

OJEDINĚLÁ MINERÁLNÍ ASOCIACE S CHONDRODITEM V MRAMORU NA BÍLÉ HOŘE U ČECHOČOVIC (ZÁPADNÍ MORAVA)

UNIQUE CHONDRODITE-BEARING MINERAL ASSEMBLAGE IN MARBLE AT BÍLÁ HORA HILL
NEAR ČECHOČOVICE (WESTERN MORAVIA)

STANISLAV HOUZAR, PETR GADAS

Abstract

Houzar, S., Gadas, P., 2019: Ojedinelá minerální asociace s chondroditem v mramoru na Bílé hoře u Čechočovic (západní Morava). - Acta Mus. Morav., Sci. Geol., 104, 1, 73-85 (with English summary).

Unique chondrodite-bearing mineral assemblage in marble at Bílá Hill near Čechočovice (western Moravia)

In the large body of pure calcite marble in the biotite paragneiss of Moldanubicum very rare chondrodite was found. It occurs in narrow limited layer of marble low in dolomite and silicate grains (<1 vol%) in assemblage with rare phlogopite, tremolite and chlorite, including accessory fluorapatite, ilmenite, zircon, uraninite, sporadic Ti-U-Nb oxide, galena, sphalerite and Ni-löllingite. Chondrodite is relatively rich in both iron (3.97-5.57 % wt. % FeO; 0.191-0.271 *apfu* Fe) and fluorine (5.98-7.03 % wt. % F; 1.100-1.284 *apfu* F), which differs from common chondrodites of Moldanubian Zone. The content of Ti fluctuates in the range 0.13-1.93% TiO₂ (0.006-0.084 *apfu* Ti) and Mn 0.12-0.24% MnO (0.006-0.012 *apfu* Mn), Zn is ≤ 0.11% ZnO (≤0.005 *apfu* Zn). The ratio of M_{Ti}/Si varies between 2.45-2.47 (Table 1) corresponds to that in chondrodite. Flogopite has a slightly increased content Ba (0.23-0.42 wt. % BaO, 0.006-0.012 *apfu* Ba), tremolite is poor in Al and Fe. Zircon contains up to 1.42 wt. % HfO₂ (≤0.013 *apfu* Hf) and uraninite is relatively rich Th (24.75-34.02 wt.% ThO₂, 0.225-0.423 *apfu* Th). The mineral assemblage of chondrodite was originated by influx of F-, Fe-, U-, Zr- and Mg-bearing fluids that infiltrated from an external source.

Key words: chondrodite, zircon, uraninite, calcic marble, Moldanubian Zone, Bohemian Massif

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

Petr Gadas, Department of Geological Sciences, Faculty of Science, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic, e-mail: gadas@sci.muni.cz

ÚVOD

K petrologicky významným silikátům metamorfovaných karbonátových hornin, skarnů a částečně i ultrabazik a vulkanických hornin náležejí minerály humitové skupiny s obecným vzorcem M_{2n}Si_nO_{4n} • M(OH, F)₂, kdy n = 1, 2, 3, 4. V pozici M obvykle dominuje Mg²⁺ zastupované často Fe²⁺, vzácněji Mn²⁺ a Ca²⁺, případně Ti⁴⁺, Zn²⁺ a Al³⁺ (SAHAMA 1953, RIBBE 1982, LANGER *et al.* 2002). V rámci jejich nomenklatury, která však není dosud sjednocena IMA, se rozlišuje několik podskupin (sérií), každá s minerály s ortorombickou a monoklinickou symetrií:

Nejhojnější je *humitová* podskupina (viz níže) a naopak vzácné jsou podskupiny s dominantním Mn, běžnější *manganhumitová* a vzácnější *leucophoenicitová* se složitější strukturou a obě omezené na metamorfované manganolity a Mn-skarny (DUNN 1985, YU-CHYI

YAU a PEACOR 1986, GRICE a DUNN 1994, BRUSNICYN a CHUKANOV 2002; aj.). Geneticky výjimečná je *chegemitová* podskupina o složení $\text{Ca}_{2n}\text{Si}_n\text{O}_{4n} \cdot \text{Ca}(\text{OH}, \text{F})_2$ s $n=2,3,4$ a s typickým výskytem ve vysokoteplotních nízkotlakých skarnizovaných mramorech, uzavřených ve vulkanitech (např. EIFEL, Německo; HAMM 1985, BLAB a KRUIJEN 2015), v ignimbritech (např. severní Kavkaz, Rusko; GALUSKIN *et al.* 2009, GALUSKINA *et al.* 2009) a jako vzácné produkty pyrometamorfózy na hořících odvalech (SHARYGIN 2010).

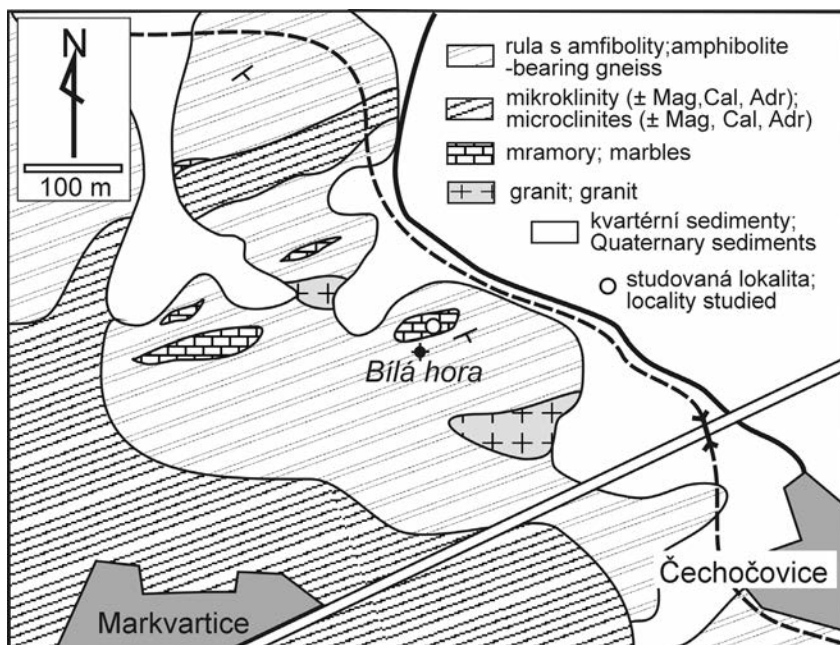
Minerály humitové podskupiny $n\text{Mg}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{Mg}_{1-x}\text{Ti}_x(\text{OH}, \text{F})_{2-2x}\text{O}_{-2x}$ představují typické vedlejší minerály regionální i kontaktní metamorfózy. Známý jsou hlavně z dolomitických mramorů, Mg-skarnů a ultrabazických hornin (klinohumit, vzácněji chondroitit a jejich Ti-obtahuující odrůdy). V postmagmatických Mg-skarnech se nacházejí fluorem bohaté členy norbergit a chondroitit. Ortorombický humit má velmi úzké pole stability a z minerálů humitové skupiny je nejvzácnější (GRAMENICKIJ 1970). V případě této podskupiny, jako jedině známé v mramorech Českého masivu, v pozici M^{2+} dominuje Mg a $n = 1$ (norbergit), $n = 2$ (chondroitit), $n = 3$ (humit) a $n = 4$ (klinohumit). Chemické složení závisí na třech hlavních substitucích: heterovalentní $(\text{Mg}, \text{Fe}) + 2(\text{OH}, \text{F}) = \text{Ti} + 2(\text{O})$ a monovalentních MgFe_{-1} a FOH_{-1} , do těchto minerálů může vstupovat malé množství Mn a Be (JONES *et al.* 1969, DYMEK *et al.* 1988). V běžných podmínkách zemské kůry obsahují minerály humitové podskupiny vždy podíl fluoru a to i členy s dominujícím (OH), jako je hydroxyl-klinohumit a hydroxyl-chondroitit. Téměř bezfluorové členy jsou omezeny převážně na vysokotlaké podmínky svrchního pláště, kde nacházíme zejména varietu *titan-klinohumit* (např. ROSS a CRICHTON 2001, LÓPEZ SÁNCHEZ-VIZCAÍNO *et al.* 2005, Ye *et al.* 2013). K identifikaci minerálů humitové podskupiny se vedle chemického složení využívají rentgenometrická data a Ramanova spektroskopie. V některých případech je jednoznačné určení značně komplikované vlivem jejich polysomatické struktury (SAHAMA 1953, RIBBE 1982, FROST *et al.* 2007). K určení minerálu humitové skupiny lze aplikovat i poměr M_{Ti}/Si , kde $M_{\text{Ti}} = \text{Mg} + \text{Fe} + \text{Mn} + \text{Ti} + \text{Ca}$ (GASPER 1992).

