále zpracovává na teracové drtě do cementářských směsí (J. Smejkal – ústní sdělení). Při výzkumu minerálů v kamenolomu, který od roku 2005 provádí první z autorů, byla objevena zajímavá asociace vzácných Mg-, Mg-Fe-hydrokarbonátů. Dosud z ní byl publikován pouze nález estetických ukázek vzácného artinitu (KOVÁŘ a LOSOS 2005).

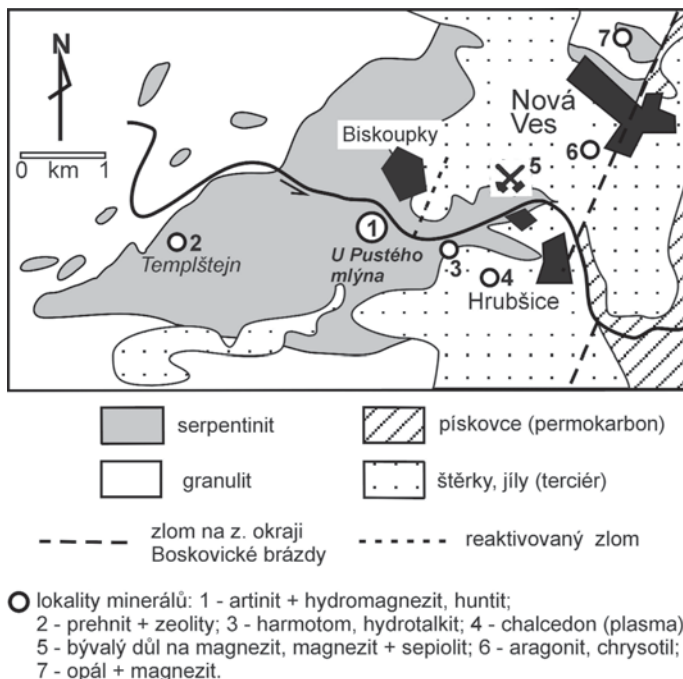
## 2. Stručná geologická charakteristika oblasti

Rozsáhlé těleso serpentinitu, rozkládající se mezi Hrubšicemi, Jamolicemi, Biskoupkami a Novou Vsí u Oslavan, náleží spolu s nedalekým mohelenským tělesem k největším ultrabazickým tělesům tohoto typu v moldanubiku. Vystupuje společně s felsickými granulity, migmatity a amfibolity v nejvýchodnější části moravského moldanubika a je interpretováno jako tektonický fragment suboceánského pláště, vmístěný do dnešní úrovně při variské orogenezi (MEDARIS *et al.* 2005). Nejvýchodnější část tělesa tektonicky hraničí s permokarbonem Boskovické brázd; na povrchu krystalinika jsou uložena mladší terciérní jílovitá rezidua zvětrávání serpentinitu a reliktů mladoterciérních mořských sedimentů (obr. 2). Těleso je ve směru V-Z rozděleno údolím řeky Jihlavy. V severní části jsou vyvinuty hlubší zvětralinové ložiska magnezitu, které je součástí terciérních sedimentů a hadcových reziduí. Na obou březích řeky Jihlavy jsou zachovány pleistocénní terasové šterky (BARVÍŘ 1893, PROCHÁZKA 1910, KETTNER 1919, MRÁZEK a REJL 1976).

Hrubšické těleso je tvořeno převážně serpentinizovanými spinelovými peridotity, s enstatitem, Cr-diopsidem, pargasitickým amfibolem a ojediněle též granátem, bohatým pyropovou složkou. Maximální teplota vzniku původní minerální asociace lze podle olivín-granátového termometru odhadnout na ~1300 °C, celkový tlak podle Al-Opx barometru

Obr. 2. Schématická geologická mapa studované oblasti s vyznačenými lokalitami výskytu minerálů.

Fig. 2. Geological sketch of the studied area with mineral occurrences marked.



na ~27,5 kbar. Ultrabazické horniny jsou ojediněle pronikány drobnými žilami desilikovaných pegmatitů, s lemy antofylitu, flogopitu a chloritu (MEDARIS *et al.* 1990, 2005, MEDARIS a JELÍNEK 2004), časté jsou rovněž žilky chrysotilu (Nová Ves). Při kontaktech peridotitu, zejména při západním okraji tělesa (pod zříceninou hradu Templštejn), jsou vyvinuty heterogenní, biotitem a amfiboly bohaté horniny, vzniklé reakcí peridotitu a granulitu za vysoké teploty ve střední kůře (URBAN 1988, HRAZDIL 2001). Jinde je hranice serpentinitu převážně tektonická, bez patrných změn hornin na přímých kontaktech, přičemž některé zlomy byly recentně reaktivovány, jak u Biskoupek prokázal LEICHMANN a HEJL (1996).

### 3. Historie výzkumu minerálních asociací serpentinitu hrubšického hadcového tělesa

První informace o minerálech hrubšického tělesa, resp. jeho severní části (pod chybnou lokalizací Hrubšice), pocházejí z přelomu 18. a 19. století a týkají se sepiolitu („mořské pěny“), opálu a magnezitu na katastru Nové Vsi, resp. Biskoupek. ESTNER (1795) a WONDRAŠEK (1798) odtud uvádějí „mořskou pěnu“, Mehoffer (in BURKART 1953) v roce 1814 popisuje opál a Karl Caesar von Leonhard v r. 1821 uveřejnil první analýzu tamního magnezitu (LEONHARD 1821). První petrografický popis serpentinitu a sdružených hornin z okolí Hrubšic podal BARVÍŘ (1893). Od této doby byla oblast často navštěvována sběrateli nerostů a byl tu s přestávkami dolován magnezit (naposledy firma „Moravské magnésitové závody“ V. Opletala z Brna). Přehled minerálů hrubšického serpentinitového tělesa nejuplněji publikoval BURKART (1953).

#### 3.1. Sekundární karbonáty serpentinitu

První zmínky o výskytu karbonátů, vzniklých rozkladem serpentinitu, se týkají *magnezitu* a mikrokrytalického *dolomitu* (tzv. „gurhofiánu“ či „protodolomitu“), pravděpo-

dobně z magnezitového ložiska u Biskoupek (LEONHARD 1821). Ty se však nacházejí převážně v jílovitých reziduích a sedimentech, nikoliv přímo v serpentinitu. Asociace bezvodých Mg-, Mg-Ca-karbonátů se sepiolitem je typická pouze pro část tělesa, vystupující severně od řeky Jihlavy (KETTNER 1919). BURKART (1953) z této asociace zmiňuje i **kalcit**.

Okolí Hrubšic však představuje význačnou lokalitu vodnatých karbonátů s cizím anionem ze skupiny hydromagnezitu. **Hydromagnezit**  $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$  vytváří sněhově bílé, křídové povlaky v rozvětralém magnezitu a dolomitu nebo vzácně i konkrce světlé barvy (GLOCKER 1839). Podle BURKARTA (1953) jej pod lokalizací Hrubšice poprvé zmiňuje GLOCKER už dříve, v r. 1835, byl tedy objeven přibližně ve stejné době, kdy byl jako nový minerál popsán z lokality Castle Point, Hoboken, USA (v roce 1827).

