

Zinkem a baryem bohaté minerální asociace (sfalerit – Zn-spinel – hyalofán – Ba-flogopit) z mramoru u Číchova na západní Moravě (moldanubikum)

Zinc- and barium-rich mineral assemblages (sphalerite – Zn-spinel – hyalophane – Ba-phlogopite) in marble from Číchova, Western Moravia (Moldanubian Zone)

STANISLAV HOUZAR

Mineralogicko-petrografické odd., Moravské zemské muzeum, Zelný trh 6, Brno, CZ-659 37, e-mail: shouzar@mzm.cz
Publikováno on-line 22. 10. 2015

Abstract: Minor sphalerite – pyrrhotite ore mineralizations were found in marbles on the locality Číchova-Leština (Moravian Moldanubicum) which form thin layer (<1 m thick) in sillimanite-biotite gneisses in the Varied unit of the Moldanubian Zone. The first type of dolomite-calcite marble contains Ba-phlogopite (2.3 to 6.4 wt. % BaO), Zn-spinel – gahnite (15.2 to 26.6 wt. % ZnO), clinohumite, forsterite and very rare zirconolite. Black sphalerite (9.7 to 10.8 wt. % Fe, 0.7 to 0.9 wt. % Mn), accompanied by minor pyrrhotite, pyrite and sporadic galena occurs in the second type of calcite marble. The latter assemblage includes also K-Ba feldspar (hyalophane) having 13.3 to 21.3 wt. % BaO, with tremolite, diopside, quartz and accessory titanite. Sphalerite-rich ore represents a regionally metamorphosed stratidependent sulphide mineralization with a barium admixture, which differs from mineral assemblages of the surrounding marble of the Moldanubian Zone in western Moravia. It is similar only to the analogous mineralization of the marble at Votice in central Bohemia and partly also similar Ba-Zn-(Mn) mineralization in the dolomite-calcite marble at Rožná uranium deposits.

Key words: sphalerite, Zn-spinel, hyalophane, Ba-phlogopite, stratidependent mineralization, marble, Moldanubian Zone

ÚVOD

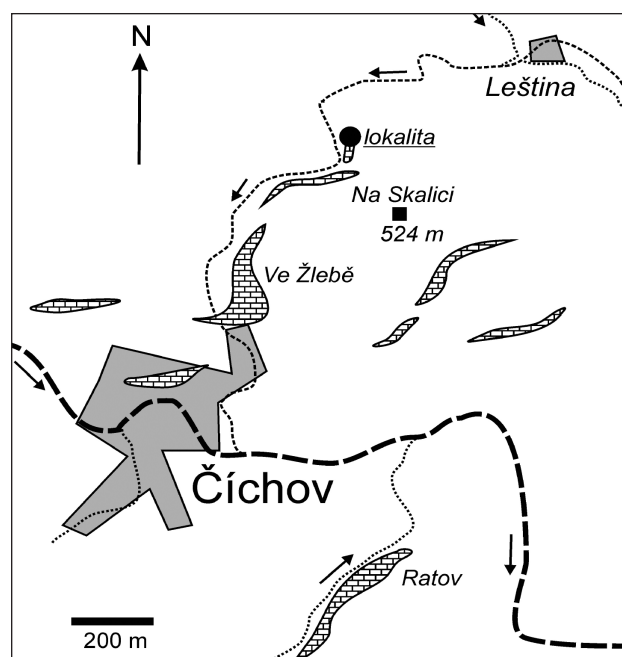
Metamorfované karbonátové horniny v moldanubiku západní Moravy náležejí z geochemického hlediska dvěma hlavním typům, kalcitickým a dolomitickým mramorům s kolísajícím podílem horninotvorných silikátů (slídy, amfiboly, diopsid, živce, forsterit), některých oxidů (křemen, spinelidy) a grafitu. Jsou relativně chudé sulfidickými minerály, které se omezují, až na výjimky, pouze na pyrrhotin a pyrit. Jen ojediněle se v nich vyskytuje akcesorický galenit, sfalerit a chalkopyrit (Houzar 2004). Jediná bohatší sulfidická mineralizace mramoru, s Mn-sfaleritem, pyrrhotinem, galenitem, pyritem a Ba-slídkami, je známa z uranového ložiska Rožná (Kvaček et Novák 1973, 1974, Doležalová et al. 2006). Jednodušší galenit-sfaleritová mineralizace byla popsána i z mramoru u Votic (Němec et Páša 1991). Tyto vtroušeninové rudní mineralizace v mramorech, Bernardem a Poubou (Bernard et Pouba 1986) označované jako typ *a-pol*, jsou pokládány za stratidependentní, předmetamorfního původu (Němec et Páša 1991, Doležalová et Losos 2004).

Nedávno byly zjištěny mramory bohaté sfaleritem také nedaleko Číchova u Třebíče (lokality Leština) na západní Moravě. Jejich charakteristice je věnována předkládaná práce.

GEOLOGICKÁ SITUACE A POPIS LOKALITY

Okolí Číchova je tvořeno komplexem granát-sillimanitických pararul a cordierit-biotitických migmatitů pestré jednotky moldanubika s četnými vložkami mramorů (mocnost ≤ 30 m), který vystupuje mezi jihlavským a třebíčským plutonem. Časté jsou diopsidové ruly, lokálně s wollastonitem, až několik desítek metrů mocné amfibolity a leukokratní křemen-živcové ruly, naopak sporadické grafitické horniny mají jen nepatrnou mocnost (< 1 m). Specifickou horninou je metasomatický forsterit-diopsidový skarn zatlačující dolomitický mramor, detailně studovaný Slavíkem

(Slavík 1901) a Sekaninou (Sekanina 1963) na číchovske lokalitě Ve Žlebě; zdejší bílý diopsid byl po dlouhou dobu pokládán za spodumen (Houzar 2006). Jižní část oblasti, s četnými kvarcity, přiřadila Veselá et al. (1988) tzv. brtnické subjednotce, severní a severovýchodní část, s hojnými dolomitickými mramory a amfibolity, k tzv. subjednotce číchovske. Horninový komplex pronikají četné anatektické biotitické pegmatity, někdy turmalinické, v okolí mramorů s diopsidem a titanitem a křemenné žíly (Veselá et al. 1988).



