ISSN 1211-8796

Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
LXXXIX (2004): 139–148, 2004

MRAMOR S OBSAHEM REE Z HORNÍCH DUNAJOVIC V LUKOVSKÉ JEDNOTCE MORAVIKA, ZÁPADNÍ MORAVA

REE-BEARING MARBLE FROM HORNÍ DUNAJOVICE (LUKOV UNIT, MORAVICUM) IN WESTERN MORAVIA

STANISLAV HOUZAR, JAROMÍR LEICHMANN, ANDREJ KAPINUS & VÁCLAV VÁVRA

Abstract

Houzar, S., Leichmann, J., Kapinus, A., Vávra V., 2004: REE-obsahující mramor z Horních Dunajovic v lukovské jednotce moravika, západní Morava. Acta Musei Moraviae, Sci. geol., 89, 139–148 (with English summary).

REE-bearing marble from Horní Dunajovice (Lukov Unit, Moravicum) in Western Moravia

REE-bearing calcite marble forms a layer in biotite phyllites near H. Dunajovice in the Lukov Unit of Moravicum. Chemical compositions of the iron- and phyllosilicate-rich marbles and description of rare carbonate synchysite-(Ce) are presented. Enrichment of REE in marble became in its sedimentary-diagenetic or early metamorphic stages.

Key words: marble, synchysite-(Ce), REE-geochemistry, Lukov (Pernegg) Unit, Moravicum.

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

Jaromír Leichmann, Andrej Kapinus, Václav Vávra, Institute of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic. E-mail: leichman@sci.muni.cz

Úvod

Soustavné studium minerálních asociací a geologické pozice mramorů východní části Českého masivu, prováděné v posledních dvaceti letech (HOUZAR 1984, HÖGELSBERGER 1987, NOVÁK 1987, 1988, 1989, HOUZAR a NOVÁK 2001, 2002), vedlo mj. k objevu mramorů s méně obvyklým chemickým složením. V rámci výzkumů proterozoických hornin, financovaných projektem MŽP ČR a koordinovaných přírod. fakultou UK v Praze (Z. POUBA), byly v rámci korelace studovány i některé mramory z nejvýchodnější části Českého masivu (HOUZAR a NOVÁK 1997).

Analýza mramoru z lukovské jednotky u Horních Dunajovic (metody XRF, ICP a AAS, Český geologický ústav, M. Drábek, V. Sixta) přinesla překvapivý výsledek ve zjištění relativně vysoké koncentrace REE v karbonátovém podílu. Vyšší obsah REE dále potvrdila i analýza celkové horniny v laboratoři ACME Ltd. ve Vancouveru, Kanada, metodami ICP-MS a ICP-ES. Nezávisle na těchto analýzách byl v mramoru později identifikován nositel REE elektronovou mikrosondou na katedře mineralogie, petrografie a geochemie MU v Brně přístrojem CamScan 4 DV s energiově disperzním analyzátorem AN 10 000 (podmínky – urychlovací napětí 20 kV, proud 15 mA, průměr svazku 1 μm). Silikáty s obsahem F byly analyzovány tamtéž přístrojem CAMECA MX-100.

Přehled geologie lukovské jednotky v dyjské klenbě

SUESS (1912) označil komplex metapelitů s vložkami kvarcitů, zelených břidlic a metakarbonátů, vystupujících mezi bítešskou rulou a podložním prevariským basementem jako morávní – vnitřní fylity. Tento komplex byl dokumentován jak ve svratecké, tak i v dyjské klenbě.

Komplex fylitů v dyjské klenbě byl detailně studován PRECLIKEM (1926a, b), který rozpoznal polymetamorfní charakter celé formace a rovněž její litologickou rozrůzněnost. Podle jeho závěrů tvoří metasedimenty v dyjské klenbě dva pruhy. Každý z obou pruhů je na bázi intrudován granitickými horninami: západní pruh silně deformovanou weitersfeldskou rulou, východní granitoidy dyjského plutonu.