Z puklin serpentinitu v jižní části (katastr Hrubšice, trať „Příčky“) byly popsány v r. 1922 Kučerou (in BURKART 1953) radiálně paprscité agregáty **aragonitu**, který později uvádí na serpentinitu ze západního okraje Nové Vsi také KRUTA (1966). Na puklinách chloritizovaných žilců z desilikovaných pegmatitů v serpentinitu u Hrubšic („Prosniska“, dnes „PR Nad řekami“) zjistil ČERNÝ (1965) **hydrotalkit**  $Mg_6Al_2(CO_3)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$ . Další vzácný karbonát **huntit**  $CaMg_3(CO_3)_4$  určil v kamenolomu „U Pustého mlýna“ u Hrubšic J. Miškovský a později jeho nález ověřil a popsal NĚMEC (1981). Na puklinách navětralého serpentinitu, zakrytého asi 1 m mocnou vrstvou hlín, tvoří tenké bílé krusty, které se makroskopicky neliší od magnezitu. Na stejné lokalitě zjistili a podrobně popsali KOVÁŘ a LOSOS (2005) **artinit**. Byl nalezen ve vynikajících ukázkách jako nový minerál nejen pro lokalitu, ale i pro Českou republiku. Vytváří drúzy o průměru až 15 mm, složené z radiálně paprscitých, jehlicovitých krystalků na puklinách serpentinitu v asociaci s hydromagnezitem. V citované práci jsou zahrnuty makro- a mikrofotografie, RTG-difrakční a chemické analýzy. JIRÁSEK (2007) studoval genezi zdejšího huntitu. Na základě tvaru agregátů předpokládá, že huntit alespoň zčásti pseudomorfuje hydromagnezit.

#### 4. Metodika práce

Vzorky karbonátů pocházejí z vlastních sběrů v letech 2005–2007 z haldového materiálu uloženého na první etáži kamenolomu.

Makrofotografie artinitu, hydromagnezitu a aragonitu byly pořízeny Stereomikroskopem LEICA MZ 16, digitální kamera LEICA DFC 480 (5 Mpx) a zpracovány programem IM 1000 s modulátorem pro multifokus.

RTG-difrakční záznamy byly pořízeny na transmisním difraktometru STOE, typ STADI-P (Stoe & Cie Company), na ÚGV PřF MU v Brně za podmínek: záření  $CoK\alpha$  (1.788965 Å), záznam úhlů  $2\theta$  v rozmezí 10–70°, pozičně citlivý detektor, načel V. Vávra. Záznamy byly dále zpracovány pomocí softwaru WinXPow. U aragonitu byl proveden výpočet mřížkových parametrů. Protože difrakční píky s nejnižší intenzitou nebylo možné softwarově ani manuálně přesně aproximovat, byly pro výpočet použity pouze všechny difrakční píky s  $I \geq 5$  (celkem 21 difrakcí). Wernerovým algoritmem bylo při výpočtu akceptováno 19 difrakcí, 2 difrakce nebyly indexovány.

Chemismus jednotlivých fází byl stanoven na elektronové mikrosondě Cameca SX 100 v Brně (Laborař elektronové mikroskopie a mikroanalýzy, Společné pracoviště ÚGV PřF MU a ČGS, analytik R. Škoda). Analýzy byly zhotoveny za těchto podmínek: vlnově disperzní mód (WDX), urychlovací napětí 15 kV, proud 10 nA, průměr svazku 10  $\mu m$ . Pro stanovení chemického složení bylo použito těchto standardů: andradit (Ca, Fe), sanidin (K, Si, Al), olivín a  $MgAl_2O_4$  (Mg), albit (Na), baryt (Ba, S), vanadinit (Cl), apatit (P), rodonit (Mn), chromit (Cr), kovový nikl (Ni),  $SrSO_4$  (Sr), PbSe (Pb), ZnO (Zn). Analyzované obsahy oxidů byly zpracovány pomocí programů Formula a Excel.

Tabulka 1. RTG – práškové difrakční analýzy hydromagnezitu z Biskoupek ve srovnání s tabelovanými hodnotami z databáze PDF-2.

Table 1. X-ray powder diffraction analyses of hydromagnesite from Biskoupy in comparison with PDF-2 database.

HYDROMAGNEZIT		HYDROMAGNEZIT		TAB. HODNOTY				
typ I		typ III		KARTA 25-0513/TAB. VOLUME CARD 25-0513				
HRUBŠICE		HRUBŠICE		d (Å)	I(rel)	h	k	l
9,168	14	9,166	25	9,200	40	1	0	0
6,398	25	6,399	32	6,400	40	-1	1	0
5,792	100	5,795	100	5,791	100	0	1	1
4,598	3	4,595	4	4,580	7	2	0	0
4,470	13	4,473	11	4,460	17	0	2	0
4,185	42	4,187	30	4,186	30	-1	0	2
4,088	4	4,089	7	4,090	12	2	1	0
4,020	5	4,023	7	4,022	8	1	2	0
-	-	3,858	1	3,856	1	0	2	1
3,813	7	3,812	7	3,812	13	0	0	2
3,501	11	3,502	11	3,503	14	0	1	2
3,316	16	3,319	18	3,317	30	-2	2	1
3,206	6	3,207	10	3,207	16	-2	2	0
3,154	6	3,154	12	3,142	20	2	1	1
3,101	4	3,101	6	3,101	11	-3	0	2
3,090	4	3,092	6	3,088	10	1	0	2
3,067	3	3,066	3	3,063	6	3	0	0
2,921	5	2,924	6	2,919	11	1	1	2
2,902	57	2,903	60	2,899	80	3	1	0
2,837	4	2,840	4	2,840	6	1	3	0
2,777	5	2,779	4	2,779	7	-1	3	1
2,693	11	2,694	14	2,692	25	-3	2	1
2,638	4	2,637	3	2,637	5	-1	1	3
2,555	3	2,557	4	2,556	5	-2	3	1
2,546	3	2,545	2	2,543	4	1	2	2
2,530	3	2,529	4	2,529	9	3	2	0
2,503	12	2,505	15	2,504	20	2	3	0
2,478	4	2,479	5	2,478	10	-4	0	2
-	-	2,470	4	2,469	10	2	0	2
2,441	2	2,442	3	2,442	5	0	1	3
2,417	2	2,419	3	2,417	7	-4	1	1
2,387	1	2,390	1	2,387	2	-4	1	2
2,349	11	2,351	7	2,350	14	-2	2	3
2,300	7	2,299	11	2,298	35	4	0	0
2,236	2	2,236	3	2,233	4	-3	3	1
2,208	16	2,208	15	2,207	25	0	2	3
2,189	4	2,189	6	2,189	11	-4	2	1
-	-	-	-	2,185	11	3	2	1
2,174	4	2,176	5	2,174	7	1	4	0
2,162	10	2,163	12	2,161	20	-4	1	3
2,155	9	2,156	12	2,154	25	1	1	3
2,147	9	2,148	12	2,146	19	1	3	2
2,139	6	2,140	6	2,137	12	-3	3	0
2,095	2	2,095	1	2,093	1	-2	0	4
2,043	3	2,042	3	2,040	6	-2	1	4
2,027	6	2,029	5	2,025	8	-1	3	3
2,013	3	2,013	3	2,012	5	3	0	2
1,995	10	1,996	13	1,994	25	-4	2	3
1,991	9	1,990	11	1,988	19	1	2	3
1,973	4	1,974	3	1,974	4	-1	4	2
1,969	2	1,968	2	1,968	4	-5	1	2
1,964	1	1,964	3	1,962	5	3	1	2

Tabulka 2. RTG – prášková difrakční analýzy aragonitu z Biskoupek ve srovnání s tabelovanými hodnotami z databáze PDF-2.

Table 2. X-ray power diffraction analyses of aragonite from Biskoupyk in comparision with PDF-2 database.