Obr. 1. Topografická situace studované lokality Zn-Ba mramoru s vyznačením hlavních poloh mramorů u Číchova.

Fig. 1. Topographical situation Zn-Ba marble studied and showing the position of significant marble bodies near Číchova.

Lokalita zrudněných mramorů se nachází necelý 1 km SSV od obce v příkré lesní stráni nedaleko mlýna Leština (obr. 1). V nepatrných výchozech a sutích se tu nacházejí dolomit-kalcitické mramory, které jsou uloženy v migmatizovaných biotitických a sillimanit-biotitických pararulách s menšími polohami diopsidových rul, amfibolitů a kvarcitů. Mramory tvoří vložky o mocnosti max. 2–3 m. Převážně jde o kalcitické mramory bohaté diopsidem, živci a křemenem, které přecházející do diopsidových rul, vzácnější jsou světlé flogopitové typy kalcitických mramorů s dolomitem, které jsou při kontaktech pronikány hrubozrnnými pegmatoidními horninami s diopsidem, titanitem a skapolitem.

METODIKA

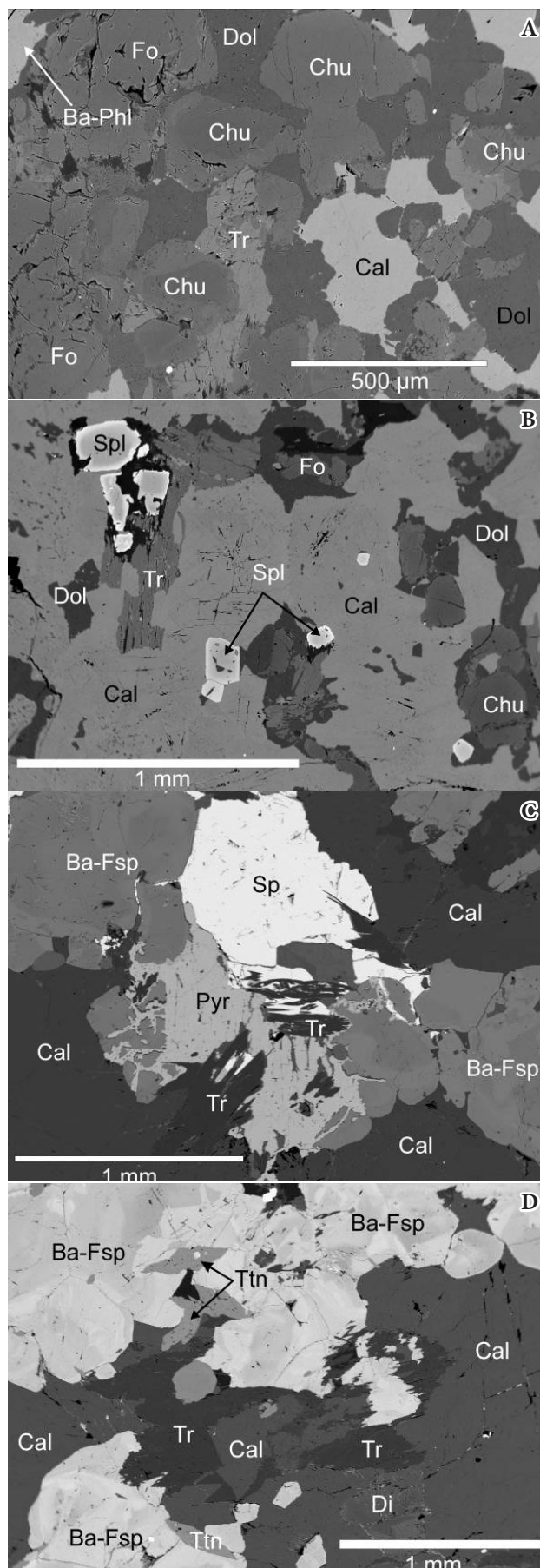
Asociace minerálů byla studována v polarizovaném světle ve výbrusech, zčásti (sulfidy) v odraženém světle. Chemické složení minerálů bylo stanoveno na elektronové mikrosondě Cameca SX-100 ve vlnově disperzním módu v Laboratoři elektronové mikroskopie a mikroanalýzy, společném pracovišti Masarykovy univerzity a České geologické služby, Brno (operátoři R. Škoda a P. Gadas). Minerály byly analyzovány při urychlovacím napětí 15 kV proudem svazku 10 a 20 nA (40 nA u zirkonolitu), průměr svazku 2 a 5 μm , u karbonátů 10 μm , za použití následujících standardů: Si, Al, K – sanidin, Si, Mn – spessartin, Mg, Al – pyrop a spinel, Na – albit, Ca – wollastonit, Ca, Ti – titanit, Fe – almandin a hematit, P – fluorapatit, Ni – Ni_2SiO_4 , Cr – chromit, Cl, Pb – vanadinit, Th – brabantit, Sr, S – SrSO_4 , Sc, V – ScVO_4 , Ti – anatas (Hardangervida), Sn – Sn, Nb – columbit (Ivigtit), Ta – $\text{Cr-Ta}_2\text{O}_6$, Ce, La, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Yb – příslušné fosfáty Ce, La, Pr... PO_4 , Hf – Hf, U – U, Y – YPO_4 , Co – Co, Ni – Ni_2SiO_4 , F – topaz, Ba – baryt, Zn – gahnit, Zr – zirkon. Všechny prvky byly načítány na linii K α , hlavní 15–20 s, vedlejší 20–50 s. Sulfidy byly analyzovány při napětí 30 kV proudem 10 nA a průměru svazku 2 μm za použití těchto standardů: Zn – ZnS, Fe a S – FeS_2 , Mn – Mn, Co – Co, Ni, As – pararammelsbergit, Cu – Cu, Se – PbSe, Cd – CdTe, In – InAs, Ag – Ag, Bi – Bi, Ge – Ge. Zkratka *apfu* značí počet atomů na vzorcovou jednotku.