Celá řada prací se zabývá metamorfním a strukturním vývojem zejména centrální a jižní části dyjské klenby. Detaily je možno najít v pracích FRASLA (1970), HÖCKA (1975, 1995), HÖCKA et al. (1991), BATÍKA (1984, 1999), BERNROIDERA (1989), LIBOWITZKÉHO (1990), TOMKA et al. (1995), ŠTIPSKÉ a SCHULMANNA (1995) a ŠTIPSKÉ (1999). HÖCK (1975, 1983) popsal detailně litologické a metamorfní rozdíly mezi metasedimenty v nadloží dyjského plutonu a v nadloží weitersfeldské ruly. Spodní jednotka – formace therasburg – je tvořena metapelity, rulami a kvarcity. Metapelity a mramory tvoří svrchní jednotku – formaci pernegg. BATÍK (1984) použil pro označení hornin srovnatelných s formací therasburg na území ČR termín spodní lukovská jednotka. Svrchní lukovská jednotka je pak ekvivalentem pro formaci pernegg. Maximální podmínky prográdní metamorfózy formace pernegg odpovídající teplotám 580–600 °C a tlaku 500–700 MPa ve staurolitové zóně jsou dokumentovány v centrální části klenby (HÖCK et al. 1991). BATÍK a FEDIUKOVÁ (1992) předpokládají pro metapelity s granátem a staurolitem ve svrchní části lukovské jednotky tlak 450–500 MPa a teplotu v intervalu 590–610 °C. Intenzita metamorfózy klesá směrem od středu klenby k severu i k jihu přes granátovou zónu až do zóny biotitové. S retrográdní fází metamorfózy, jejíž rozsah není přesně vymezen, je spojen vznik muskovitu a chloritu na úkor biotitu a chloritu na úkor granátu a staurolitu (HÖCK 1995).

Mramory v lukovské jednotce

Mramory představují typické horniny v nejvyšší části lukovské jednotky bezprostředně pod bítešskou rulou. Jsou to šedé až černošedé drobnozrnné horniny s příměsí křemene a fylosilikátů, tvořící až 80 m mocné polohy. Na jejich kontaktu s bítešskou ortorulou je vyvinuta vápenatosilikátová hornina (fugnitzská břidlice). Minerální asociace mramorů Cal+Qtz+Ms+Bt+Ab±Dol, s akcesorickým pyritem, rutilem, apatitem a turmalínem, je na jihu (Čížov-Hardegg) doplněna o titanit a vzácně i o tremolit, zoisit a epidot. Okolní horniny náležejí biotitickým fylitům až muskovit-biotitickým a granát-staurolitickým svorům (BATÍK a FEDIUKOVÁ 1992). Mají černošedou až zelenošedou barvu, na foliačních plochách s hedvábným leskem a protáhlými čočkami sekrečního křemene. Mikroskopicky mají granolepidoblastickou stavbu s drobnými zrny křemene, plagioklasu (albit-oligoklas) a zprohýbanými lupínky muskovitu a biotitu. Typickými akcesorickými minerály jsou hnědozelený turmalín – dravit, dále zirkon a místy poměrně hojný magnetit.

Metamorfóza mramorů a vápenatosilikátových hornin ve vnitřních fylitech rakouské části moravika byla detailně studována BERNROIDEREM (1989). Minerální asociace Ms+Cal+Qtz v mramorech omezuje podmínky metamorfózy pro 400 MPa na T < 520 °C, přítomnost asociací se zoisitem pak $X_{CO2} < 0{,}04$. V oblasti mezi Horními Dunajovicemi a Plavčí lze na základě současných výzkumů na základě stability Dol+Qtz

a Ms+Qtz+Cal±Ep předpokládat teploty patrně o něco nižší, okolo 500 °C, mírně vyšší může být X_{CO2}, protože obsah Fe, příp. REE v epidotu, rozšiřuje jeho stabilitu do podmínek s vyšším X_{CO2} (HOLDAWAY 1972, LIOU 1993).