Chondroitit náleží v moldanubiku Českého masivu k relativně vzácným minerálům. Vyskytuje se převážně v dolomiticko-kalcitických mramorech chudých Si, uložených v migmatitech, diatexitech (např. Sokolí u Třebíče, Nihošovice u Volyně, Pisecko), kde vzniká za vyšší aktivity fluoru v asociaci s flogopitem a pargasitem, vzácněji se spinelem, clintonitem a diopsidem (NĚMEC 1972, HOUZAR a NOVÁK 2006, HOUZAR a ČÍCHA 2016).

Ojedinelý výskyt chondroitu v poněkud odlišné paragenezi byl zaznamenán v mramorech v opuštěném lomu na Bílé hoře u Čechočovic (10 km z. od Třebíče). Vzhledem k minerální asociaci, odlišné od známých výskytů chondroitu v moldanubiku Českého masivu, podáváme o tomto výskytu stručnou zprávu.

GEOLOGICKÁ SITUACE A CHARAKTERISTIKA MRAMORŮ

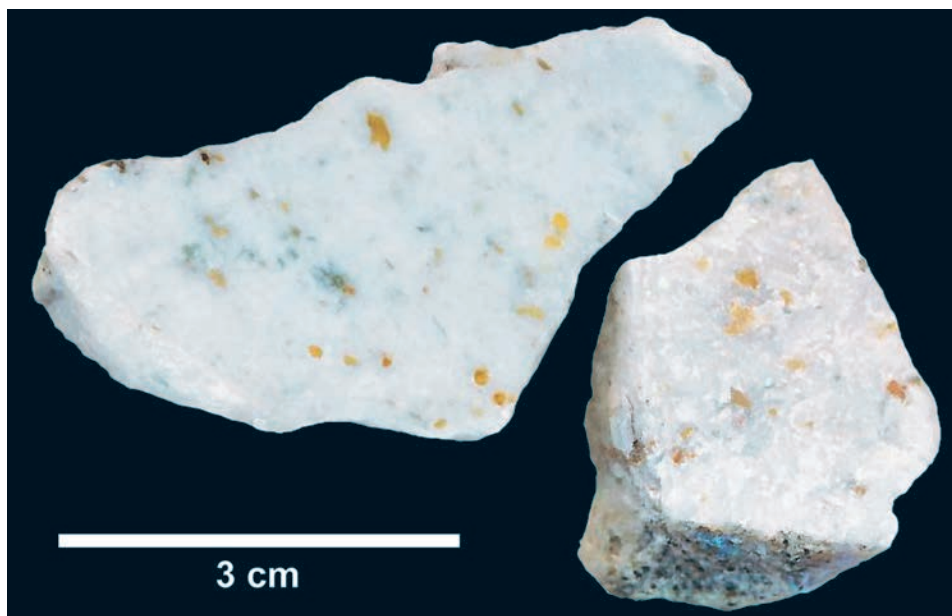
Mramory v okolí Čechočovic jsou lokálně hojnou součástí pestré jednotky moldanubika, jejíž geotektonickou pozici nověji zhodnotili FINGER *et al.* (2007), CHÁB *et al.* (2008) a LARDEUX *et al.* (2014). V zájmové oblasti, ležící západně od třebíčského plutonu, je tvořena převážně sillimanit-biotitickými pararulami a migmatity, které kromě mramorů obsahují vložky grafitických kvarcitů a vzácně amfibolity. Pro okolí Čechočovic jsou zvláště typická tělesa mikroklinitů až kalcitických mikroklinitů (obr. 1). Jde o horniny nejasné geneze, tvořené na jedné straně mikroklinem s pásy magnetitu+křemene a ojedinelým biotitem, na straně druhé mikroklinem (> 90 mod. %) s podřízeným obsahem kalcitu a grossular-andraditu (\pm diopsid, amfibol, epidot). V nepatrném měřítku zde vystupují menší tělesa turmalinických a biotitických granitů, žíly pegmatitů a lamprofyřů (HOUZAR a ŠREIN 1990, NĚMEC 1993).



Obr. 1. Geologická situace mramoru s akcesorickým chondroditem na Bílé hoře u Čechočovic (západní Morava).
 Fig. 1. Geological situation of marble with accessoritic chondrodite in Bílá hora Hill near Čechočovice (Western Moravia).

Mramory v širším okolí Bílé hory u Čechočovic jsou odkryty několika menšími, dlouho opuštěnými a zarůstajícími kamenolomy se zbytky malých vápenek; těžba a pálení vápna skončily v roce 1926. Vyskytují se převážně dolomit-kalcitické až dolomitické mramory bohaté serpentinizovaným forsteritem a flogopitem, se spinelem, chloritem a pargasitickým amfibolem. Na úzké žilky bezslidných pegmatitů je vázán diopsid, aktinolit, skapolit, narůžovělý klinozoisit, akcesorický titanit a scheelit (HOUZAR 1984).