ARAGONIT		TAB. HODNOTY				
HRUBŠICE		KARTA 41-1475/TAB. VOLUME CARD 41-1475				
d (Å)	I(rel)	d (Å)	I(rel)	H	K	L
4,215	5	4,212	3	1	1	0
-	-	3,984	1	0	2	0
3,396	100	3,397	100	1	1	1
3,275	59	3,274	50	0	2	1
2,873	10	2,872	6	0	0	2
2,733	12	2,733	9	1	2	1
2,704	58	2,702	60	0	1	2
2,484	30	2,481	40	2	0	0
2,411	22	2,411	14	0	3	1
2,374	40	2,373	45	1	1	2
2,342	36	2,342	25	1	3	0
2,330	25	2,330	25	0	2	2
2,191	17	2,190	12	2	1	1
2,166	3	2,168	2	1	3	1
2,107	30	2,108	40	1	2	2
1,994	5	-	-	-	-	-
1,979	68	1,977	55	2	2	1
1,950	3	1,950	1	0	3	2
1,884	38	1,882	25	0	4	1
1,878	20	1,878	25	2	0	2
1,862	3	1,862	2	0	1	3
1,828	4	1,828	4	2	1	2
1,816	29	1,815	20	1	3	2
1,761	6	1,760	3	1	4	1
1,744	25	1,743	25	1	1	3
1,730	11	1,729	12	2	3	1
1,727	15	1,726	16	0	2	3
1,699	3	1,698	2	2	2	2
1,637	3	1,637	3	0	4	2
1,630	2	1,630	1	1	2	3
1,620	4	1,620	2	3	1	0

U brugnatellitu a coalingitu bylo FeO přepočítáno na Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pomocí koeficientu 1,11135. Empirické vzorce studovaných fází byly přepočítány na sumu kationů. Byly pořízeny mikrofotografie ve zpětně odražených elektronech (BSE) a sekundárních elektronech (SE). U BSE-mikrofotografií jsou použity následující zkratky minerálů: Arg - aragonit, Brc - brucit, Brg - brugnatellit, Cal - kalcit, Col - coalingit, Hmg - hydromagnezit.

Stabilita artinitu a hydromagnezitu v závislosti na celkové aktivitě rozpuštěných karbonátových fází, aktivitě rozpuštěných ionů Mg<sup>2+</sup>, pH a Eh byla modelována pro T = 25 °C pomocí programu Geochemist's Workbench Professional 6.0 (BETHKE 2005a, b, c).

## 5. Charakteristika minerálních asociací a jejich pozice

Puklinová mineralizace tvořená Mg-, Mg-Fe-hydrokarbonáty se vyskytuje převážně v silně přeměněném serpentinitu. Ten má, na rozdíl od typického tmavého serpentinitu hrubšického tělesa, světle zelenohnědou barvu a je produktem alterace hydrotermálními roztoky, které cirkulovaly po puklinách. Žilky karbonátů buď zcela vyplňují pukliny o mocnosti od několika mm do 4 cm, případně karbonáty často vykryštalizovaly do otevřených

Tabulka 3. Reprezentativní chemické analýzy karbonátů (oxidy v hm. %); n. d. – pod mezí detekce; \* – dopočteno na základě stechiometrie; Další analyzované oxidy – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BaO, PbO, ZnO, NiO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>2</sub> a Cl byly pod limitem detekce.

Table 3. Representative chemical analyses of the carbonates (oxides in wt. %); n.d. – below detection limit; \*calculated on cations sum of the crystallochemical formula. The other analysed oxides – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BaO, PbO, ZnO, NiO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>2</sub> and Cl were below detection limit.

	Aragonit	Kalcit			Dolomit		Brucit		
	Aragonite	Calcite			Dolomite		Brucite		
SiO <sub>2</sub>	n.d.	n.d.	0,58	0,01	0,07	0,03	0,03	0,08	
FeO	0,02	0,02	0,10	0,02	n.d.	0,03	1,04	0,72	
MnO	n.d.	n.d.	0,11	0,28	2,08	2,08	0,11	0,23	
MgO	0,02	0,15	1,26	0,59	22,36	22,34	64,30	65,57	
CaO	56,28	55,86	53,65	55,43	27,03	27,30	CaO	0,04	0,05
SrO	0,04	0,19	n.d.	0,01	0,04	0,08	SrO	n.d.	0,02
CO <sub>2</sub> *	44,22	44,09	44,03	44,34	46,99	47,18	H <sub>2</sub> O*	29,05	29,59
Total	100,58	100,31	99,73	100,68	98,57	99,04	Total	94,57	96,26
Si <sup>4+</sup>	0,000	0,000	0,010	0,000	0,002	0,001	Si <sup>4+</sup>	0,000	0,001
Fe <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	Fe <sup>2+</sup>	0,009	0,006
Mn <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,002	0,004	0,055	0,055	Mn <sup>2+</sup>	0,001	0,002
Mg <sup>2+</sup>	0,000	0,004	0,031	0,015	1,039	1,034	Mg <sup>2+</sup>	0,989	0,990
Ca <sup>2+</sup>	0,999	0,994	0,956	0,981	0,903	0,908	Ca <sup>2+</sup>	0,000	0,001
Sr <sup>2+</sup>	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	Sr <sup>2+</sup>	0,000	0,000
C <sup>4+</sup>	1,000	1,000	1,000	1,000	2,000	2,000	Σ cat.	1,000	1,000
Σ cat.	2,000	2,000	2,000	2,000	4,000	4,000	H <sup>+</sup>	2,000	2,000
O <sup>2-</sup>	3,000	3,000	3,010	3,000	6,002	6,001	O <sup>2-</sup>	2,000	2,001

	Artinit		Hydromagnezit						
	Artinite		Hydromagnesite						
			typ I			typ II			
SiO <sub>2</sub>	0,03	0,00	n.d.	n.d.	n.d.	0,06	n.d.	n.d.	n.d.
FeO	0,01	0,00	0,01	0,02	n.d.	0,33	0,01	0,01	0,01
MnO	0,01	0,00	n.d.	n.d.	0,01	0,22	0,01	0,01	n.d.
MgO	41,52	41,15	44,20	44,24	44,60	43,75	44,68	43,50	44,72
CaO	0,01	0,01	0,05	0,03	0,03	0,08	0,06	n.d.	0,06
SrO	0,00	0,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,01	n.d.
CO <sub>2</sub> *	22,69	22,47	38,65	38,67	38,98	38,57	39,08	38,01	39,11
H <sub>2</sub> O*	37,15	36,80	19,78	19,79	19,95	19,74	20,00	19,45	20,01
Total	101,42	100,44	102,68	102,75	103,57	102,75	103,83	100,99	103,91
Si <sup>4+</sup>	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,021	0,001	0,001	0,001
Mn <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,014	0,001	0,001	0,000
Mg <sup>2+</sup>	1,998	2,000	4,995	4,996	4,997	4,954	4,994	4,998	4,995
Ca <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,004	0,002	0,002	0,007	0,005	0,000	0,005
Sr <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C <sup>4+</sup>	1,000	1,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Σ cat.	3,000	3,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000
H <sup>+</sup>	8,000	8,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
O <sup>2-</sup>	8,001	8,000	18,000	18,000	18,000	18,005	18,000	18,000	18,000

Tabulka 3. Pokračování.

Table 3. Continued.

	Brugnatellit						Coalingit			
	Brugnatellite						Coalingite			
SiO <sub>2</sub>	0,21	0,11	0,01	0,06	0,05	1,33	0,06	0,15	0,13	0,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,27	12,34	13,25	12,97	11,73	13,10	17,96	17,19	16,79	18,06
FeO	11,04	11,11	11,92	11,62	10,56	11,79	16,16	15,47	15,11	16,26
MnO	1,70	1,23	1,28	1,41	1,28	1,37	1,01	0,85	0,80	0,89
MgO	43,41	43,13	43,14	43,13	43,53	41,49	48,00	47,77	46,37	46,84
CaO	0,03	0,13	0,05	0,06	0,03	0,13	0,08	0,08	n.d.	0,14
SrO	n.d.	n.d.	0,02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,03	n.d.	n.d.
CO <sub>2</sub> *	7,91	7,83	7,89	7,89	7,84	7,78	5,25	5,20	5,04	5,15
H <sub>2</sub> O*	34,01	33,67	33,93	33,90	33,68	33,43	30,11	29,78	28,88	29,54
Total	99,55	98,45	99,57	99,42	98,14	98,63	102,47	101,04	98,01	100,74
Si <sup>4+</sup>	0,019	0,010	0,001	0,006	0,005	0,125	0,008	0,021	0,019	0,017
Fe <sup>3+</sup>	0,855	0,868	0,925	0,906	0,825	0,928	1,884	1,824	1,836	1,931
Mn <sup>2+</sup>	0,133	0,097	0,101	0,111	0,101	0,109	0,119	0,101	0,098	0,107
Mg <sup>2+</sup>	5,990	6,011	5,967	5,971	6,066	5,824	9,976	10,039	10,046	9,923
Ca <sup>2+</sup>	0,003	0,013	0,005	0,006	0,003	0,013	0,012	0,012	0,000	0,021
Sr <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
C <sup>4+</sup>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Σ cat.	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	13,000	13,000	13,000	13,000
H <sup>+</sup>	21,000	21,000	21,000	21,000	21,000	21,000	28,000	28,000	28,000	28,000
O <sup>2-</sup>	19,947	19,944	19,964	19,959	19,917	20,089	28,950	28,933	28,937	28,983

puklin. Přesná pozice a orientace žil s hydrokarbonáty vzhledem k tektonické deformaci serpentinitového tělesa není známa, studován byl pouze materiál v sutí po odstřelu.