Charakteristika mramoru s REE-mineralizací

Lokalitou mramoru je opuštěný lom na levém břehu potoka v údolí Křepičky, 500 m ZSZ od Horních Dunajovic (HDU), 12 km SV od Znojma.

Mramor tvoří v muskovit-biotitických fylitech až 25 m mocnou polohu, protáhlou ve směru ZJZ–VSV, pod úhlem 10–20° ukloněnou k SSZ. Jde o drobnozrnné nevýrazně páskované tmavošedé mramory s žilkami a agregáty hrubozrnného kalcitu, obsahující drobné šmouhy šedočerných fylitů a zaoblená zrna (valounky ?) bílého křemene až centimetrové velikosti. Pro některé typy mramorů jsou typické krátké ložní a diskordantní žilky kalcitu, doprovázeného hnědým Fe dolomitem a akcesorickým fialovým fluoritem (MATĚJOVSKÁ et al. 1987).

Ve výbrusech má mramor granoblastickou heteroblastickou strukturu a je tvořen protáhlými zrny karbonátů. Nekarbonátovou složku tvoří převážně křemen, muskovit, biotit, lokálně i albit, z akcesorických minerálů apatit, pyrit, rutil, ilmenit a dravit. Karbonáty jsou zastoupeny kalcitem, místy bohatším Fe (~ 1 hm %). V CL jeví kalcit tmavě hnědou luminiscenci, zrna jsou nehomogenní a patrně odrážejí reliktní strukturu karbonátů. Nebyly zjištěny žádné náznaky mladších žilných ani metasomatických hydrotermálních karbonátů (HOUZAR a LEICHMANN 2003). Křemen a albit (až oligoklas) tvoří drobná zrna velká maximálně 2 mm. Bezbarvý fengitický muskovit se zvýšeným obsahem Mg a Fe a hnědě pleochroický, někdy chloritizovaný biotit (železnatý flogopit) vytvářejí drobné zprohýbané lišty a lupenité agregáty.

Chemické složení mramoru je zřejmé z chemických analýz v tab. 1 a 2. Jde o silně silikátové mramory s relativně vysokým poměrem Fe/Mg. Z minoritních prvků jsou mírně zvýšené jen Ba, Sr a Zr. V čistě karbonátovém podílu mramoru (vzorek analyzovaný ČGS Praha) bylo vedle 32,82 hm. % CaO zjištěno rovněž 1,39 % MgO, 2,29 % FeO,

Tabulka 1. Složení mramoru, celková hornina (Horní Dunajovice).
Table 1. The composition of marble, whole rocks (Horní Dunajovice).

	Hm.% – wt.%		ppm			ppm
SiO_2	25,11	As	4,5		Rb	49,8
TiO_2	0,26	Ba	379,0		Sc	5,0
Al_2O_3	5,52	Bi	0,1		Sn	1,0
Fe_2O_3	2,36	Co	8,6		Sr	527,4
MnO	0,05	Cr	20,0		Ta	0,3
MgO	1,15	Cs	1,7		Th	4,4
CaO	35,06	Cu	7,7		U	1,0
Na_2O	0,64	Ga	9,5		V	37,0
K_2O	1,29	Hf	1,7		W	1,3
P_2O_5	0,03	Mo	0,2		Zn	19,0
		Nb	4,4		Zr	53,9
		Pb	3,3		Y	18,9
L.O.I.	28,30					
Celkem	99,77					