Nejmocnější vložka mramoru je odkryta v kamenolomu na severovýchodním okraji Bílé hory. Mramor, makroskopicky poněkud podobný známým bílým nedvědicím mramorům, tam tvoří čočkovité těleso odkryté v mocnosti okolo 20 m, protažené ve směru SV-JZ, s úklonem 30° k JV (obr. 1). Je bílý, kalcitický (< 2,5 hm. % MgO), převážně velmi chudý silikáty (flogopit, tremolit). Pouze při nadloží podél kontaktu s biotitickou pararulou obsahuje mramor místy dolomit, flogopit, tremolit, diopsid, forsterit a akcesorický zelený spinel. Specifikem tohoto mramoru jsou vtroušená zrna a velmi vzácně až 5 cm mocné čočkovité žíly masivního čistého magnetitu ($\leq 0,024$ Mg, $\leq 0,003$ Al a Zn; vše v *apfu*) s diopsidem (≤ 18 % Hd), aktinitem ($\approx 7,88$ *apfu* Si; $X_{Fe} = 17$), vzácně s epidotem, akcesorickým fluorapatitem a ojedinělým barytem. S magnetitem a hlavně samostatně se vyskytuje drobně vtroušené Cu- zrudnění, reprezentované hlavně žilkami chalkozinu a bornitu (\pm chalkopyrit, ojedinělé inkluze clausthalitu); poměr Cu/S mikroskopických zrn výjimečně svědčí i pro přítomnost djurleitu, digenitu, anilitu a roxbyitu (BUREŠOVÁ 2014). Tyto mineralizace jsou soustředěny v nadložní části mramorového tělesa a jsou dosud částečně patrné při bázi jihovýchodní stěny lomu; z těchto míst pocházejí i ojedinělé vzorky mramoru s chondroditem (obr. 2). Mramor je výrazně rozpukán takřka pravidelným systémem příkrých puklin směru SSV-JJZ a V-Z (méně se uplatnily směry SZ-JV a SV-JZ). Ve střední části je prostoupen několika žilami silně skapolitizovaných bezslidných K-živcových pegmatitů převládajícího směru V-Z, s různě velkým úklonem k J (HOUZAR 1984, NOVÁK 2005).



Obr. 2. Kalcitický mramor se žlutými zrny chondroditu a nazelenalým tremolitem, Čechočovice – Bílá Hora (foto S. Houzar).

Fig. 2. Calcitic marble with yellow grains of chondrodite and greenish tremolite, Čechočovice – Bílá hora Hill (photo by S. Houzar).

METODIKA

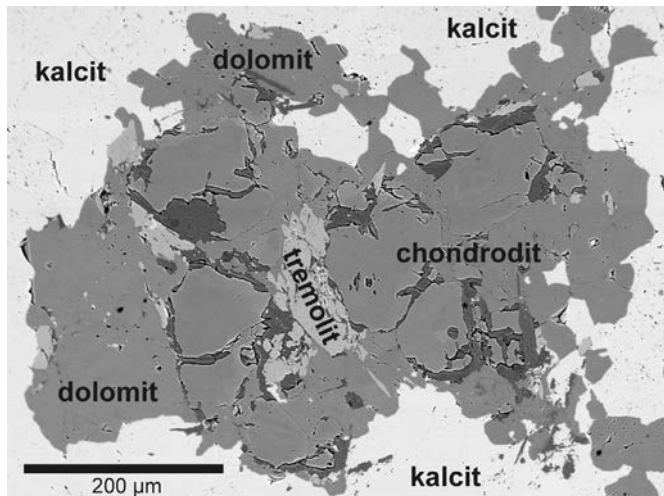
Studium chemismu minerálů bylo realizováno na společném pracovišti elektronové mikroskopie a mikroanalýzy ÚGV PŘF MU a ČGS (analytik R. Škoda, P. Gadas) za použití přístroje Cameca SX 100. Měření probíhalo za použití vlnové disperzního módu, urychlovacího napětí 15 keV, proudu svazku 10 a 20 nA a šířky svazku 2 a 7 μm . Při analýze jednotlivých oxidů a silikátů bylo využito těchto standardů a analytických čar: almandin (Fe K α); sanidin (Al K α , K K α); albit (Na K α); baryt (Ba K α); pyrop (Mg K α); wollastonit (Si, Ca K α); Sn (Sn L α), columbit Ivigtut (Nb K α), spessartin (Mn K α , Si K α); titanit, anatas (Ti K α , Si K α); CrTa₂O₆ (Ta K α), topaz (F K α); lammerit (As L α); vanadinit (Cl K α , V K α); chromit (Cr K α); gahnit (Zn K α); U (U K α), ScVO₄ (Sc K α); brabantit (Th K α), Ni₂SiO₄ (Ni K α); fluorapatit (P K α); SrSO₄ (Sr K α , S K α); zirkon (Zr K α); syntetické fosfáty příslušných REE prvků (Ce, La, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Yb). Obsahy měřených prvků, které nejsou uvedeny v tabulkách, byly pod mezí detekce přístroje (cca 0,02–0,05 hm. %). Surová data byla korigována pomocí X-phi korekce (MERLET 1994). Hodnota *apfu* udává počet atomů na vzorcovou jednotku.

MINERÁLNÍ ASOCIACE MRAMORU S CHONDRODITEM

Mramor s chondroditem byl zjištěn pouze v několika vzorcích (velikosti řádově v cm) bílého, mírně usměrněného kalcitického mramoru a netvořil pravděpodobně zřetelně omezenou samostatnou polohu. Je tvořen převážně **kalcitem** s drobnými odmišeninami **dolomitu**, ojediněle samostatná větší izometrická zrna dolomitu jsou primární nebo produkty koalescence drobnějších odmišenin dolomitu (obr. 3). Zrna **chondroditu** jsou světle žluté barvy a dosahují maximální velikosti 2–3 mm. V minerální asociaci s chondroditem byl dále zjištěn **flogopit** a **tremolit**,

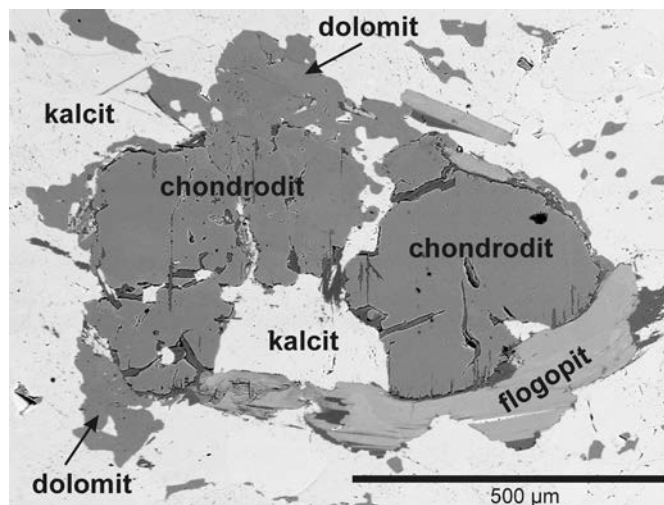
vzácněji **chlorit** (klinochlor), akcesorický **fluorapatit**, **ilmenit**, **zirkon**, **uraninit**, **galenit**, **sferalit** a **Ni-Höllingit**, vzácně a ojedinelé blíže neurčená zrna *Ti-U-Nb-Ta oxidu* velikosti < 2–3 μm .