CHARAKTERISTIKA MRAMORŮ

V rámci studovaných mramorů lze rozlišit dva typy: (A) klinohumit-forsteritový a (B) diopsidový typ, K-živce-diopsidový subtyp (Houzar 2004).

Obr. 2 a) klinohumit-forsteritový mramor (typ A) se zonálním klinohumitem (Chu), forsteritem (Fo) a Ba-flogopitem (Ba-Phl), b) zonální Zn-spinel (Spl) se silikáty a kalcitem (Cal) s odmišněným dolomitem (Dol), c) zrudněný pyrit (Pyr)-sfaleritový (Sp) mramor (typ B) s hyalofánem (Ba-Fsp) a tremolitem (Tr), d) kalcitický mramor (typ B) se zonálním hyalofánem, diopsidem (Di), titanitem (Ttn) a tremolitem; BSE fotografie, P. Gadas.

Fig. 2 a) clinohumite-forsterite marble (A type) with zonal grains of clinohumite (Chu), forsterite (Fo) and barian phlogopite (Ba-Phl), b) zonal Zn-spinel with silicates, calcite (Cal) and dolomite (Dol), c) pyrite (Pyr) – sphalerite (Sp) ore-rich marble (B type) with hyalophane (Ba-Fsp) and tremolite (Tr), d) calcite marble (B type) with zonal hyalophane, diopside (Di), titanite (Ttn) and tremolite; BSE images, photographs by P. Gadas



První typ (A) je představován světlým středně zrnitým až drobnozrnným dolomit-kalcitickým mramorem s nerovnoměrně rozšířenými silikáty, místy soustředěnými do tenkých neprůběžných proužků. Převládá světlý flogopit a forsterit, vzácnější je chlorit I, ojedinělý je bílý diopsid, příp. tremolitický amfibol. Lokálně je hojný i klinohumit a zejména spinel (obr. 2a, b). Spinel srůstá s forsteritem a na jejich styku je někdy přítomen chlorit II jako produkt vzájemné reakce. Sulfidy, zejména sfalerit, pyrhotin a zcela výjimečně mikroskopický galenit, jsou pouze akcesorické.

Druhý typ (B) je převážně kalcitický a je nositelem zrudnění. Vyznačuje se četnými, nepravidelně vtroušenými zrny navětralého černého sfaleritu, často srůstajícími se silikáty. Z nich dominují draselné živce a zelený diopsid, někdy zatlačovaný aktinolitem (obr. 2c, d). Místy je častý undulózně zhášejší křemen, typickou akcesorií je titanit a apatit.

Nejbohatší vzorky obsahovaly okolo 30 % sfaleritu, těsně srůstajícího s pyrhotinem, příp. pyritem. Podobně jako podřízeně zastoupený pyrhotin, jsou zrna sfaleritu zatlačována rezavě zbarvenými hydroxidy Fe. Galenit je jen nevýznamnou sporadickou akcesorií.

Zrudněný mramor má v krátkovlnném UV-zářením červenou luminiscenci kalcitu a v případě zvětralé horniny také bílou luminiscenci supergenního smithsonitu, příp. hydrozinkitu.

MINERALOGIE

Minerální asociace mramorů, poněkud odlišná v obou typech, zahrnuje 24 minerálů: kalcit, dolomit, Ba-flogopit, hyalofán, diopsid, tremolit, aktinolit a křemen, lokálně hojný Zn-spinel, výjimečně gahnit, běžný forsterit, klinohumit, příp. hydroxyl-klinohumit, titanit, jen akcesorický apatit, zirkonolit, rutil, primární i sekundární chlorit, mladší baryt a smithsonit, ze sulfidů sfalerit, pyrhotin, pyrit, galenit, z nichž některé byly studovány podrobněji (tab. 1–4).

Karbonáty, **kalcit** a **dolomit**, jsou hlavní složkou mramoru. Analyzovaný kalcit vykazoval silně kolísavý obsah Mg (0,12–2,81 hm. % MgO), minimum v typu (B) a menší stálý podíl Mn (0,14–0,16 hm. % MnO), Pb a Zn na hranici detekce EMPA, avšak dostačující pro vznik červené UV-luminiscence. Dolomit je podřízeně zastoupen pouze v mramoru (A), v němž tvoří převážně odmíšeniny v kalcitu, jejichž koalescencí vznikla i některá větší zrna na hranicích velkých kalcitových zrn.

Světlá slída byla zjištěna zejména v prvním typu mramoru (A). Je zastoupena bezbarvými lupínky **Ba-flogopitu**, v němž podíl Ba kolísá od 2,3 do 6,4 hm. % BaO. Je chudá Ti (0,6–0,8 hm. % TiO₂) a Zn (0,12–0,16 hm. % ZnO), MnO je pod mezí detekce. Ba, K-živec, **hyalofán**, byl zjištěn pouze v asociaci se zrudněním, kde srůstá s diopsidem, tremolitem i sfaleritem. Obsah Ba v něm kolísá v rozmezí 13,3 až

Tab. 1. Reprezentativní analýzy zinečnatého spinelu (Spl), forsteritu (Fp) a klinohumitu (Chu, H-Chu).