L.O.I. = ztráta žíháním, loss on ignition

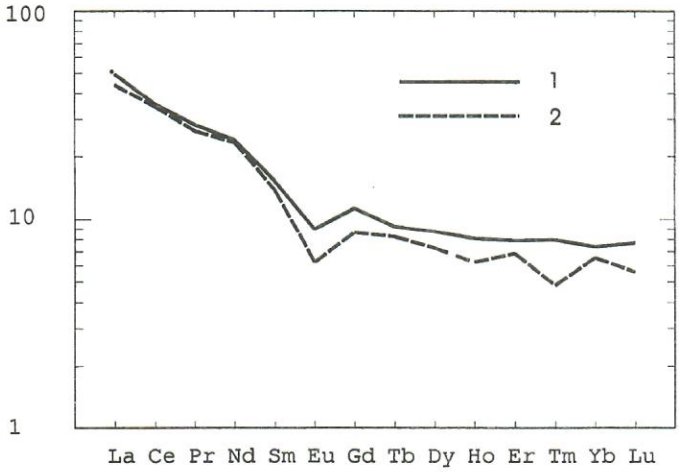
Tabulka 2. Obsah REE v mramoru a průměrném sedimentárním karbonátu.
Table 2. The REE content in marble and average sedimentary carbonate.

[ppm]	1	2	3
La	16,30	14,40	5,00*
Ce	30,70	29,80	11,50
Pr	3,67	3,43	1,10
Nd	15,10	14,70	4,70
Sm	3,10	2,81	1,30
Eu	0,69	0,48	0,20
Gd	3,12	2,38	1,30
Tb	0,46	0,41	0,20
Dy	2,99	2,49	0,90
Ho	0,62	0,48	0,30
Er	1,77	1,54	0,5
Tm	0,28	0,17	0,04
Yb	1,62	1,44	0,50
Lu	0,26	0,19	0,20
La+Ce/Yb+Lu	25	27	24
celkem – total	80,68	74,72	22,74

1 = celková analýza horniny, whole rock analysis, 2 = analýza karbonátového podílu, analysis of carbonate part only, 3 = průměrné složení karbonátových sedimentů, average composition of carbonate sediments, (VIEZER 1983, * CONDIE at al. 1991).

0,044 % MnO, a 0,05 % Sr, v celé hornině pak ještě (v ppm): Cr = 27, Cu = 16, Sr = 533, Rb = 62, Y = 18, Zn = 35 a Zr = 63; obsah As, Mo, Nb, Ni, Pb, Sn a U byl pod mezí detekce.

V chemickém složení mramoru jsou patrné zvýšené obsahy REE (tab. 2), mezi nimiž převládají lehké REE a Ce nad La, což je charakteristické pro karbonáty v mořském prostředí (VIEZER 1983). Prvky vzácných zemin v mramoru jsou přednostně vázány v karbo-



Obr. 1. Obsah REE v mramoru z Horních Dunajovic (normalizováno na chondrit, SUN 1982).
Fig. 1. Chondrite-normalized REE patterns for marble from Horní Dunajovice (chondrite used, SUN 1982). (1) – plná čára – celá hornina, full line – whole rock, (2) – čárkovaně – jen karbonátový podíl, dashed line – carbonate part only.

Tabulka 3. Chemické složení synchysitu-(Ce).
Table 3. Chemical composition of synchysite-(Ce).

	1	2	3
CaO	17,37	17,55	17,56
FeO	0,69	1,01	0,69
Ce_2O_3	24,14	25,03	24,84
La_2O_3	12,71	11,49	11,3
Nd_2O_3	8,59	8,55	9,26
Pr_2O_3	2,21	2,73	2,96
ThO_2	2,3	2,24	1,64
CO_2*	27,15	27,45	27,31
F*	5,86	5,92	5,89
O=F	-2,47	-2,49	-2,48
Total	98,55	99,48	98,97
Ca^{2+}	1,004	1,004	1,009
Fe^{2+}	0,031	0,045	0,031
Ce^{3+}	0,477	0,489	0,488
La^{3+}	0,253	0,226	0,224
Nd^{3+}	0,166	0,163	0,177
Pr^{3+}	0,043	0,053	0,058
Th^{4+}	0,028	0,027	0,02
C^{4+}	2,000	2,000	2,000
F^-	1,000	1,000	1,000
O^{2-}	6,000	6,000	6,000
CATSUM	4,002	4,007	4,007