Chondroit vykazuje slabý pleochroismus v odstínech žluté a jeho xenomorfní zrna nejvíe žádnou zonálnost a jen ojedinelé srůstá s tremolitem, flogopitem a vzácněji s klinochlorem. Je po trhlinách slabě zatlačovaný **serpentinem** (obr. 3, 4).



Obr. 3. Chondroit v asociaci s tremolitem, dolomitem a retrográdním serpentinem (černý) v kalcitickém mramoru. Čechočovice - Bílá hora (odražené elektrony, foto P. Gadas).

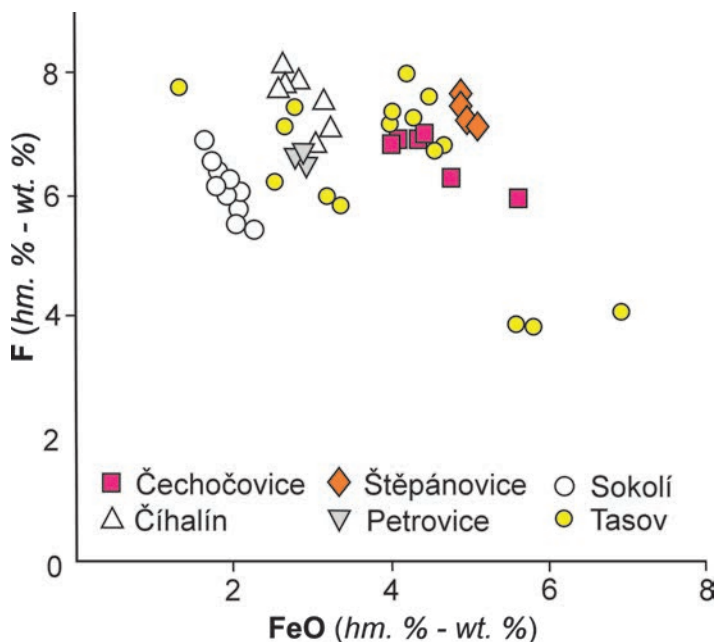
Fig. 3. Chondroite in assemblage tremolite+dolomite and retrograde serpentine (black) in calcite marble. Čechočovice - Bílá hora Hill (BSE, photo P. Gadas).



Obr. 4. Chondroit v asociaci s flogopitem, dolomitem a retrográdním serpentinem (černý) v kalcitickém mramoru. Čechočovice - Bílá hora (odražené elektrony, foto P. Gadas).

Fig. 4. Chondroite in assemblage phlogopite+dolomite and retrograde serpentine (black) in calcite marble. Čechočovice - Bílá hora Hill (BSE, photo P. Gadas).

Má jednoduché chemické složení, kromě dominujícího Mg^{2+} je relativně bohatý železem a zároveň fluorem (tab. 1). Poměr M_{Ti}/Si 2,45–2,47 (tab. 1; obr. 5) odpovídá chondroditu (teoreticky 2,50). Obsah železa 3,97–4,73 hm. % FeO (0,191–0,229 *apfu* Fe), ojediněle $\leq 5,57$ hm. % ($\leq 0,271$ *apfu* Fe), je podobný chondroditům z mramorů nepříliš vzdálených od třebíčského plutonu (Štěpánovice, částečně Tasov). Obsah Ti kolísá v širokém rozmezí 0,13–1,93 hm. % TiO_2 (0,006–0,084 *apfu* Ti), Mn 0,12–0,24 hm. % MnO (0,006–0,012 *apfu* Mn), přičemž převládají spíše nižší hodnoty. Nízký, ale konzistentní je obsah Zn ($\leq 0,11$ hm. % ZnO; $\leq 0,005$ *apfu* Zn). Obsah fluoru 5,98–7,03 hm. % F (1,100–1,284 *apfu* F) je vzhledem ke známému antagonismu Fe-F v minerálech humitové skupiny (RIBBE 1982) zvýšený. Odpovídá ve všech případech chondroditu (tab. 1), zatímco u ostatních moldanubických chondroditů je někdy $< 5,56$ hm. % F, tj. $(F<OH)_2$ a jde tedy často o fluorem bohatší hydroxyl-chondroditu.



Obr. 5. Poměr obsahů železa (FeO) a fluoru v chondroditech z různých západomoravských lokalit (moldanubikum).

Fig. 5. Ratio of iron (FeO) and fluorine in chondrodite from various localities of Western Moravia (Moldanubian Zone).

Tab. 1. Reprezentativní složení chondroditu a fluorapatitu,
Čechočovice - Bílá hora.

Tab. 1. Representative composition of chondrodite and fluorapatite,
Čechočovice - Bílá hora Hill).

	chondroit chondrodite				fluorapatit** fluorapatite
	SiO ₂	34,95	34,68	34,54	34,78
P ₂ O ₅	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	42,06
TiO ₂	0,37	0,35	1,65	0,37	b.d.
FeO	4,09	4,30	4,73	4,38	0,02
MnO	0,12	0,17	0,13	0,21	0,02
MgO	54,78	54,65	53,31	54,91	b.d.
ZnO	0,09	0,06	0,11	0,09	b.d.
CaO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	55,50
H ₂ O *	1,88	1,85	2,19	1,86	
F	6,97	6,99	6,29	7,03	3,76
O=F	-2,93	-2,94	-2,65	-2,96	-1,57
Suma	100,32	100,11	100,3	100,67	99,88
Si ⁴⁺	2,020	2,012	2,003	2,008	0,007
P ⁵⁺					2,994
Ti ⁴⁺	0,016	0,015	0,072	0,016	-
Fe ²⁺	0,198	0,209	0,229	0,211	0,001
Mn ²⁺	0,006	0,008	0,006	0,010	0,001
Mg ²⁺	4,720	4,726	4,609	4,726	-
Ca ²⁺					5,000
Zn ²⁺	0,004	0,003	0,005	0,004	-
H ⁺	0,726	0,718	0,846	0,716	-
F ⁻	1,274	1,282	1,154	1,284	1,000
O ²⁻	8,726	8,718	8,846	8,716	12
CatSum	6,964	6,973	6,925	6,976	8,003
AnSum	10	10	10	10	13
MTi/Si	2,45	2,47	2,46	2,47	