Studovanou hydrokarbonátovou mineralizací tvoří převážně hydromagnezit s artinitem (KOVÁŘ a LOSOS 2005), brugnatelitem, coalingitem a brucitem. Drúzový artinit se na puklinách objevuje i samostatně. Mladší výplň puklin tvoří dolomit a kalcit. Nejasné postavení v asociaci má aragonit.

#### *Artinit - Mg<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)(OH)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O*

Artinit z této lokality byl podrobně charakterizován v samostatné studii (KOVÁŘ a LOSOS 2005). Vyskytuje se výhradně v drúzách jehlicovitých krystalů, podobných nartolitu (obr. 3), na otevřených puklinách serpentinitu. Bývá tam jediným minerálem nebo asociuje s hydromagnezitem. Chemické složení odpovídá teoretickému vzorci bez příměsí minoritních prvků (tab. 3).

#### *Hydromagnezit - Mg<sub>5</sub>[(CO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>]·4H<sub>2</sub>O*

Hydromagnezit představuje typický nízkoteplotní hydrotermální minerál, vyskytující se především v některých serpentinitech a Mg-bohatých vyvěřelinách; jde též o alterační produkt brucitu, např. v periklasových mramorech u Predazza, Itálie (ANTHONY *et al.* 2003, BOJAR a POSTL 2005). Vyskytuje se také v sedimentech (ALDERMAN a VON DER BORCH 1960), v sekundárních anorganických jeskynních výplních, např. Fränkische Schweiz v Německu (FISCHBECK a MÜLLER 1971) nebo vytváří hydromagnezitové stromatolity v jezerech, pro něž je typické vysoké pH (>9), např. Salda Golu v Turecku (BRAITHWAITE a ZEDEF 1996). Bývá častou součástí bílých práškovitých agregátů a povlaků, tvořených směsí různých Mg-minerálů, proto je málokdy přesně identifikován.

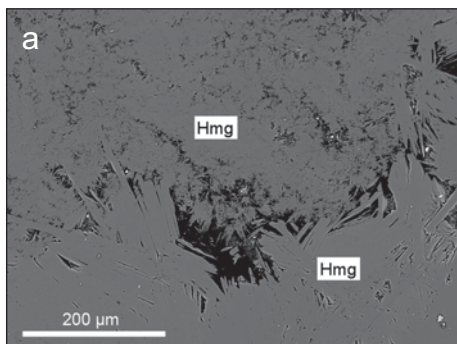
V České republice byl vzácně uváděn již ve starších pracích jako bílé povlaky na serpentinitech, kromě Moravy např. v Kutné Hoře, avšak bez jakýchkoliv identifikačních dat



Obr. 3. Drúza jehlicovitých krystalů artinitu, Hrubšice. Foto M. Ivanov.  
Fig. 3. Druse of needle-like artinite crystals, Hrubšice. Photo M. Ivanov.

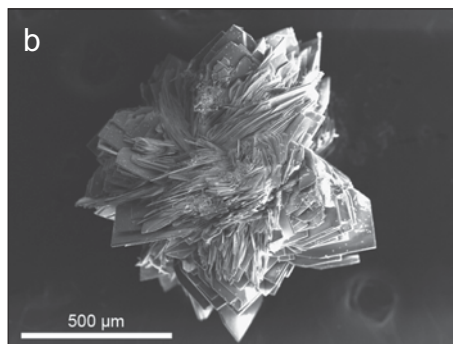


Obr. 4. Paprscitá stavba polokulovitých agregátů hydromagnezitu typu I, Hrubšice. Foto M. Ivanov.  
Fig. 4. Radial structure of the hydromagnesite aggregates of the type I, Hrubšice. Photo M. Ivanov.



Obr. 5a. Hydromagnezit (typ II), BSE foto, Hrubšice. Foto R. Škoda.

Fig. 5a. Hydromagnesite (type II), BSE photo, Hrubšice. Photo R. Škoda.



Obr. 5b. Růžicovité drúzy dokonalých krystalů hydromagnezitu (typ III), Hrubšice, mikrofoto grafie v sekundárních elektronech. Foto R. Škoda.

Fig. 5b. Druse of rose-like hydromagnesite crystals (type III), Hrubšice, SE microphoto, R. Škoda.

(BURKART 1953, KRATOCHVÍL 1958). Rentgenometricky byl určen z žil v serpentinitu na lokalitě Borek u Chotěboře, kde je doprovázen hojným brucitem (DOUBEK 1997).

Hydromagnezit je na studované lokalitě nejhojnějším puklinovým hydrokarbonátem. Byl nalezen ve čtyřech morfologických typech:

(I) Prvním typem jsou bílé až průsvitné polokulovité agregáty, při zvětšení s nápadným perleťovým leskem, o velikosti kolem 5 mm, mající radiální stavbu (obr. 4). Agregáty hydromagnezitu narůstají na puklinách hadce samostatně nebo méně často se objevuje v centrech radiálně paprscitých drúz artinitu (viz též KOVÁŘ a LOSOS 2005).

(II) Druhým typem jsou jemnozrné celistvé žilky o mocnosti cca 2 cm. Ty se nacházejí v silně přeměněném serpentinitu. Mikroskopicky lze na žilkách pozorovat paprscité shluky krystalů podobné typu I, které mají listovitý průřez (obr. 5a).

(III) Další morfologický typ vytváří samostatné růžicovité drúzy dokonalých krystalků o velikosti až 1 mm (obr. 5b).

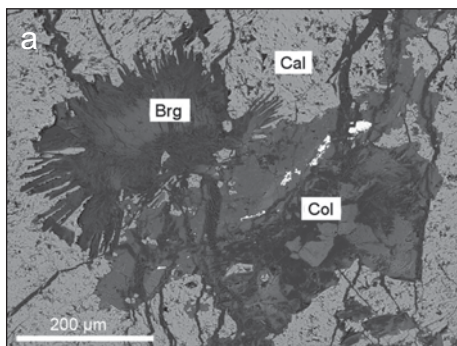
(IV) Hydromagnezit někdy také tvoří na serpentinitu celistvé a středně zrnité krusty velmi podobné magnezitu.

Hydromagnezit všech morfologických typů byl určen pomocí RTG-difrakčních analýz. V tab. 1 jsou uvedeny difrakční záznamy hydromagnezitů I. a III. morfologického typu, ve srovnání s tabelovanými hodnotami hydromagnezitu z databáze PDF-2.

Chemické složení hydromagnezitu z Hrubšic bylo sledováno bodovými analýzami u morfologických typů I a II. Chemismus je velmi jednoduchý, kromě vysokých obsahů MgO (42,36–44,98 hm. %), byly zjištěny jen mírně zvýšené obsahy i dalších minoritních oxidů: SiO<sub>2</sub> (0,02–0,50 hm. %), FeO (0,01–0,33 hm. %), MnO (0,01–0,22 hm. %), CaO (0,02–0,39 hm. %) a SrO (0,01–0,02 hm. %) (tab. 3). Výsledná suma analýz po dopočtu H<sub>2</sub>O a CO<sub>2</sub> je 100,99–104,51 %, ale výsledek výpočtu je přijatelný vzhledem k použití metodice analýzy.