Tab. 1. Representative analyses of Zn-spinels (Spl), forsterite (Fo) and clinohumite (Chu, H-Chu).

Minerál anal. č.	Spl (s)	Spl (o)	Spl	Spl	Spl
	3 (s)	4 (o)	16 (s)	17 (o)	19 (o)
	hm. %, wt. %				
TiO ₂	0.02	0.06	0.08	0.07	0.04
Al ₂ O ₃	62.22	61.24	63.81	62.38	63.43
V ₂ O ₃	0.00	0.04	0.07	0.07	0.06
Cr ₂ O ₃	0.06	0.03	0.03	0.01	0.09
Fe ₂ O ₃	0.86	0.22	1.39	0.05	0.27
FeO	2.67	1.95	2.12	3.12	2.66
MnO	0.07	0.04	0.07	0.07	0.06
MgO	13.20	9.96	16.90	12.09	13.88
ZnO	20.37	26.58	15.22	21.87	19.51
CaO	0.03	0.14	0.02	0.07	0.21
Celkem	99.51	100.26	99.71	99.81	100.21
	apfu				
Ti ⁴⁺	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001
Al ³⁺	1.980	1.991	1.967	1.994	1.990
V ³⁺	0.000	0.001	0.001	0.002	0.001
Cr ³⁺	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002
Fe ³⁺	0.018	0.005	0.027	0.001	0.005
Fe ²⁺	0.060	0.045	0.046	0.071	0.059
Mn ²⁺	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001
Mg ²⁺	0.531	0.410	0.659	0.489	0.551
Zn ²⁺	0.406	0.541	0.294	0.438	0.383
Ca ²⁺	0.001	0.004	0.001	0.002	0.006
CATSUM	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
O	4	4	4	4	4

Minerál anal. č.	Fo	Fo	Chu	Chu	HChu
	10	11	13	14 (s)	15 (o)
	hm. %, wt. %				
SiO ₂	42,21	41,83	38,12	38,38	37,35
TiO ₂	0,02	b.d.	b.d.	1,25	3,23
FeO	5,46	4,51	4,08	3,49	3,90
MnO	0,25	0,21	0,21	0,20	0,22
MgO	52,08	53,32	54,16	53,93	51,73
ZnO	0,38	0,31	0,33	0,18	0,20
F	-	-	3,62	2,99	2,00
H ₂ O*	-	-	1,12	1,44	1,88
O=F	-	-	-1,52	-1,26	-0,84
Celkem	100,40	100,18	100,12	100,61	99,67
apfu					
Si ⁴⁺	1,010	0,999	4,030	4,021	3,962
Ti ⁴⁺	0,002			0,098	0,258
Fe ²⁺	0,109	0,090	0,361	0,306	0,346
Mn ²⁺	0,005	0,004	0,019	0,018	0,020
Mg ²⁺	1,858	1,899	8,535	8,423	8,180
Zn ²⁺	0,007	0,005	0,026	0,014	0,016
F ⁻	-	-	1,210	0,991	0,671
H ⁺	-	-	0,790	1,009	1,329
O ²⁻	3,999	3,993	16,790	17,009	17,329
CATSUM	2,989	2,997	12,970	12,880	12,781
AN SUM	4	4	18	18	18

* vypočteno ze stechiometrie, calculated by stoichiometry
b.d. = pod mezí stanovení, below detection limits
(s) = střed, core; (o) okraj = rim

21,3 hm. % BaO, podíl Na₂O je 0,17–0,36 hm. %, CaO je na hranici detekce (tab. 2). Za zmínku stojí nepatrný obsah Zn (≤ 0,08 hm. % ZnO). Živcem i okolním kalcitem pronikají vzácně nepatrné vlasové žilky sekundárního **barytu**. Pyroxeny tvoří subhedrální nazelenalá zrna, někdy srůstající s hyalofánem a amfiboly. Složením odpovídají **diopsidu** (0–3,09 hm. % FeO; ≤ 0,50 hm. % Al₂O₃) s nepatrným podílem hedenbergitové složky (< 10 %) a lokálně zvýšeným obsahem Mn (≤ 1,49 hm. % MnO) a Zn (≤ 0,37 hm. % ZnO). Amfiboly z klinohumit-forsteritového mramoru jsou blízké **tremolitu**, místy s mírně vyšším obsahem Al (≤

3,8 hm. % Al₂O₃) a kolísajícím podílem Ti (0,04–0,5 hm. % TiO₂) a Fe (≤ 1,2 hm. % FeO), naopak zelené amfiboly v asociaci se zrudněním odpovídají spíše **aktinolitu** (1,4–2,3 hm. % FeO; ≤ 0,31 hm. % Al₂O₃), ve srovnání s předchozím typem se zvýšeným obsahem F (1,1–1,3 hm. % F), Mn ~ 0,4 hm. % Mn a Zn (≤ 0,23 hm. % Zn). V typu (B) jsou hojně subhedrální až euhedrální krystaly pleochroického hnědého **titanitu** o velikosti až 1 mm. Je bohatý Al (4,5–5,6 hm. % Al₂O₃) a vzhledem k tomuto obsahu relativně chudý F (≤ 2 hm. % F), za zmínku stojí podíl Zr (≤ 0,19 hm. % ZrO₂), (tab. 3).

Tab. 2. Reprezentativní analýzy tremolitu (Tr), diopsidu (Di), Ba-flogopitu (Ba-Phl) a hyalofánu (Ba-Fsp).

Tab. 2. Representative analyses of tremolite (Tr), diopside (Di), Ba-phlogopite (Ba-Phl) and hyalophane (Ba-Fsp).