* vypočteno ze stechiometrie; determined by stoichiometry

** též 0,003 As and 0,005 REE_{tot} (all in apfu)

Flogopit je vedle chondroditu relativně hojným silikátem, tvořícím bezbarvé lupínky velikosti až několik mm. Je poměrně chudý železem (1,58–2,23 hm. % FeO; 0,093–0,130 *apfu* Fe) a titanem (0–0,97 hm. % TiO₂; 0–0,052 *apfu* Ti). Vedle nízkého obsahu Na (0,25–0,52 hm. % Na₂O; 0,034–0,070 *apfu* Na) stojí za zmínku zvýšený obsah Ba (0,23–0,51 hm. % BaO; 0,006–0,014 *apfu* Ba), který je ve flogopitech mramorů na západ od trebičského plutonu neobvyklý (tab. 2). Obsah fluoru je relativně zvýšený (1,79–2,37 hm. % F; 0,395–0,526 *apfu* F), nejvyšší v případech srůstů flogopitu s chondroditem a fluorapatitem.

Tab. 2. Reprezentativní složení flogopitu, tremolitu a chloritu z asociace s chondroditem, Čechočovice - Bílá hora.

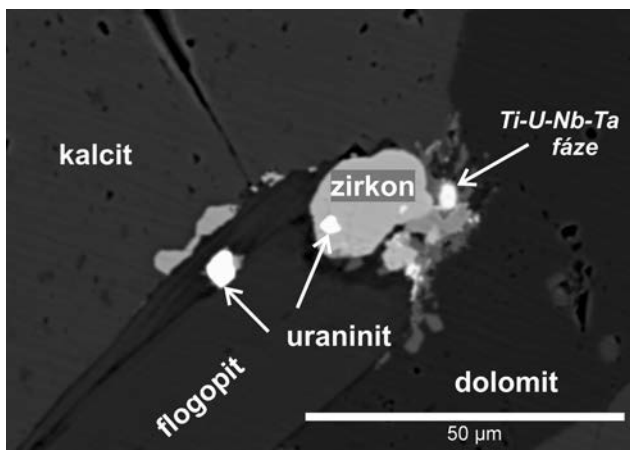
Tab. 2. Representative composition of phlogopite, tremolite, chlorite from chondrodite mineral assemblage, Čechočovice - Bílá hora Hill.

	flogopit phlogopite			tremolít tremolite	chlorit chlorite
	SiO ₂	40,19	41,09	39,40	55,43
TiO ₂	0,86	b.d.	0,97	0,24	0
Al ₂ O ₃	16,45	16,13	16,61	4,31	19,94
Cr ₂ O ₃	0,02	0,02	b.d.	b.d.	
V ₂ O ₅	0,01	0,06	b.d.	0,03	
FeO	1,89	1,70	1,58	0,26	2,56
MnO	0,04	0,03	b.d.	b.d.	
MgO	25,15	25,34	25,23	23,49	33,28
ZnO	0,02	0,03	0,11	0,01	
BaO	0,32	0,23	0,42	b.d.	
CaO	0,12	0,04	0,14	13,78	
Na ₂ O	0,25	0,42	0,30	1,20	
K ₂ O	10,05	9,76	9,77	0,22	
H ₂ O*	3,29	3,15	3,31	2,01	12,59
F	2,08	2,37	1,95	0,53	0,77
O=F	-0,88	-1,00	-0,82	-0,22	-0,32
Suma	99,86	99,37	98,97	101,28	100,93
Si ⁴⁺	2,819	2,883	2,788	7,337	2,973
Ti ⁴⁺	0,045	-	0,052	0,024	0
Al ³⁺	1,360	1,334	1,385	0,672	2,176
Cr ³⁺	0,001	0,001	-	-	
V ³⁺	0,001	0,003	-	0,003	
Fe ²⁺	0,111	0,100	0,093	0,029	0,198
Mn ²⁺	0,002	0,002	-	b.d.	
Mg ²⁺	2,630	2,650	2,661	4,635	
Zn ²⁺	0,001	0,002	0,006	0,001	
Ba ²⁺	0,009	0,006	0,012	-	
Ca ²⁺	0,009	0,003	0,011	1,954	
Na ⁺	0,034	0,057	0,041	0,308	
K ⁺	0,899	0,873	0,882	0,037	
H ⁺	1,539	1,474	1,564	1,771	7,775
F ⁻	0,461	0,526	0,436	0,222	0,225
O ²⁻	11,539	11,474	11,564	23,297	17,775
CatSum	7,921	7,914	7,930	13,00	9,94
AnSum	12	12	12	24	18

* vypočteno ze stechiometrie; determined by stoichiometry

Slabě nazelenalý amfibol (**tremolít**) tvoří drobné jehlice velikosti do 3 mm a má místy zvýšený obsah Al ($\leq 4,31$ hm. % Al₂O₃; $\leq 0,672$ apfu Al) a Na ($\leq 1,20$ hm. % Na₂O; $\leq 0,308$ apfu Na) a naopak velmi nízký obsah Fe ($\leq 0,26$ hm. % FeO; $\leq 0,029$ apfu Fe) a zejména F ($\leq 0,53$ hm. % F; ≤ 0).

Z akcesorických minerálů je nejhojnější zmíněný **fluorapatit** v izometrických zrnech velikosti < 1 mm. Jeho složení odpovídá teoretickému krajnímu členu s nepatrným obsahem Si ($\leq 0,007$ apfu Si; $\leq 0,003$ As a $\leq 0,005$ apfu LREE_{tot}).



Obr. 6. Akcesorické minerály Zr-Si-Th-U-Pb (Ti-Nb-Ta) v dolomit-kalcitickém mramoru s chondroditem, Čechočovice - Bílá hora (foto P. Gadas).
 Fig. 6. Accessory Zr-Si-Th-U-Pb (Ti-Nb-Ta) minerals in chondrodite-bearing dolomite-calcite marble, Čechočovice - Bílá hora Hill (photo P. Gadas).

Hojnějším akcesorickým minerálem vedle fluorapatitu je **ilmenit**. Navzdory prostředí bohatému hořčíkem jde o poměrně čistý ilmenit, v porovnání s okolními mramory s relativně nízkým obsahem Mg ($\leq 2,03$ hm. % MgO; $\leq 0,075$ apfu Mg) a s mírně zvýšeným obsahem pyrofanitové složky (1,57–1,69 hm. % MnO; 0,033–0,036 apfu Mn), s podílem V a Nb na hranici mezi detekce.