### **Brugnatellit - $Mg_6Fe^{3+}[(CO_3)(OH)_{13}].4H_2O$**

Brugnatellit byl poprvé popsán z ložiska Val Malenco, poté z Monte Ramazo a Val di Lanzo, vše Itálie (ARTINI 1909, FRONDEL 1941). Dále byl nalezen v Iron Hill, Colorado (LARSEN a GORANSON 1932). Vzniká většinou hydrotermální alterací serpentinitu a vyplňuje pukliny s dalšími hořčíkem bohatými karbonáty. Vždy je doprovázen brucitem; vyskytuje se obvykle v asociaci s chryzotilem, artinitem, hydromagnezitem, pyroauritem, magnezitem a aragonitem (ANTHONY *et al.* 2003).



Obr. 6a. Asociace brugnatellitu, coalingitu a kalcitu, BSE foto, Hrubšice. Foto R. Škoda

Fig. 6a. Assemblage of brugnatellite, coalingite and calcite, BSE photo, Hrubšice. Photo R. Škoda.

Brugnatellit je na žilkách v Hrubšicích vzácným minerálem a dosahuje pouze mikroskopických rozměrů. Byl nalezen na karbonátové žilce v asociaci s hydromagnezitem (typ II) a s níže popsaným coalingitem, dále s kalcitem a brucitem. Vystupuje ve středech radiálně paprscovitých agregátů hydromagnezitu nebo vytváří samostatné snopkovité jehlicovité agregáty. Samostatné agregáty dosahují velikosti až 100×50 µm (obr. 6a, b).

Chemické analýzy odpovídají dobře teoretickému složení. Bodové analýzy z obou popsaných typů agregátů ukazují na chemickou homogenitu detekovaného minerálu. Brugnatellit obsahuje na rozdíl od hydromagnezitu a artinitu vysoké koncentrace  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , které dosahují 11,73–13,25 hm. %. Je charakteristický také zvýšenými obsahy MnO (1,19–1,70 hm. %) (tab. 3).

#### **Coalingit - $\text{Mg}_{10}\text{Fe}^{3+}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_{24}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$**

Coalingit jako nový minerál byl poprvé popsán ze serpentinitu v New Idrii, Kalifornie (MUMPTON *et al.* 1965). Tvoří se z brucitu obsahujícího Fe v povrchové zvětrávací zóně serpentinitu, nebo se vyskytuje jako tenké žilky v serpentinitu a zvrstvených ultramafických komplexech např. intruze Muskox, Canada (JAMBOR 1969) a dále např. v serpentinitech na ložisku Eibeggraben, Rakousko (BOJAR a POSTL 2005). Typickou minerální asociací coalingitu představuje antigorit, lizardit, artinit, brucit, brugnatellit, dypingit, hydromagnezit, hydrotalkit-pyroaurit, magnetit a chromit (ANTHONY *et al.* 2003).

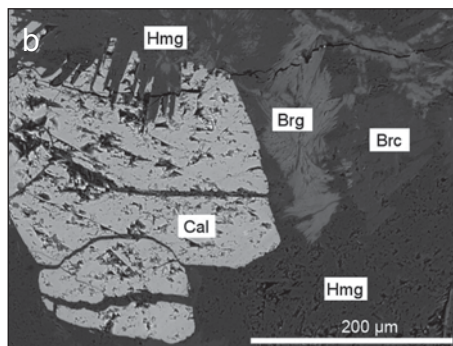
V Hrubšicích jde o ojedinělou fázi pouze mikroskopických rozměrů. Coalingit byl určen v asociaci s hydromagnezitem (typ II) a brugnatelitem, je také doprovázen kalcitem a hydroxidy Fe. Coalingit vytváří agregát hypautomorfně omezených, relativně homogenních zrn, které dosahují velikosti 20–80 µm (obr. 6a).

Bodové analýzy různých zrn coalingitu (tab. 3) ukazují na chemickou homogenitu detekovaného minerálu. Od ostatních studovaných hydrokarbonátů se coalingit liší nejvyššími obsahy  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , které dosahují 16,79–18,06 hm. %. Minoritní koncentrace MnO (0,80–1,01 hm. %) jsou nepatrně nižší než u brugnatellitu.

#### **Brucit**

Brucit byl nalezen ojedinele v podobě mikroskopických zrn na žilách v asociaci s brugnatelitem, hydromagnezitem typu II a kalcitem (obr. 6b).

Bodovými analýzami bylo zjištěno, že kromě vysokého obsahu MgO (64,30–65,57 hm. %), má zvýšený obsah FeO (0,72–1,04 hm. %), méně i MnO (0,11–0,23 hm. %). Další oxidy, CaO,  $\text{SiO}_2$  a SrO byly detekovány jen ve stopovém množství (tab. 3).



Obr. 6b. Asociace hydromagnezitu, brugnatellitu, brucitu a kalcitu, BSE foto, Hrubšice. Foto R. Škoda.

Fig. 6b. Assemblage of hydromagnesite, brugnatellite, brucite and calcite, BSE photo, Hrubšice. Photo R. Škoda.

### ***Kalcit a dolomit***

Rozšířeným pozdním minerálem puklin serpentinitu na studované lokalitě je kalcit. Vyskytuje se v centrálních částech žilek jako nejmladší fáze, v asociaci s hydromagnezitem (typ II), brugnatelitem, coalingitem a brucitem (obr. 6a, b). Další karbonáty tvoří tenké povlaky na serpentinitu. Někdy jde o kalcit, někdy o dolomit s mladším Mg-kalcitem a kalcitem (srov. též NĚMEC 1981).

Bodovými analýzami bylo zjištěno, že kalcit má mírně zvýšené obsahy MgO (0,15–1,26 hm. %), SiO<sub>2</sub> (0,58 hm. %), MnO (max. 0,28 hm. %), FeO (do 0,10 hm. %) a SrO (max. 0,19 hm. %).

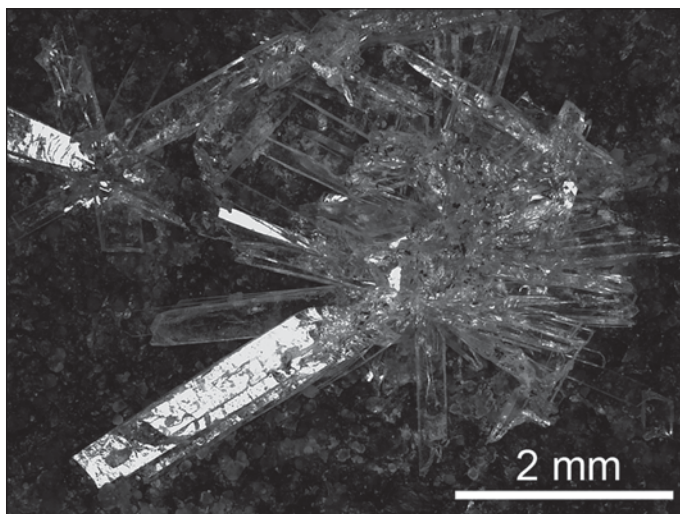
Dolomit z Hrubšic má oproti ideálnímu chemickému složení mírně snížený obsah CaO (27,03–27,30 hm. %) a nepatrně zvýšený obsah MgO (22,34–22,36 hm. %). Obsahuje navíc 2,08 hm. % MnO (2 analýzy). Obsah dalších minoritních oxidů jako FeO, SrO SiO<sub>2</sub> se pohybuje v rozmezí 0,03–0,08 hm. % (tab. 3).