Minerál anal. č.	Tr 12	Tr 54	Di 49	Di 64	Ba-Phl 21	Ba-Phl 24	Ba-Fsp 50	Ba-Fsp 51	Ba-Fsp 52	Ba-Fsp 66
hm. %, wt. %										
SiO ₂	58,16	57,4	54,78	53,55	37,56	38,82	48,59	51,29	48,26	52,81
TiO ₂	0,04	0,01	b.d.	0,02	0,63	0,79	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Al ₂ O ₃	1,06	0,24	0,13	0,28	15,58	15,68	22,14	20,92	22,44	21,33
Cr ₂ O ₃	0,01	0,06	b.d.	0,02	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
V ₂ O ₃	0,01	0,09	b.d.	0,06	0,07	0,04	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Fe ₂ O ₃	-	-	0,42	0,59	-	-	-	-	-	-
FeO	0,97	2,33	1,29	3,09	1,25	1,28	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
MnO	0,08	0,36	0,57	1,49	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
MgO	23,72	22,3	17,07	15,04	24,73	25,00	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
CaO	13,52	13,16	25,65	25,12	0,11	0,00	0,03	0,02	b.d.	0,01
ZnO	0,02	0,23	0,16	0,37	0,15	0,14	0,07	0,08	0,05	0,04
BaO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	6,36	2,33	20,24	18,09	21,28	15,19
K ₂ O	0,01	0,43	b.d.	b.d.	8,00	9,68	8,12	9,21	7,51	10,16
Na ₂ O	0,04	0,23	0,04	0,02	0,17	0,16	0,22	0,20	0,24	0,35
F	0,54	1,09	-	-	2,12	1,59	-	-	-	-
H ₂ O*	1,95	1,64	-	-	3,07	3,40	-	-	-	-
O=F	-0,23	-0,46	-	-	-0,89	-0,67	-	-	-	-
Celkem	99,9	99,11	100,16	99,74	98,91	98,24	99,41	99,82	99,81	99,90
apfu										
Si ⁴⁺	7,912	7,968	1,992	1,985	2,762	2,804	2,596	2,685	2,580	2,706
Ti ⁴⁺	0,004	0,001		0,001	0,035	0,043				
Al ³⁺	0,17	0,039	0,006	0,012	1,350	1,335	1,394	1,291	1,414	1,288
Cr ³⁺	0,001	0,007		0,001						
V ³⁺	0,001	0,010		0,002	0,004	0,002				
Fe ³⁺	-	-	0,011	0,017						
Fe ²⁺	0,110	0,270	0,039	0,096	0,077	0,077				
Mn ²⁺	0,009	0,042	0,018	0,047						
Mg ²⁺	4,811	4,615	0,926	0,831	2,711	2,692				
Ca ²⁺	1,971	1,957	1,000	0,997	0,009	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001
Zn ²⁺	0,002	0,024	0,004	0,010	0,008	0,007	0,003	0,003	0,002	0,002
Ba ²⁺					0,183	0,066	0,424	0,371	0,446	0,305
K ⁺	0,002	0,076			0,750	0,892	0,553	0,615	0,512	0,664
Na ⁺	0,011	0,062	0,003	0,001	0,024	0,022	0,023	0,020	0,025	0,035
H ⁺	0,232	0,479	-	-	0,493	0,363				
H ⁺	1,768	1,521	-	-	1,507	1,637				
O ²⁻	23,768	23,521	-	-	11,507	11,637				
CATSUM	15,004	15,072	4,000	4,000	7,914	7,942	4,995	4,987	4,981	5,000
AN SUM	24	24	6	6	12	12	8	8	8	8

* vypočteno ze stechiometrie, calculated by stoichiometry; b.d. = pod mezí stanovení, below detection limits

Tab. 3. Reprezentativní analýzy titanitu (Ttn) a zirkonolitu.

Tab. 3. Representative analyses of titanite and zirconolite.

Minerál anal. č.	Ttn		zirkonolit	
	58	60	1	2
	hm.%, wt. %		hm. %, wt. %	
SiO ₂	30.34	30.20	CaO	10.02
TiO ₂	30.26	31.52	Ce ₂ O ₃	0.13
ThO ₂	0.06	b.d.	ThO ₂	6.68
ZrO ₂	0.11	0.19	UO ₂	13.62
UO ₂	0.11	0.05	PbO	0.72
Al ₂ O ₃	5.62	4.63	ZrO ₂	28.99
FeO	0.11	0.09	HfO ₂	0.57
CaO	28.53	28.62	TiO ₂	29.69
MgO	0.03	0.06	MnO	0.20
Nb ₂ O ₅	0.11	0.10	MgO	1.23
F	2.12	1.74	FeO	3.81
H ₂ O*	3.90	4.08	Nb ₂ O ₅	1.01
O=F	-0.89	-0.73	WO ₃	0.79
Celkem	100.68	100.63	Celkem	97.76
	apfu		apfu	
Si ⁴⁺	0.927	0.923	Ca ²⁺	0,747
Ti ⁴⁺	0.695	0.725	Ce ³⁺	0,003
Th ⁴⁺			Th ⁴⁺	0,106
Zr ²⁺	0.002	0.003	U ⁴⁺	0,211
U ⁴⁺	0.001	0.000	Pb ²⁺	0,013
Al ³⁺	0.202	0.167	Zr ²⁺	0,984
Fe ²⁺	0.003	0.002	Hf ⁴⁺	0,011
Ca ²⁺	0.934	0.937	Ti ⁴⁺	1,555
Mg ²⁺	0.001	0.003	Mn ²⁺	0,012
Nb ⁵⁺	0.002	0.001	Mg ²⁺	0,128
F	0.205	0.168	Fe ²⁺	0,222
H ⁺	0.795	0.832	Nb ⁵⁺	0,032
O ²⁻	4.795	4.832	W ⁶⁺	0,014
CATSUM	2.770	2.763	CATSUM	4,047
AN SUM	5	5	AN SUM	7

* vypočteno ze stechiometrie, calculated by stoichiometry
b.d. = pod mezí stanovení, below detection limits

Tab. 4. Reprezentativní analýzy sfaleritu a pyrhotinu.