O něco méně hojný je také **zirkon**, často ve srůstech s uraninitem (obr. 6). Tvoří anhedrální zrna velikosti $< 0,5$ mm a nejeví znaky silnější metamiktní přeměny. Kromě zirkonia obsahuje jen menší podíl Hf ($\leq 1,42$ hm. % HfO₂; $\leq 0,013$ apfu Hf), další stopové prvky (U, Ti, Fe, Y a Yb) jsou na hranici detekčních limitů. **Uraninit** v ojedinělých zrnech velikosti < 10 μ m je poměrně bohatý Th (24,75–34,02 hm. % ThO₂; 0,255–0,423 apfu Th); za zmínku stojí dále obsahy Pb ($\leq 3,42$ hm. % PbO; $\leq 0,042$ apfu Pb). Nízká suma analýz odpovídá patrně jeho alteraci a vzhledem k velikosti zrn analýzy patrně zastihly i okolní kalcit (tab. 3). S uraninitem se někdy vyskytla i nepatrná zrna **Ti-U-Nb oxidu**, kromě titanu, uranu a niobu obsahujícím někdy tantal. Patrně jde o některý z minerálů pyrochlorové skupiny, v mramorech moravské části moldanubika dosud neznámých.

Opakní minerály (kromě ilmenitu) se na této lokalitě vyskytují v asociaci s chondroditem pouze sporadicky a v jednotlivých zrnech nepatrné velikosti, které nebylo možno spolehlivě analyzovat pomocí WDS. Na základě EDS tak bylo možno identifikovat pouze **sfalerit**, **galenit** a Fe-As minerál se zvýšeným obsahem Ni (**Ni-löllingit**), které jsou známy i z jiných mramorů v okolí. Za zmínku stojí nepřítomnost magnetitu a Cu (\pm Fe)-sulfidů, na jiných místech na lokalitě typických akcesorických minerálů mramoru.

Tab. 3. Složení akcesorických minerálů z asociace s chondroditem, Čechočovice – Bílá hora.

Tab. 3. Composition of accessoritic minerals from chondrodite mineral assemblage, Čechočovice – Bílá hora Hill.

	zirkon	zirkon
	zircon	zircon
SiO ₂	32,02	32,43
ZrO ₂	64,85	65,25
HfO ₂	1,42	1,08
UO ₂	0,17	b.d.
TiO ₂	0,08	b.d.
Y ₂ O ₃	b.d.	0,16
Yb ₂ O ₃	b.d.	0,06
FeO	0,35	b.d.
CaO*	0,29	0,30
Suma	99,18	99,28
Si ⁴⁺	0,994	1,001
Zr ⁴⁺	0,981	0,982
Hf ⁴⁺	0,013	0,010
U ⁴⁺	0,001	-
Ti ⁴⁺	0,002	-
Y ³⁺	-	0,003
Yb ³⁺	-	0,001
Fe ²⁺	0,009	-
Ca ²⁺	0,010	0,010
CatSum	2,009	2,006
AnSum	4	4

* kontaminace okolním kalcitem

	ilmenit	ilmenit	uraninit	uraninit
	ilmenite	ilmenite	uraninite	uraninite
SiO ₂	b.d.	b.d.	0,36	0,47
ThO ₂	b.d.	b.d.	34,02	24,75
UO ₂	b.d.	b.d.	44,20	63,66
TiO ₂	53,33	52,32	b.d.	b.d.
Al ₂ O ₃	b.d.	b.d.	0,02	0,60
Ce ₂ O ₃	b.d.	b.d.	0,06	0,12
V ₂ O ₃	0,04	0,03	b.d.	b.d.
Nb ₂ O ₅	0,08	0,12	b.d.	b.d.
FeO	43,58	45,92	0,02	1,96
MnO	1,57	1,69	b.d.	b.d.
MgO	2,03	0,51	b.d.	b.d.
PbO	b.d.	b.d.	2,48	3,42
Suma	100,67	100,61	81,20	94,98
Si ⁴⁺	-	-	0,020	0,021
Th ⁴⁺	-	-	0,423	0,255
U ⁴⁺	-	-	0,537	0,641
Ti ⁴⁺	0,993	0,988		
Al ³⁺	-	-	0,001	0,032
Ce ³⁺	-	-	0,001	0,002
V ³⁺	0,001	0,001	-	-
Nb ⁵⁺	0,001	0,001	-	-
Fe ²⁺	0,902	0,964	0,001	0,074
Mn ²⁺	0,033	0,036	-	-
Mg ²⁺	0,075	0,019	-	-
Pb ²⁺	-	-	0,036	0,042
CatSum	2,005	2,009	1,019	1,066
AnSum	3	3	2	2

DISKUSE A ZÁVĚR

Mramory obsahující chondroit, příp. jiné minerály humitové skupiny (hlavně fluorem bohatý hydroxyl-klinohumit a klinohumit), představují v Českém masivu poměrně vzácné a objemově nevýznamné horniny, které byly dosud spolehlivě identifikované pouze v moldanubiku. Převládají středně zrnité chondroitové mramory s podstatným podílem dolomitu, šedě zbarvené akcesorickým grafitem (NĚMEC 1972, HOUZAR a NOVÁK 2006, HOUZAR a CÍCHA 2016).

Na Bílé hoře u Čechočovic se vyskytuje minerální asociace chondroditu, která nebyla dosud z moldanubika popsána. Sporadický chondroit tam byl zjištěn jako drobná zrna, resp. shluky zrn, v tělese bílého kalcitického mramoru o mocnosti řádově desítek metrů, převážně značně chudého silikáty, uloženého v biotitických pararulách (obr. 1). Je omezen na více méně ohraničené partie kalcitických mramorů maximálně centimetrové mocnosti, s menším podílem dolomitu. Tyto partie mají někdy charakter usměrněných tenkých poloh nebo žil (?) souhlasných s foliací.

Zdejší chondroit je bohatý železem (≥ 4 hm. % FeO) a zároveň fluorem (≥ 6 hm. % F), což je vzhledem ke známému antagonismu Fe-F v minerálech humitové skupiny méně

obvyklé a takové chondrodity jsou bližší spíše chondroitům Mg-skarnů (RIBBE 1982). Za zmínku stojí i minerální asociace s flogopitem, tremolitem, vzácnějším chloritem, akcesorickým zirkonem, uranitem a ojedinělým Ti-U-Nb-Ta oxidem, odlišná od mramorů okolního moldanubika. Zirkon obsahuje pouze malý podíl Hf. Zirkony podobného složení jsou ve studované oblasti v kalcit-dolomitických mramorech relativně běžnou akcesorií; avšak v kontaktní zóně třebečského plutonu jsou nezdědky doprovázené baddeleyitem a gekielitem (HOUZAR *et al.* 2010). Ojedinělý mikroskopický uraninit je z některých mramorů téže oblasti sice znám (Čichov, Krahušov), ale ve studovaném mramoru je Th-bohatý uraninit zřetelně hojnější. Vzhledem ke složení okolních poměrně čistých kalcitických mramorů je pro vznik zdejšího chondroditu nutno předpokládat přínos Si, F a H₂O (pravděpodobně též Mg) infiltrujícími fluidy z vnějšího zdroje, na což by mohl ukazovat i zvýšený podíl Fe a obsah akcesorických minerálů se Zr, U, Th a Ti. O tomto typu mineralizace je v moldanubiku dosud málo známo, ale podobná mineralizace je popsána např. z metasomatických žil v mramorech některých alpských lokalit (oblast intruze Bergell). Vyznačuje se právě migrací jinak metamorfně málo pohyblivého Zr a Ti (např. GIERÉ 1996).