### ***Aragonit***

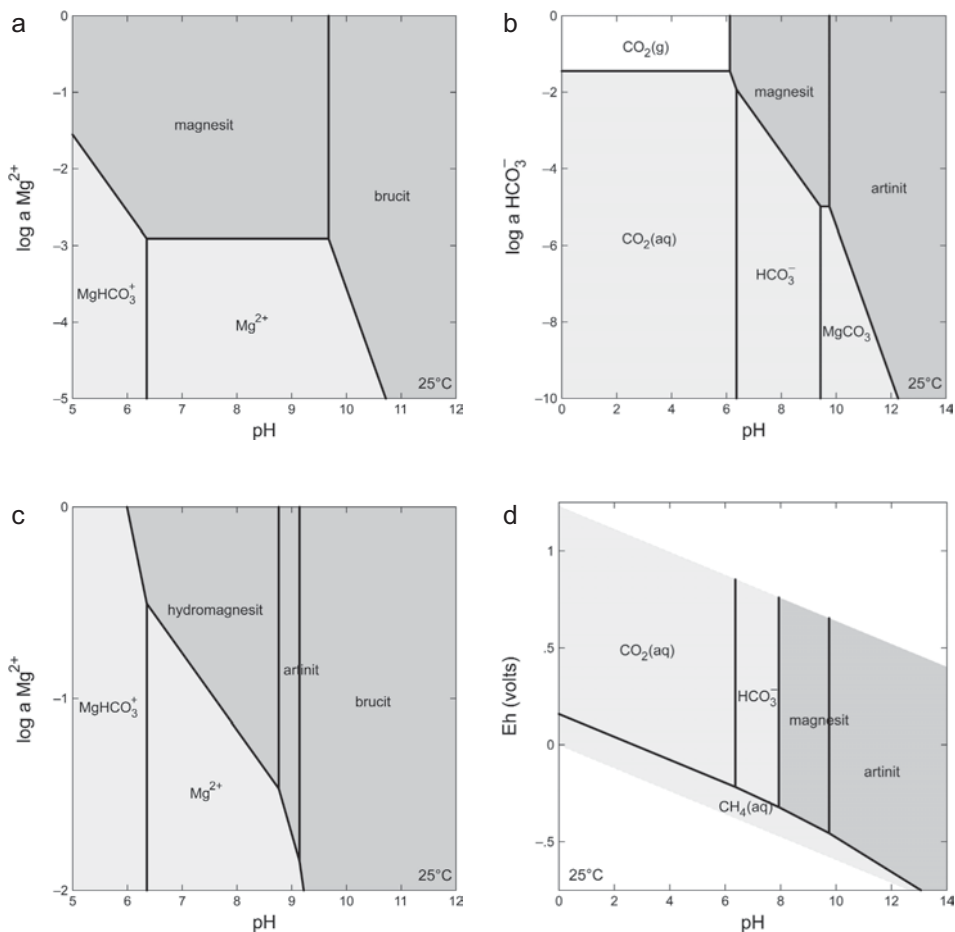
V hrubšickém kamenolomu jde o méně běžný minerál. Vyskytuje v podobě čirých jehličkovitých automorfních krystalů typického habitu, uspořádaných do radiálně paprscitých agregátů (obr. 7); ojediněle se jehlice aragonitu vyskytují jako samostatná individua. Obvyklá délka krystalů dosahuje 3 mm, výjimečně až 6 mm. Může existovat patrně v několika generacích; byl pozorován zarostlý v hydromagnezitu (typ II) a zároveň drůzový aragonit narůstá na starší kalcit a dolomit, které nemají žádný prostorový vztah k výše zmíněné hydrokarbonátové mineralizaci.

Aragonit byl určen RTG-difrakční analýzou (tab. 2), naměřené difrakce velmi dobře odpovídají tabelovaným hodnotám z databáze PDF-2. Výsledné vypřesněné mřížkové parametry jsou:  $a = 7,974 (1) \text{ \AA}$ ,  $b = 5,7467 (9) \text{ \AA}$ ,  $c = 4,9653 (9) \text{ \AA}$ ,  $V = 227,52 (5) \text{ \AA}^3$ .

Chemismus aragonitu z Hrubšic je velmi jednoduchý. Kromě vysokého obsahu CaO odpovídajícího krystalochemickému vzorci, jsou obsahy FeO, MgO a SrO max. do 0,04 hm. % (tab. 3).



Obr. 7. Radiálně paprscité agregáty aragonitu, Hrubšice. Foto M. Ivanov.  
Fig. 7. Radial aggregates of aragonite, Hrubšice. Photo M. Ivanov.



Obr. 8. Stabilitní diagramy studovaných fází. (Obr. 8a: Pole stability hořečnatých minerálů v závislosti na pH a aktivitě  $Mg^{2+}$  v roztoku. Podmínky:  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1,013\text{ bar}$ ,  $a(c_T) = 10^{-5}$  -  $c_T$  označuje součet všech rozpuštěných karbonátových látek. Obr. 8b: Pole stability karbonátových látek v závislosti na pH a aktivitě rozpuštěných karbonátových látek v roztoku. Podmínky:  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1,013\text{ bar}$ ,  $a(Mg^{2+}) = 10^{-2}$ . Obr. 8c: Pole stability hořečnatých minerálů v závislosti na pH a aktivitě  $Mg^{2+}$  v roztoku. Podmínky:  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1,013\text{ bar}$ ,  $a(c_T) = 10^{-5}$  -  $c_T$  označuje součet všech rozpuštěných karbonátových látek. Při konstrukci diagramu bylo potlačeno srážení magnesitu. Obr. 8d: Pole stability uhličitanových látek v závislosti na pH a Eh. Podmínky:  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1,013\text{ bar}$ , fugacita  $CO_2 f_{CO_2} = 10^{-3.5}$  (normální parciální tlak  $CO_2$  v atmosféře) a  $a(Mg^{2+}) = 10^{-2}$ ).

Fig. 8. Stability diagrams of phases under study. (Fig 8a: Stability fields of magnesium minerals in dependence on pH and activity of  $Mg^{2+}$  in solution. Conditions:  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1.013\text{ bar}$ ,  $a(c_T) = 10^{-5}$  -  $c_T$  denotes sum of all dissolved carbonate species. Fig 8b: Stability fields of carbonate species in dependence on pH and activity of dissolved carbonate species in solution. Conditions:  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1.013\text{ bar}$ ,  $a(Mg^{2+}) = 10^{-2}$ . Fig. 8c: Stability fields of magnesium minerals in dependence on pH and activity of dissolved magnesium. Conditions:  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1.013\text{ bar}$ ,  $a(c_T) = 10^{-5}$ ; precipitation of magnesite was suppressed. Fig 8d: Stability fields of carbonate species in dependence on pH and Eh. Conditions:  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1.013\text{ bar}$ , fugacity of  $CO_2 f_{CO_2} = 10^{-3.5}$  (normal partial pressure of  $CO_2$  in atmosphere), and  $a(Mg^{2+}) = 10^{-2}$ ).

## 6. Diskuse podmínek vzniku artinitu a hydromagnezitu

V podmínkách nízkoteplotní karbonátové mineralizace hrubšického hadcového tělesa existuje rozdílná distribuce Mg-karbonátů v různých jeho částech, s magnezitem a dolomitem na severu a Mg-hydrokarbonáty a brucitem na jihu. Souvisí to patrně s rozdílným chemismem fluid alterujících serpentinit. Pokud jsou ve vodném prostředí přítomny rozpustitelné karbonátové látky a volné hořečnaté iony, pak se za normálních podmínek v mírně kyselém až mírně alkalickém prostředí po překročení součinu rozpustnosti sráží magnezit ( $\text{MgCO}_3$ ), v silně alkalickém prostředí pak brucit ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) (obr. 8a).