Tab. 4. Representative analyses of sphalerite and pyrrotite.

Minerál vzorek č.	pyrhotin		sfalerit		sfalerit		sfalerit		sfalerit	
	6	6	6	6	6	6	5	5	5	
hm. %										
Zn	0,55	0,85	55,12	55,01	55,06	55,03	54,03	54,23	54,37	
Fe	59,22	58,88	9,65	9,78	9,67	9,81	10,76	10,52	10,50	
Mn			0,85	0,88	0,86	0,89	0,80	0,84	0,85	
Ni	0,35	0,43								
Cu							0,09			
Cd			0,39	0,37	0,38	0,34	0,34	0,34	0,33	
S	39,90	39,85	34,03	33,94	34,07	33,97	34,02	34,12	33,95	
Celkem	100,02	100,01	100,04	99,99	100,03	100,04	100,05	100,05	99,99	
atom. %										
Zn	0,007	0,010	0,795	0,794	0,792	0,795	0,779	0,780	0,785	
Fe	0,851	0,849	0,163	0,165	0,163	0,166	0,182	0,177	0,177	
Mn			0,015	0,015	0,015	0,015	0,014	0,014	0,015	
Ni	0,005	0,006								
Cu							0,001			
Cd			0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	
S	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	

Typickým minerálem mramoru (A) je zelenavý **zinečnatý spinel**, tvořící euhedrání zrna velikosti < 1 mm. Je mírně zonální, se Zn a Fe²⁺ obohacenými úzkými okraji (tab. 1). Jde o spinelid, ve srovnání se spinely moldanubika západní Moravy značně bohatý Zn (>30 % gahnitové složky); v některých případech analýzy odpovídají **gahnitu**. Obsah Zn kolísá od 15,2 po 26,6 hm. % ZnO, Fe je nízké (2,0–3,1 hm. % FeO). Lokálně je zastoupeno i Fe³⁺ (0,1–1,4 hm. % rozpoč. Fe₂O₃; ≤ 0,027 apfu), na hranici detekce je podíl (v klesajícím pořadí) Mn, Cr, Ti a V. Nepatrně serpentinizovaný **forsterit**, srůstající někdy se Zn-spinelem má ve srovnání s běžnými forsterity moldanubických mramorů zvýšený obsah Fe (3,9–5,5 hm. % FeO); zaznamenán byl i malý obsah Zn (0,23–0,32 hm. % ZnO; 0,004–0,007 apfu). Typickým minerálem studované lokality je žlutavě pleochroický **klinohumit**, na rozdíl od hojného hydroxyl-klinohumitu poměrně vzácný minerál. Má vyšší obsah F (3–3,6 hm. % F) a nízký podíl Ti (<1,3 hm. % TiO₂). Zmíněnému **hydroxyl-klinohumitu** s nižším obsahem F (< 2,0 hm. % F) zato však bohatšímu Ti (>3,2 hm. % TiO₂) odpovídá menší část analýz (okraje zonálního klinohumitu). Ojedinělým, ale pozoruhodným minerálem asociace mramoru (A) je **zirkonolit**, známý na západní Moravě pouze z mramorů blízko západního kontaktu třebečského masivu (Čopjaková et Houzar 2009). Byl zjištěn pouze v několika metamiktne přeměněných drobných zrnech a vyznačuje se vyšším obsahem uranu (8,6–13,6 hm. % UO₂) a thoria (~ 6,6 hm. % ThO₂).

Dominujícím minerál zrudnění, **sfalerit**, má hnědočernou barvu a tvoří nepravidelná zrna srůstající se silikáty, zejména amfiboly, diopsidem a Ba-živci. Ve výbrusu je hnědý, žilkovitě zatlačovaný **smithsonitem**, příp. hydrozinkitem (?). Má vysoký podíl Fe (9,7–10,8 %) a mírně zvýšený obsah Mn (0,7–0,9 %) a nepatrný podíl Cd od 0,3 do 0,4 % (vše v hm. %). Obsahuje četné inkluze **pyrhotinu** (kromě hlavních

složek obsahuje jen 0,4 hm. % Ni) a srůstá s jeho samostatnými zrny a také s *pyritem* (tab. 4). *Galenit* byl identifikován pouze EMPA v ojedinělých submikroskopických zrnech.

DISKUSE

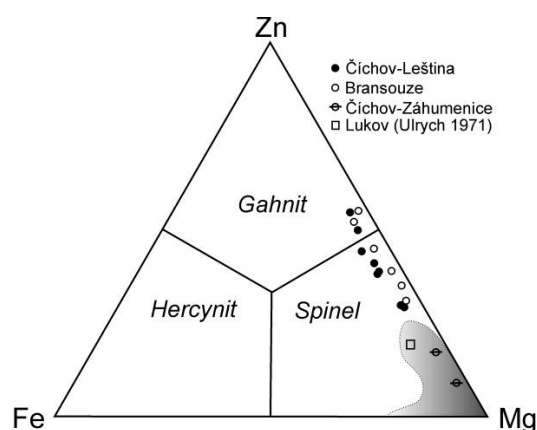
Mramory představují v okolí Číchova relativně hojně horniny. Převládají tam středně zrnité šedé *dolomitové mramory*, které bývají zatlačovány infiltračními Mg-skarny (bez rudních minerálů). Tyto dolomitové mramory obsahují u nedalekých Bransouze (asi 2 km na západ od studované lokality) běžně akcesorický sfalerit, galenit a zinečnatý spinel. Dolomitové mramory nemají žádný prostorový vztah k polohám *kalcitických mramorů*, lokálně bohatých diopsidem, K-živcem, plagioklasy, křemenem a akcesorickým titanitem. Ty vystupují samostatně v asociaci s diopsidovými rulami ve východním okolí Číchova (lom Ratov).