* vypočteno ze stechiometrie, calculated by stoichiometry.

nátech, jak dokazuje porovnání analýz celé horniny a analýzy čistě karbonátového podílu (tab. 2, obr. 1). Obsah REE dosahuje až spodní hranice obsahů REE v chemicky anomálních mramorech (karbonatitoidech?) moldanubika z Bližné na Českokrumlovsku (DRÁBEK et al. 1985, 1999), které se však odlišují relativně vysokým obsahem Mo a Nb.

Nositelem REE v mramoru z Horních Dunajovic je fluorokarbonát synchysit-(Ce), který byl zjištěný pouze jako submikroskopická akcesorie. Při studiu výbrusů na elektronové mikrosondě upoutal v BSE svojí vysokou odrazností (obr. 2), v CL vykazuje intenzivní fialovou luminiscenci. Tvoří asi 10 μm velká xenomorfní zrna zarůstající do kalcitu v asociaci s muskovitem, křemenem a albitem. Jeho chemické složení je uvedeno v tab. 3. Kromě dominujícího Ce má významný obsah La, Th a Nd. Fluor nebyl přímo analyticky stanoven, rozpočet analýzy na čistě fluorový člen však dobře odpovídá teoretickému vzorci synchysitu.

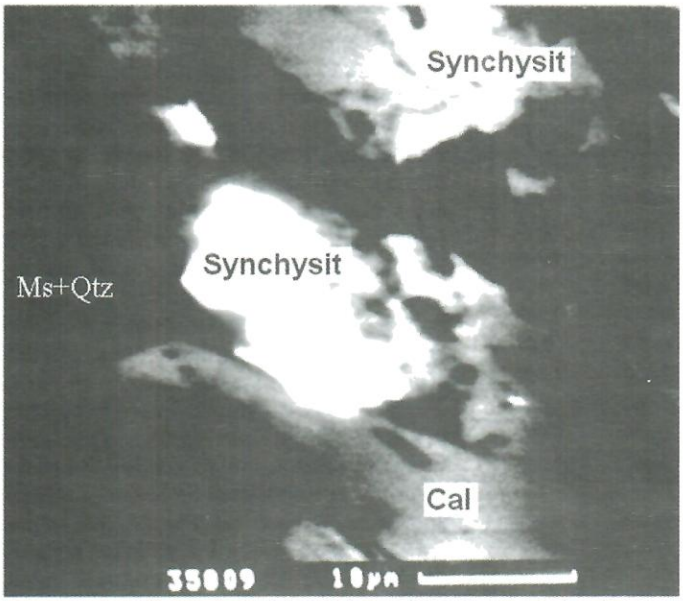
Podobný typ mineralizace byl zjištěn poněkud jižněji od Horních Dunajovic v pruhu metakarbonátů svrchní lukovské jednotky vystupujících na břehu přehradní nádrže východně od Plavče. Matečnou horninou jsou opět silně slídnaté mramory. Na jejich složení se podílejí kalcit, muskovit, biotit, křemen, plagioklas a akcesorický apatit, turmalín a ilmenit. Kalcit obsahuje zvýšené množství FeO (1,1–2,3 hm.%), obsah MgO je nižší (0,21–0,88 hm.%). Obsah MnO kolísá mezi 0,27–0,42 hm.%. Reprezentativní analýzy kalcitu a obou slíd jsou uvedeny v tab. 4. Komplexní zrno z tohoto mramoru s REE karbonáty je vidět na obr. 3. Na skladbě zrna se podílejí tři hlavní fáze – epidot, epidot se zvýšenými obsahy REE a REE karbonáty. Vzhledem k malé velikosti jednotlivých subzrn nebylo možné provést přesnou analýzu jednotlivých fází. Ve spektru vzácných zemin silně převládají lehké REE.