Podmínky, za kterých může vznikat artinit, se omezují na relativně vysoké koncentrace rozpuštěných hořečnatých ionů v silně alkalických roztocích, které jsou v rovnováze s atmosférickým oxidem uhličitým (obr. 8b, aktivita  $\text{Mg}^{2+} = 10^{-2}$  M) nebo na případy, kdy z nějakého důvodu nedochází ke krystalizaci magnezitu. Místo něj pak za daných podmínek krystalizuje od mírně kyselých do mírně alkalických roztoků hydromagnezit a v alkalitějších roztocích artinit (obr. 8c). V oxidačních až mírně redukčních podmínkách krystalizuje artinit v přítomnosti relativně vysokých koncentrací hořečnatých ionů v roztocích, které jsou v rovnováze s atmosférickým oxidem uhličitým jen v mírně až silně alkalických podmínkách (pH  $\sim$  9 a výše, obr. 8d). V silně redukčních podmínkách dochází k redukci karbonátových látek na metan a tak mizí jedna se složek srážecí rovnováhy.

Výskyt artinitu a hydromagnezitu naznačuje, že jsou minerály tvořeny rozpouštěním brucitu a srážením z roztoku obsahujícího rozpuštěný Mg a karbonátové látky. Z vypočítaných diagramů stability vzniká hydromagnezit při pH  $>$ 6, artinit až při pH  $>$ 8,5, nízké fugacitě  $\text{CO}_2$  a při teplotě nižší než 44 °C (viz obr. 8c – pole stability artinitu se zmenšuje s rostoucí teplotou, na jehož úkor roste pole stability brucitu; při teplotě nad 44 °C pole stability artinitu úplně zaniká). Těchto podmínek je pravděpodobně dosaženo blízko povrchu, ale bez kontaktu s atmosférou. pH roztoku ze kterého se sráží artinit může být až 10,2 jestliže je roztok v rovnováze s rozpuštěným brucitem. Hydromagnezit je stabilní při vyšší fugacitě plynného  $\text{CO}_2$  než je u artinitu a stabilitní pole se rozšiřuje do pole stability atmosférického  $\text{CO}_2$  (viz též KÖNIGSBERGER *et al.* 1999). Podmínky výskytu hydromagnezitu jsou proto vhodné na povrchu v kontaktu s atmosférou a hydromagnezit vzniká kvůli rozpouštění artinitu nebo dalších Mg-minerálů jako je brucit a serpentín v atmosférických podmínkách.

Vysoké hodnoty pH mohou být udržované během rozpouštění brucitu, deformace a rozpouštění serpentinitových minerálů po rozpouštění brucitu. Serpentinův udržující vysoké hodnoty pH v pórové vodě mají vysokou odolnost vůči zvětrávání. Naopak serpentinity bez brucitu a s vyšším zastoupením olivínu a pyroxenů mají nižší odolnost vůči zvětrávání, což vede k vývoji půd a vzniku krystalinních materiálů s nízkým obsahem Fe a Si ze serpentinu, olivínu a pyroxenu, ztrátě Mg a nepřítomnosti karbonátů během zvětrávání za neutrálních podmínek. V důsledku toho jsou zvětrávání serpentinitů a vznik a stabilita hořečnatých hydrokarbonátů určeny hlavně mineralogií hostitelské horniny a stupněm serpentinizace (SATO *et al.* 2001).

## 7. Závěr

Lokalita Hrubšice poskytla v minulých letech možnost studia unikátní minerální asociace Mg-, Mg-Fe-hydrokarbonátů. Je vázána na puklinový systém v serpentinitu v jv. části činného kamenolomu „U Pustého mlýna“. Po artinitu (KOVÁŘ a LOSOS 2005) jsou také brugnatellit a coalingit další nové minerální fáze pro Českou republiku. Nejbližší zahraniční naleziště podobných asociací Mg-karbonátů jsou výskyty serpentinitu v Rakousku (ložisko magnezitu Kraubat, Štýrsko) a v Itálii, Val Brutto a Val Laterna (GAINES *et al.* 1997).

Mineralizace hydrokarbonátů vystupuje v podobě několik mm mocných žilek, nebo drúz krystalů na puklinách serpentinitu. Mocnější žilky poskytly zejména vynikající drúzové ukázky artinitu a zčásti i hydromagnezitu. Zbývající popisované minerály byly na žilkách nalezeny lokálně a pouze v mikroskopických velikostech. Z geochemického hlediska minerály odpovídají systému Mg-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, lokálně s Ca-, Fe- a Mn-, přičemž poslední dva prvky jsou zastoupeny pouze v nejstarším mineralizačním stadiu. V systému zcela chybí Al, což je v určitém kontrastu s výskytem hydrotalkitu v desilikovaných pegmatitech v serpentinitech nedaleko od studované lokality (ČERNÝ 1965).

Ze studia asociace karbonátů vyplynulo, že podle doby vzniku lze vyčlenit tři krystalizační stádia: (1) Nejstarší stádium je tvořeno brugnatellitem, coalingitem a brucitem, jde tedy o minerály s obsahem Fe a někdy i s mírně zvýšeným podílem Mn (menší obsah Fe má i brucit). (2) Mladší stádium je reprezentováno hydromagnezitem. Paralelně se samostatně objevuje na puklinách chemicky čistý artinit. Vzácny je společný výskyt artinitu s hydromagnezitem, kdy mladší hydromagnezit narůstá na artinit. Podobně hydromagnezit obklopuje starší Mg-Fe-hydrokarbonáty (brugnatellit, coalingit). (3) Nejmladší výplň puklin tvoří kalcit. Jako ještě mladší, avšak pouze ve vztahu k hydromagnezitu, lze uvést huntit, který po něm pravděpodobně vytváří pseudomorfozy (JIRÁSEK 2007). Mineralizace popsaných hořečnatých hydrokarbonátů pravděpodobně vznikala z nízkoteplotních roztoků nabožených Mg<sup>2+</sup>, při pH ~ 9, nízké aktivitě CO<sub>2</sub> a za teplot nižších než 44 °C. Přítomnost brugnatellitu a coalingitu, stejně tak jako s nimi asociujícího hydrooxidu Fe, tedy fázi obsahujících Fe<sup>3+</sup>, dokumentuje alespoň lokálně oxidační prostředí při vzniku těchto fází. Zdrojem Mg, případně Fe byly procesy alterace serpentinitu vodnými roztoky lokální cirkulace.

Aragonit má v asociaci karbonátů hrubšického serpentinitu často nejasné paragenetické postavení. Byl pozorován jako starší minerál zarostlý v hydromagnezitu. Častěji tvoří drúzy prizmatických krystalů na jemnozrnném kalcitu a dolomitu povlékajícím serpentinit, které však nemají žádný prostorový vztah k výše zmíněné hydrokarbonátové mineralizaci.

Popisovaná minerální asociace nebyla dosud podrobněji studována na žádné jiné lokalitě ultrabazik v České republice. Z genetického hlediska je pozoruhodná i prostorová distribuce Mg-karbonátů v prostoru celého hrubšického hadcového tělesa. Popsané Mg-, Mg-Fe-hydrokarbonáty a huntit představují typomorfní asociaci otevřených trhlin serpentinitů v jižní části tělesa. Způsob výskytu naznačuje, že jejich geneze může souviset s projevy relativně mladé až subrecentní reaktivace zlomů, doložené u nedalekých Biskoupek (LEICHMANN a HEJL 1996).

#### PODĚKOVÁNÍ

Autoři děkují J. Cempírkovi za kritické pročtení rukopisu a za jazykovou korekci abstraktu, Dr. V. Vávrovi a Mgr. R. Škodovi (PřF MU, Brno) za provedení analytických prací a Dr. M. Ivanovovi (PřF MU, Brno) za některé makrofotografie. Panu J. Smejkalovi z firmy Kamena Brno (provozovna Hrubšice) děkujeme za povolení vstupu do lomu a odběru vzorků, Dr. A. Pfeiferové (MZM Brno) vděčíme za dohledání nejstarších údajů o historii lokality. Studie byla financována grantem GAČR č. 205/07/1159 (Z. L.), zčásti též ze záměru MK 00009486201 (S. H.).