Nově zjištěný mramor se výše uvedeným typům nepodobá. Odlišuje se především malou mocností (< 1 m) i litologicky, kdy se v cm-dm mocné poloze střídá převažující K-živce – diopsidový kalcitický mramor, vlastní nositel hyalofán-sfaleritové mineralizace, s typem mramoru s typickou asociací metamorfovaných dolomitů (flogopit-forsterit-spinel-klinohumit), v nichž je Ba vázáno pouze na flogopit a zinek na spinel. Dalším, samostatně vystupujícím typem mramoru na této lokalitě je mylonitizovaný šedočerný mramor bohatý křemenem, se subhedrálními zrny pyritu až 1 cm velkými.

Z mineralogického hlediska stojí za zmínku nejen relativně vysoké obsahy Ba v draselném živci a ve flogopitu, ale i méně obvyklé složení Zn-spinelidu, pohybuje se při hranici spinel-gahnit, mimo pole složení běžných spinelů v mramorech moldanubika (obr. 3). Jako zajímavost lze uvést, že to právě bylo toto méně obvyklé složení spinelu, typické rovněž pro blízkou lokalitu Bransouze, které umožnilo stanovit místní původ vápna, využívaného při stavbě nedalekého gotického hradu Rokštejna u Brtnice (Siwková 2008).

Zinek je zastoupen v oxidické (spinel) i v převažující sulfidické formě (sfalerit); sfalerit těsně srůstá s metamorfoenními silikáty. Asociace zrudněného mramoru (typ B) odpovídá podmínkám stability minerálů vyžadujících vyšší aktivitou Si (diopsid místo forsteritu), s čímž může souviset i vznik Ba-živce místo Ba-flogopitu podle schématické reakce: Ba-flogopit + kalcit + SiO₂ → Ba, K-živce + tremolit (resp. diopsid). Zvýšený podíl F v tremolitu by odpovídal jeho uvolnění z klinohumitu, který je při vyšší aSiO₂ podobně nestabilní jako forsterit. Předmetamorfní sfaleritové zrudnění mohlo být doprovázeno křemenem (silicifikací?) a malým podílem barytu. Nelze ani vyloučit synmetamorfní externí přínos relativně čistého SiO₂ do mramoru, který je v okolí Číchova doložen v případě zmíněných metasomatitických infiltračních skarnů (Sekanina 1963).

Studovanému mramoru, resp. celé nepřilíš mocné litologické sekvenci, se v moldanubiku velmi podobají mramory, které popsal Němec et Páša (1991) z východního okolí Votic, obsahující necelé 2 m mocnou „stratiformní“ polohu zrudněnou sfaleritem s 9,8 – 10,8 hm. % Fe a 1,7–2,5 hm. % Mn,



Obr. 3. Složení spinelů z lokalit v okolí Číchova. Pole obvyklého chemického složení spinelů z dolomitových mramorů v moldanubiku západní Moravy je vyznačeno šedou barvou (zdroj dat: lokalita Číchov-Leština – tato práce, lokality Bransouze a Číchov-Záhumenice – Siwková 2008; typický modrozelený spinel z Lukova u Moravských Budějovic – Ulrych 1971, dále nepublikovaná data autora)

Fig. 3. Composition of spinels from marble localities near Číchova. Shades of gray color indicated the usual chemical composition of spinels from dolomite marble in Moldanubicum of western Moravia (data sources: Číchov-Leština – this paper, Bransouze and Číchov-Záhumenice – Siwková 2008; typical blue-green spinel from Lukov near Moravské Budějovice – Ulrych 1971, including unpublished author's data)

s pyrotinem a pyritem. Rozdílem oproti Číchovu-Leštině je u Votic relativně hojný galenit; obsah Ba v živcích ani složení jiných minerálů tito autoři bohužel neuvádějí. Za zmínku stojí sfalerit a galenit v asociaci s K, Ba-živcem (2,8–3,1 hm. % BaO) v diopsidovém mramoru u Svojkovic nedaleko Telče (Pertoldová 1988). V případě Ba-slíd i Ba-živců existují i určité analogie se stratidependentní rudní mineralizací v mramorech na uranovém ložisku Rožná. Z mineralogického hlediska má však tato mineralizace vedle vysokého podílu Ba ve slídách (Ba-flogopit-kinoshitalit, ≤ 20,2 hm. % BaO) navíc značně vysoký obsah Mn jak ve sfaleritu (až ≤ 14,6 hm. % Mn), tak i ve forsteritu (~ 1,5 hm. % MnO), hydroxyl-klinohumitu (~ 1,3 hm. % MnO) i v některých karbonátech (kalcit ≤ 7,5 hm. % MnO) dolomit-kalcitických mramorů, nehledě na relativně častější galenit. Ve stejné horninové sekvenci, ale mimo tuto mineralizaci jsou z ložiska Rožná popsány i horniny s hyalofánem a barytem (Doležalová et Losos 2004, Doležalová et al. 2005).

ZÁVĚR

Mramory na lokalitě Číchov – Leština, s asociací kalcit + dolomit + forsterit + klinohumit + Ba-flogopit + Zn-spinel (gahnit), resp. jejich Ba-Zn zrudnění, představují specifický typ mineralizace, odlišný od většiny dalších mramorů v okolním moldanubiku.