Diskuse REE-mineralizace

Obsahy REE v sedimentárních karbonátech jsou obecně poměrně nízké (VIEZER 1983). Ve studovaném mramoru je jejich obsah zvýšený, poměr La+Ce/Yb+Lu je prakticky shodný se sedimentárními karbonáty (tab. 2). Z hlediska původu REE stojí za pozornost vysoký poměr Fe/Mg v karbonátech lukovské jednotky ve srovnání s mramory vranovsko-olešnické jednotky moravika. Přes probíhající diskuse o větší či menší mobilitě REE v metamorfních podmínkách (GRAUCH 1989) je znám v prostředí karbonátových hornin značný transport REE právě ve fluidech bohatých Fe, popsaný např. při

vzniku některých skarnů. Ten však probíhá v relativně oxidačních podmínkách a týká se především HREE (VOCKE et al. 1987, WHITNEY a OLMSTED 1998); akcesorický ilmenit ve studovaném mramoru dokládá spíš redukční podmínky metamorfózy.

Katodoluminiscenční výzkum mramorů z Horních Dunajovic ani z jiných lokalit v okolí neprokázal, že by v nich Fe-karbonáty měly mladší pozdně metamorfní nebo hydrotermální původ (HOUZAR a LEICHMANN 2003, tato práce). Jak napovídají reliktní struktury, výjimečně zachované v důsledku slabší metamorfózy (biotitová zóna facie zelených břidlic), muselo být Fe, a patrně rovněž REE, přítomny v hornině před hlavními metamorfními procesy. Na mobilitu REE a stabilitu synchysitu-(Ce) měl nepochybný vliv i podíl F ve fluidech, jehož zdrojem mohly být fluor obsahující (tab. 4) fylosilikáty nebo akcesorický fluorit v mramoru.



Obr. 2. Synchysit-(Ce) v mramoru bohatém silikáty. Horní Dunajovice (odražené elektrony).
Fig. 2. Synchysite-(Ce) in silicate rich marble from Horní Dunajovice (BSE).

O obsahu REE v mramorech neexistuje příliš mnoho informací. Podle ojedinělých údajů v literatuře se obsah LREE v mramoru od Horních Dunajovic pohybuje na horní hranici známé pro mramory metamorfované ve facii zelených břidlic (údajů pro srovnání je však velmi málo (srovnej Grauch 1989). I když stabilita REE-karbonátů v metamorfních podmínkách není detailně experimentálně prozkoumána, je zřejmé, že závisí na poměru jednotlivých vzácných zemin (hlavně Ce/La), redox podmínkách a aktivitě F. Fluorem bohaté CaCe-karbonáty mohou být teoreticky stabilní až do max. T 650 °C (HSU 1992). Z metakarbonátových hornin amfibolitové facie nebyly primární REE-karbonáty popsány (GIERÉ 1996) a proto stabilita přírodních fází patrně této maximální úrovně T běžně nedosahuje. Stabilita REE-karbonátů v podmínkách růstu metamorfózy je patrně omezena možností vstupu REE především do epidotu, jehož struktura je příhodná pro heterovalentní substituci $Ca^{2+}+Al^{3+} = REE^{3+}+Fe^{2+}$ a $Ca+Fe^{3+} = REE^{3+}+Fe^{2+}$ nebo vzniká samostatný minerál allanit (FILIP et al. 2002). Tento vztah je pravděpodobně patrný u studovaného mramoru z Plavče, kde zrno na obr. 3 je možno interpretovat jako postupné nahrazovaní REE karbonátů epidotem. Podle HÖCKA (1995) a PIVNIČKY (1995) je metamorfní postižení lukovské jednotky v oblasti Plavče o něco intenzivnější než v oblasti Horních Dunajovic. Je možné, že postupný nárůst PT podmínek mezi Horními Dunajovicemi a Plavčí překročil pole stability synchysitu-(Ce). Tato interpretace by mohla

Tabulka 4. Reprezentativní analýzy silikátů a kalcitu v mramorech lukovské jednotky.
Table 4. Representative analyses of silicates and calcite in marbles of Lukov Unit.