V moldanubiku běžnější mramory s chondroditem jako hlavním silikátem (vedle flogopitu) jsou představovány litologicky vyhraněným typem šedých dolomit-kalcitických chondroitových mramorů. Tvoří převážně samostatná tělesa o mocnosti maximálně několika dm, uzavřená v migmatitech (hlavně diatexitech) až anatektických biotitických granitech (např. podolský komplex na Písecku v jižních Čechách; HOUZAR a CÍCHA 2016) a při podloží třebečského plutonu (HOUZAR a NOVÁK 1998). Typickým silikátem je v nich chondroit chudý železem (< 3 hm. % FeO) s vyšším, mírně kolísajícím obsahem F a typickou negativní korelací F/Fe (obr. 5) v asociaci s kalcitem, flogopitem, dolomit, pargasitem, vzácně s clintonitem, akcesorickým fluorapatitem a jemně dispergovaným grafitem (NĚMEC 1972, HOUZAR a NOVÁK 2006). Tato asociace vznikla za T > 600 °C v relativně uzavřeném systému mramoru v důsledku metamorfní dehydratace a uvolnění F z flogopitu a amfibolů za současného externího přínosu F a H₂O, pocházejících z dehydratační přeměny biotit → granát, cordierit a sillimanit v přilehlých migmatitech (HOUZAR a NOVÁK 1998, 2006).

Poněkud specifické jsou hrubozrnné kalcitické chondroitové mramory, tvořící reliktní polohy o nepatrné mocnosti < 20 cm v migmatitech (diatexitech) proniklých granity na kontaktu třebečského plutonu u Štěpánovic (u Třebíče). Chondroit relativně bohatý Fe (> 5 hm. % FeO) a zároveň F (> 6,5 hm. % F) se vyskytuje v hrubozrnném čistě kalcitickém mramoru v asociaci s akcesorickým pyritem, ojediněle spinelem, diopsidem a vesuvianem. Podél kontaktů mramoru s migmatity jsou vyvinuty fluorit-grossular-vesuvian-hedenbergitové skarny s akcesorickým scheelitem. Tato paragenese chondroditu je geneticky bližší skarnům (HOUZAR 1984). Těmto mramorům se podobají mramory s chondroditem podobného složení, avšak s kolísajícím obsahem fluoru (≈ 4–8 hm. % F), ze dvou samostatných tenkých poloh mramorů, ležících v bezprostředním podloží durbachitů třebečského plutonu u Tasova, kde byly zjištěny ve vrtu (třetí poloha obsahuje chondroit chudší Fe (obr. 5)). Jsou tam vzácněji doprovázeny kalcit-dolomitickým klinohumit-forsteritovým mramorem se spinelem (HOUZAR a NOVÁK 2006, LEICHMANN *et al.* 2017).

PODĚKOVÁNÍ

Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury v rámci institucionálního financování na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Moravské zemské muzeum (DKRVO, MK000094862).