#### LITERATURA

- ALDERMAN, A. R., VON DER BORCH, C. C., 1960: Occurrence of Hydromagnesite in Sediments in South Australia. - *Nature* 188, 931.
- ANTONY, J. W., BIDEAUX, R. A., BLADH, K. W., NICHOLS, M. C., 2003: Handbook of mineralogy. Volume V, Borates, carbonates, sulfates. *Mineral Data Publishing*, 813 s, Tucson, Arizona.

- ARTINI, E., 1909: Brugnatellite: nuova specie minerale trovata in Val Malenco. - *Rendiconti Della Reale Accademia dei Lincei*, Roma, 18, 5: 3-6.
- BARVÍŘ, J. L., 1893: O některých serpentinitech západní Moravy a horninách amfibolických je provázajících. - *Věst. Král. Čes. Společ. Nauk*, 18, 31. Praha.
- BETHKE, C. M., 2005a: The Geochemist's Workbench® Release 6.0. GWB essentials guide. - University of Illinois, 76 p.
- BETHKE, C. M., 2005b: The Geochemist's Workbench® Release 6.0. Reaction modeling guide. - University of Illinois, 74 p.
- BETHKE, C. M., 2005c: The Geochemist's Workbench® Release 6.0. Reference manual. - University of Illinois, 241 p.
- BOJAR, H. P., POSTL, W., 2005: Artinit, Brucit, Brugnatellit, Coalingit, Dypingit, Hydromagnesit, Magnetit, Pyroaurit und ein noch nicht näher identifiziertes Mg-Fe-Karbonat vom Serpentin im Eibegggraben in Breitenau am Hochlantsch, Steiermark. In: Niedermayr, G., et al., 2005: *Neue Mineralfunde aus Österreich* LIV. Carinthia II, 195/115, 308.
- BRAITHWAITE, C. J. R., ZEDEF, V., 1996: Hydromagnesite stromatolites and sediments in an alkaline lake, Salda Golu, Turkey. - *Journal of Sedimentary Research*, 66; 5: 991-1002.
- BURKART, E., 1953: Moravské nerosty a jejich literatura. Mährens Minerale und ihre Literatur. - Nakl. ČSAV. Praha, 1008p.
- ČERNÝ, P., 1965: Několik novinek z mineralogie západomoravských pegmatitů. - *Čas. Mineral. geol.*, 10, 4: 443-445.
- DOUBEK, Z., 1997: Zatopený hadcový lom Borek u Vilémova. - *Minerál*, 5, 2, 81-82.
- ESTNER, F. J. A., 1795: Versuch einer Mineralogie für Aufänger und Liebhaber. - Bd. II, 2. Abt., s. 813 a 245.
- FISCHBECK R., MÜLLER, G., 1971: Monohydrocalcite, hydromagnesite, nesquehonite, dolomite, aragonite, and calcite in speleothems of the Fränkische Schweiz, Western Germany. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 33, 2: 87-92. Springer Berlin.
- FRONDEL, C., 1941: Constitution and polymorphism of the pyroaurite and sjögrenite groups. - *Amer. Mineral.*, 26: 295-315.
- GAINES, R. V., SKINNER, H. C. W., FOORD, E. E., MASON, B., ROSENZWEIG, A., 1997: Dana's New Mineralogy. 8<sup>th</sup> Edition. - John Wiley & Sons, Inc., New York.
- GLOCKER, E. F., 1839: Grundriss der Mineralogie. - *Nürnberg, Schragg*, 2. Auflage, s. 654.
- HRAZDIL, V., 2001: Minerální asociace alpských žil od Templštejna u Jamolic, Západní Morava. - *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 86: 75-84. Brno.
- JAMBOR, J. L., 1969: Coalingite from the Muskox intrusion, Northwest Territories. - *Amer. Mineral.*, 54: 437-447.
- JIRÁSEK, J., 2007: Nový nález huntitu u Hrubšic na západní Moravě a otázka jeho vzniku. - *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 92: 103-109. Brno.
- KETTNER, R., 1919: O genesi magnesitu u Nové Vsi jihozápadně od Oslavan. - *Čas. Morav. muz. zemského*, 17-19: 169-177.
- KÖNIGSBERGER, E., KÖNIGSBERGER, L.-CH., GAMSJÄGER, H., 1999: Low-temperature thermodynamic model for the system Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-MgCO<sub>3</sub>-CaCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63, 19/20: 3105-3119.
- KOVÁŘ, O., LOSOS, Z., 2005: Artinit z hadcového lomu u Biskoupek u Oslavan, západní Morava - nový minerál pro Českou republiku. - *Bull. mineral-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)*, 13: 137-139.
- KRATOCHVÍL, J., 1958: Topografická mineralogie Čech II (H-Ch). - Nakl. ČSAV Praha, 379 p.
- KRUFA, T., 1966: Moravské nerosty a jejich literatura. - Moravské muzeum, Brno, 379 p.
- LARSEN, E. S., GONANSON, E. A., 1932: The deuteric and later alterations of the uncomphagrite of Iron Hill, Colorado. - *Amer. Mineral.*, 17: 343-355.
- LEICHMANN, J., HEJL, E., 1996: Quarternary tectonics at the eastern border of the Bohemian Massif: new outcrop evidence. - *Geol. Mag.*, 133, 1: 103-105.
- LEONHARD, von, K. C., 1821: Handbuch der Oryktognosie. - Heidelberg, Mohr und Winter.
- MEDARIS, G., JELÍNEK, E., 2004: The Mohelno peridotite: a fragment of suboceanic mantle in the Náměšř granulite. In: Janoušek, V., et al. (eds): International workshop on petrogenesis of granulites & related rocks. Excursion Guide & Abstract Volume. - Moravian Museum Brno, 72 p.
- MEDARIS, G., JR., WANG, H., JELÍNEK, E., MIHALJEVIĆ, M., JAKES, P. 2005: Characteristics and origins of diverse Variscan peridotites in the Gföhl Nappe, Bohemian Massif, Czech Republic. - *Lithos*, 82, 1-2: 1-23.
- MEDARIS, G., JR., WANG, H., MIŠAŘ, Z., JELÍNEK, E., 1990: Thermobarometry, diffusion modelling and cooling rates of crustal peridotites: two examples from the Moldanubian zone of the Bohemian Massif - *Lithos*, 25, 1: 189-202.

- MRÁZEK, I., REJL, L., 1976: Vltavínové štěrky v oblasti jihozápadně od Oslavan na Moravě. – *Sbor. Národ. Muzea, Řada B*, 32: 47–55.
- MUMPTON, F. A., JAFFE, H. W., THOMPSON, C. S., 1965: Coalingite, a new mineral from the New Idria serpentinite, Fresno and San Benito Counties, California. – *Amer. Mineral.*, 50: 1893–1913.
- NĚMEC, D., 1981: Huntit ze serpentinitové oblasti u Hrubšic na západní Moravě. – *Čas. Mineral. Geol.*, 26, 1: 75–78. Praha.
- PROCHÁZKA, V. J., 1910: Horniny průmyslové a užitečné Moravy. – *Zpr. českých inž. v Markr. moravském*, 1–68.
- SATO, T., AKITA, N., HAMADATE, A., FUKUSHI, K., 2001: Formation and stability of magnesium hydrocarbonate minerals during serpentinitization and weathering of serpentinites. – V. M. Goldschmidt Conference, 20–24 May 2001, Hot Springs, Virginia. USA.
- URBAN, M., 1988: Chemický a strukturní vývoj granulitu na kontaktu s peridotitem jz. od Biskoupek, Moldanubikum. – *Acta Univer. Carol., Geol.*, 2: 161–179. Praha.
- WONDRASCHEK, A., 1798: Beschreibung und chemische Zergliederung des Meerschaumes von Hrubšitz. – *Abhandl. d. kgl.-böhm. Gesellsch. d. Wiss.*, Prag, 3. Bd., 55–60.