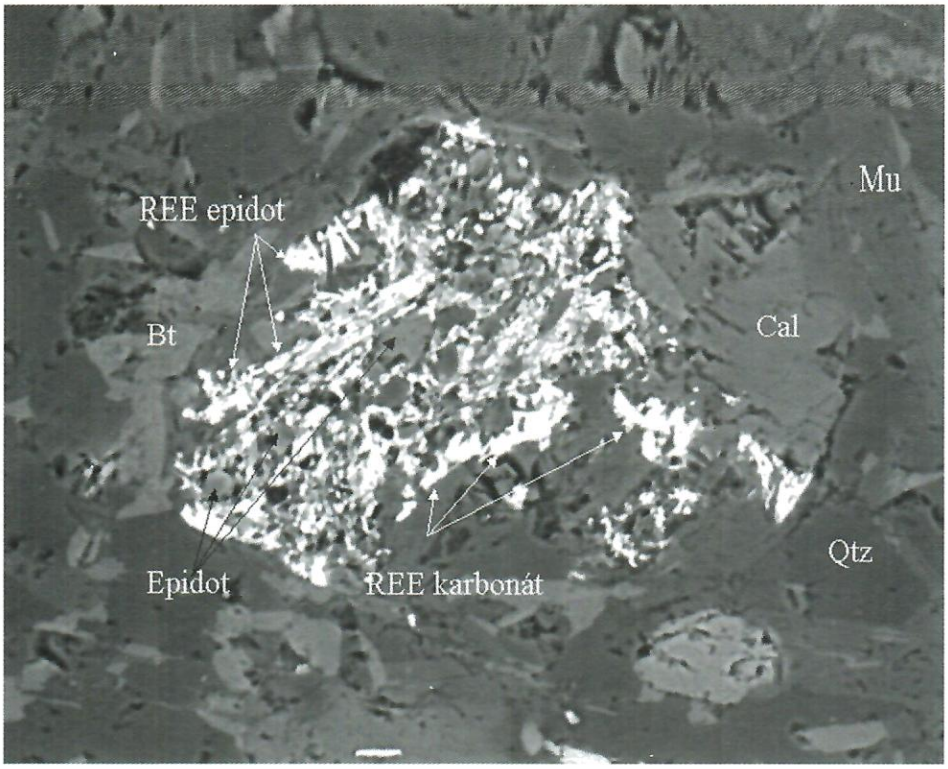
	Bt HDU	Bt Plaveč	Bt Plaveč	Ms HDU	Ms Plaveč	Ms Plaveč	Ms Plaveč	Ab HDU	Cal HDU	Cal Plaveč
SiO_2	37,01	35,68	34,51	48,62	49,01	45,19	45,98	67,15		
TiO_2	1,95	1,91	2,03	0,72	0,65	0,55	0,62			
Al_2O_3	17,58	19,31	18,71	30,81	33,01	34,47	35,31	20,59		
FeO	16,08	20,38	22,41	1,77	1,02	2,87	2,06		1,12	2,31
MnO	0	0,05	0,04	0	0	0	0,04		0	0,4
MgO	12,49	8,77	8,35	2,13	2,07	0,96	1,03		0,44	0,77
CaO	–	–	–	–	–	–	–	1,59	54,11	53,5
Na_2O	0,83	0,07	0,08	0,52	0,72	0,35	0,32	11,24		
K_2O	9,14	10,04	9,34	10,12	10,38	10,49	9,91			
H_2O*	3,79	3,76	3,71	4,41	4,54	4,38	4,44			
F	0,45	0,41	0,37	0,15	0,12	0,14	0,13			
O=F	-0,19	-0,17	-0,16	-0,06	-0,05	-0,06	-0,05			
CO_2*	–	–	–	–	–	–	–	–	43,24	44,63
Celkem	99,13	100,21	99,39	99,19	101,47	99,34	99,79	100,57	98,91	101,71
						O				
	24	24	24	24	24	24	24	8	6	6
Si^{4+}	5,549	5,413	5,331	6,506	6,395	6,099	6,122	2,93		
Ti^{4+}	0,22	0,218	0,236	0,072	0,064	0,056	0,062			
Al^{3+}	3,106	3,453	3,407	4,859	5,076	5,483	5,541	1,059		
Fe^{2+}	2,016	2,586	2,895	0,198	0,111	0,324	0,229		0,034	0,063
Mn^{2+}	0	0,006	0,005	0	0	0	0,005	–		0,011
Mg^{2+}	2,792	1,984	1,923	0,425	0,403	0,193	0,204	–	0,024	0,038
Ca^{2+}	–	–	–	–	–	–	–	0,074	1,944	1,881
Na^{+}	0,241	0,021	0,024	0,135	0,182	0,092	0,083	0,951		
K^{+}	1,748	1,943	1,841	1,728	1,728	1,806	1,683	0		
H^{+}	3,787	3,803	3,819	3,937	3,95	3,94	3,945			
F^{-}	0,213	0,197	0,181	0,063	0,05	0,06	0,055			
O^{2-}	23,787	23,803	23,819	23,937	23,95	23,94	23,945			
	---	---	---	---	---	---	---			
CATSUM	15,673	15,624	15,662	13,923	13,958	14,053	13,929	5,015	2,002	1,993