LITERATURA

- BLAB, G., KRUIJEN, F., 2015: Neuigkeiten aus der Vulkaneifel (II/2015). - *Mineralien Welt*, 26, 5, 80-90.
- BRUSNICYN, A. I., CHUKANOV, N. V., 2002: Ribbeit i alleghanyit iz Južno-Faisulinskogo margancevovo mestorozhdeniya (Južnij Ural). - *Zapiski Vserossiiskogo Mineral. Obsč.*, 136, 5, 98-111.
- BUREŠOVÁ, I., 2014: Minerály skupiny chalkozin-digenit z Cu-mineralizací Českého masivu. - *MS, Diplomová práce ÚGV, Masarykova univerzita Brno*, 68 p.
- DUNN, P. J., 1985: Manganese humites and leucophoenicites from Franklin and Sterling Hill, New Jersey: Parageneses, compositions, and implications for solid solution limits. - *Amer. Mineralogist*, 70, 379-387.
- DYMEK, R. F., BOAK, J. L., BROTHERS, S. C., 1988: Titanian chondrodite- and titanian clinohumite-bearing metadunite from the 3800 Ma Isua supracrustal belt, West Greenland: Chemistry, petrology, and Origin. - *Amer. Mineralogist*, 73, 547-558.
- FINGER, F., GERDES, A., JANOUSEK, V., RENÉ, M., RIEGLER, G., 2007: Resolving the Variscan evolution of the Moldanubian sector of the Bohemian Massif: the significance of the Bavarian and the Moravo-Moldanubian tectonometamorphic phases. - *J Geosciences*, 52, 9-28.
- FROST, R., PALMER, S., BOUZAID, J., REDDY, J., 2007: A Raman spectroscopic study of humite minerals. - *J Raman Spectroscopy*, 38, 1, 68-77.
- GALUSKIN, E. V., GAZEEV, V. M., LAZIC, B., ARMBRUSTER, T., GALUSKINA, I. O., ZADOV, A. E., PERTSEV, N. N., WRZALIK, R., DZIERZANOWSKI, P., GURBANOV, A. G., BZOWSKA, G., 2009: Chegemite $\text{Ca}_7(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})_2$ - a new humite-group calcium mineral from the Northern Caucasus, Kabardino-Balkaria, Russia. - *Eur. J Mineral.*, 21, 1045-1059.
- GALUSKINA, I. O., LAZIC, B., ARMBRUSTER, T., GALUSKIN, E. V., GAZEEV, V. M., ZADOV, A. A., PERTSEV, N. N., JEŽAK, L., WRZALIK, R., GURBANOV, A. G., 2009: Kumtyubeite $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2\text{F}_2$ - A new calcium mineral of the humite group from Northern Caucasus, Kabardino-Balkaria, Russia. - *Amer. Mineralogist*, 94, 1361-1370.
- GASPER, J. C., 1992: Titanian clinohumite in the carbonatites of the Jacupanga Complex, Brasil: Mineral Chemistry and comparisons with titanian clinohumite from other environments. - *Amer. Mineralogist*, 77, 168-178.
- GIERÉ, R., 1996: Formation of rare-earth minerals in hydrothermal systems. In: Jones A. P., Wall F., Williams C. T. (eds.): Rare Earth Minerals. Chemistry, origin and ore deposits. - *Miner. Soc. Series*, Chapman & Hall Publ., 105-150.
- GRAMENICKIJ, J. N., 1970: Paragenезisy magnezialnych skarnov i otaženiye v nich režima kislotnosti i aktivnosti ftora poslemagmatičeskich rastvorov. - *Problemy metasomatizma*, Něždra Moskva, 244-254.
- GRICE, J. D., DUNN, P. J., 1994: Crystal Structure Refinement of Mg- and Zn-Rich Sonolite from Franklin and Sterling Hill, New Jersey. - *Mineral Mag*, 58, 333-336.
- HAMM, H. M., 1985: Seltene Mineralparagenesen mit Ca_2SiO_4 und Reinhardbraunsit in Ca-reichen Xenolithen des Bellerberges, Laacher Vulkangebiet. - *Mitt. Österr Mineral. Gesellsch*, 130, 63-75.
- HOUZAR, S., 1984: Lokality mramorů a erlanů v moravském moldanubiku. - *Přírod. Sbor. Západorav. muz.*, 13, 9-23.
- HOUZAR, S., ČIČHA, J., 2016: Chondroitové a klinohumitové mramory podolského komplexu na Pisecku a jejich fluorem bohatá Mg-Si-Ti-Ba-Zr minerální asociace (moldanubikum, Český masiv). - *Bull. Mineral-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 24, 1, 33-45.
- HOUZAR, S., ŠREIN, V., 1990: Calcite-andradite microclinite from Markvartice near Třebíč. - *Acta Mus. Morav., Sci. nat.*, 75, 3-20.
- HOUZAR, S., NOVÁK, M., 1998: Fluorine-enriched rocks on exocontact of the Třebíč Durbachite Massif: evidence from underlying chondrodite marbles - *Acta Univ. Carol.*, Abstract Vol. conf. POCEEL Praha 42, 2, 267.
- HOUZAR, S., NOVÁK, M., 2006: Clintonite-bearing assemblage in chondrodite marbles from the Moldanubian Zone, western Moravia, Bohemian Massif. - *J. Czech geol. Soc.*, 51, 3-4, 249-258.
- HOUZAR, S., GADAS, P., ČOPIKOVÁ, R., 2010: Minerální asociace geikielit-baddeleyit v dolomických mramorech moravského moldanubika v kontaktní aureole třebíčského plutonu. - *Acta Mus. Morav., Sci. geol.*, 95, 71-82.
- CHÁB, J., BREITER, K., FATKA, O., HLADIL, J., KALVODA, J., ŠIMŮNEK, Z., ŠTORCH, P., VAŠÍČEK, Z., ZAJÍC, J., ZAPLETAL, J., 2008: Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonického a permského pokryvu. 1-283, Česká geologická služba, Praha.
- JONES, N. W., RIBBE, D. H., GIBBS, G. V., 1969: Crystal chemistry of the humite minerals. - *Amer. Mineralogist*, 54, 1, 381-411.
- LANGER, K., PLATONOV, A. N., MATSYUK, S. S., AND WILDNER, M., 2002: The crystal chemistry of the humite minerals Fe^{2+} - Ti^{4+} charge transfer and structural allocation of Ti^{4+} in chondrodite and clinohumite. - *Eur. J. Mineral.*, 14, 1027-1032.

- LARDEAUX, J. M., SCHULMANN, K., FAURE, M., JANOUŠEK, V., LEXA, O., SKRZYPEK, E., EDEL, J. B., ŠTÍPSKÁ, P., 2014: The Moldanubian Zone in French Massif Central, Vosges/Schwarzwald and Bohemian Massif revisited: Differences and similarities. In Schulmann, K., Martínez Catalán, J. R., Lardeaux, J. M., Janoušek, V., Oggiano, G. (eds.) *The Variscan Orogeny: Extent, Timescale and the Formation of the European Crust*. 7–44. Geological Society Spec Publ 405. London.
- LEICHMANN, J., GNOJEK, I., NOVÁK, M., SEDLÁK, J., HOUZAR, S., 2017: Durbachites from the Eastern Moldanubicum (Bohemian Massif) – erosional relics of large, flat tabular intrusions of ultrapotassic melts: geophysical and petrological records. – *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 106, 1, 59–77.
- LÓPEZ SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, V., TROMMSDORFF, V., GÓMEZ-PUGNAIRE, M. T., GARRIDO C. J., MÜNTENER, O., CONNOLLY, J. A. D., 2005: Petrology of titanian clinohumite and olivine at the high-pressure breakdown of antigorite serpentinite to chlorite harzburgite (Almirez Massif, S. Spain). – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 149, 627–646.
- MERLET, C., 1994: An accurate Computer Correction Program for Quantitative Electron Probe Microanalyses. – *Microchim Acta* 114/115, 363–376.
- NĚMEC, D., 1972: Výskyt minerálů humitové skupiny v Českém masivu. – *Čas. Morav. muz., vědy přír.*, 56/57, 22–34.
- NĚMEC, D., 1993: Identification of rocks of leptite formation in Western Moravia. – *Acta Musei Morav., Sci. nat.*, 77, 41–47.
- NOVÁK, M., 2005: Granitické pegmatity Českého masívu (Česká republika); mineralogická, geochemická a regionální klasifikace a geologický význam. – *Acta Musei Morav., Sci. geol.*, 90, 1/2, 3–74.
- RIBBE, P. H., 1982: The humite series and Mn-analogs: In Ribbe, P. H. (ed): *Orthosilicates*. – *Reviews in Mineralogy*, 5, 231–274.
- ROSS, N. L., CRICHTON, W. A., 2001: Compression of synthetic hydroxylclinohumite [$Mg_9Si_4O_{16}(OH)_2$] and hydroxylchondrodite [$Mg_5Si_2O_8(OH)_2$]. – *Amer. Mineralogist*, 86, 990–996.
- SAHAMA, T., 1953: Mineralogy of the humite group. – *Annales Ac. Sci. Fennicae, III geol.-geogr.* 31, 50 p.
- SHARYGIN, V. V., 2010: Mineralogy of Ca-rich metacarbonate rocks from burned dumps of the Donetsk Coal Basin. – In: *Proceed. Sec. Inter. Conf. on Coal Fire Research*, Berlin, 162–170.
- YE, Y., SMYTH, J. R., JACOBSEN, S., D., GOUJON, C., 2013: Crystal chemistry, thermal expansion, and Raman spectra of hydroxyl-clinohumite: implications for water in Earth's interior. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 165, 563–574.
- YU-CHYI, YAU, PEACOR, D. R., 1986: Jerygibbsite-leucophoenicite mixed layering and general relations between the humite and leucophoenicite families. – *Amer. Mineralogist*, 71, 985–988.