Hlavní rozdíl spočívá v přítomnosti téměř monominerálního hyalofán-sfaleritového zrudnění. Tato mineralizace je, vzhledem k úzkému sepětí Fe-bohatého sfaleritu s výskytem barnatých draselných živců, Ba-flogopitu, Zn-spinelu a dalších silikátů nejspíše metamorfoenního stratidependentního původu. Další specifikum lokality spočívá ve složení zinečnatého spinelu z asociace s Ba-flogopitem, který

má průměrný obsah gahnitové složky (cca 30–55 %), odlišný od spinelů v mramorech moldanubika západní Moravy.

Od podobných výskytů sfaleritové mineralizace v moldanubiku Českého masivu se lokalita odlišuje nižším obsahem Mn ve sfaleritu i v silikátech (srov. sfaleritovou stratidependentní mineralizaci uranového ložiska Rožná), nepřítomností galenitu a výskytem Ba-živců (srov. Pb-Zn zrudnění v mramorech u Votic). Přítomnost barnatého živce, jiné složení zinečnatého spinelu a jiná minerální asociace tuto lokalitu odlišuje také od typických „gahnitových mramorů“ poličského krystalinika (např. lokalita Trhonce), Novák et al. (1997).

PODĚKOVÁNÍ

Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury v rámci institucionálního financování na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Moravské zemské muzeum (DKRVO, MK000094862). Za spolupráci při terénním výzkumu děkuji dr. M. Vokáčovi a ing. P. Kotrbovi a za další spolupráci také Mgr. L. Losertové.

LITERATURA

- BERNARD J. H. et POUBA Z., eds. (1986): Rudní ložiska a metalogeneze československé části Českého masivu. – Ústí. ústav geol. a Academia Praha, 320 p.
- ČOPJAKOVÁ R. et HOUZAR S. (2009): Zirkonolit v mramoru u Krahulova a stáří HT/LP metamorfózy moldanubika v kontaktní aureole třebíčského plutonu. – *Acta Musei Moraviae, Sci. geol.*, 94: 67–76.
- DOLEŽALOVÁ H. et LOSOS Z. (2004): Sfalerit různých genetických typů sulfidického zrudnění na uranovém ložisku Rožná. – *Acta Musei Moraviae, Sci. geol.*, 89: 91–102.
- DOLEŽALOVÁ H., HOUZAR S. et ŠKODA R. (2005): Minerální asociace forsteritových mramorů s Ba-flogopitem a kinoshitalitem na uranovém ložisku Rožná, moldanubikum, západní Morava. – *Acta Musei Moraviae, Sci. geol.*, 90: 75–88.
- DOLEŽALOVÁ H., HOUZAR S., LOSOS Z. et ŠKODA R. (2006): Kinoshitalite with high magnesium content in sulphide-rich marbles from Rožná uranium deposit, Western Moravia, Czech Republic. – *N. Jb. Miner. Abh.*, 182(2): 165–171.
- HOUZAR S. (2004): Metamorfované karbonátové horniny v geologické stavbě a vývoji jihovýchodní části Českého masivu. – Ms. [Disertační práce, ÚGV PŘF, Masarykova univerzita v Brně, 155 p.]
- HOUZAR S. (2006): Číchovský „spodumen“ – nekonečný příběh omylu. – *Minerál*, 14(4): 271–273.
- KVAČEK M. et NOVÁK F. (1973): Mineralogická charakteristika Pb-Zn zrudnění v okolí Rožné na západní Moravě. – *Hornická Příbram ve vědě a technice, sekce geologie ložisek nerostných surovin*: 263–272.
- KVAČEK M. et NOVÁK F. (1974): Manganem a železem bohaté sfalerity z ložiska Rožná na západní Moravě. – *Čas. Mineral. geol.*, 19(2): 175–180.
- NĚMEC D. et PÁŠA J. (1991): Zrudnění Pb-Zn stratiformního typu u Votic. – *Čas. Mineral. Geol.*, 36: 149–55.
- NOVÁK M., HOUZAR S. et ŠREIN V. (1997): Gahnite-bearing marbles and their significance for regional classification of the eastern part of the Bohemian Massif. – *J. Czech geol. Soc.*, 42(1–2): 33–40.
- PERTOLDOVÁ J. (1988): Petrologická charakteristika hornin na lokalitě Svojkovice-Hory. – In: VESELÝ J. et al.: Opatovsko-svojkovický revír. Dílčí závěrečná zpráva. – Rukopis, Geofond Praha, bez pag. (*též Muzeum Vysočiny, Třebíč*).
- SEKANINA J. (1963): Hořečnatý skarn v dolomitu u Čichova na západní Moravě. – *Čas. Mineral. geol.*, 8: 178–188.
- SRVKOVÁ Z. (2008): Petrologická charakteristika stavebních materiálů hradu Rokštejna. – Ms. [Diplomová práce, ÚGV PŘF, Masarykova univerzita, Brno, 65 p.]
- SLAVÍK F. (1901): Mineralogické zprávy ze západní Moravy. Nerosty z prahorního vápence u Čichova nedaleko Okříšek. – *Rozpr. Čes. Akad. Věd Cís. Frant. Josefa, Tř. 2 10*, 8: 10–13.
- ULRYCH J. (1971): Zinc spinel from Lukovská hora Hill near Moravské Budějovice. – *Čas. Mineral. geol.*, 16(4): 419–422.
- VESELÁ M., HRÁDEK M., HRKAL Z., MANOVÁ M., NOVÁK J. K., PŘÍHODOVÁ A. et ŠALANSKÝ K. (1988): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000 Brtnice. – Ústí. Úst. geol. Praha: 7–50.