vysvětlit fakt, proč nebyly REE karbonáty dosud zjištěny v centrální části dyjské klenby moravika s metamorfózou dosahující staurolitové zóny.

Alternativním názorem může být naopak vznik synchysitu-(Ce) při rozpadu REE-epidotu při retrográdní metamorfóze lukovské jednotky. Potřebný F mohl být uvolněn při muskovitizaci biotitu a protože do struktury muskovitu vstupuje omezeně, mohl se podílet na vzniku F- obsahujícího fluorokarbonátu synchysitu-(Ce) v retrográdní fázi metamorfózy. Tato možnost se ale na základě zatím dostupných dat jeví jako méně pravděpodobná, protože retrográdní přeměny doprovázené rozpadem primárního biotitu za tvorby sekundární světlé slídy – sericitu byly v mramorech pozorovány pouze v omezené míře.

Závěr

Zjištění REE bohaté variety mramoru související s přítomností akcesorického synchysitu-(Ce) u Horních Dunajovic a další indicie této mineralizace v analogických mra-



Obr. 3. REE-karbonát s epidotem a REE-epidotem v mramoru bohatém silikáty, Plaveč u Znojma (odražené elektrony).

Obr. 3. REE-carbonate with epidote and REE-bearing epidote in silicate rich marble, Plaveč u Znojma (BSE).

morech u nedaleké Plavče (REE-karbonáty, REE-epidot) ukazuje, že v níže metamorfovaných partiích „vnitřních fylitů" moravika může být tento typ metamorfovaných karbonátových hornin rozšířenější. Vedle obsahu REE jsou tyto mramory charakteristické rovněž zvýšeným obsahem Fe v karbonátech (Fe-kalcit, Fe-dolomit až ankerit) a výskytem akcesorického fluoritu, příp. i rutilu. Možnému výskytu tohoto typu mramoru jak v jednotce Bílého Potoka (= ekvivalent svrchní části lukovské jednotky) ve svratecké klenbě moravika, tak i v biotitických mramorech moravika na rakouské straně (jednotka pernegg), by bylo vhodné věnovat pozornost, aby bylo zjištěno, zda jde pouze o náhodné anomálie nebo naopak o charakteristický znak těchto jednotek.

PODĚKOVÁNÍ

Práce byla podpořena výzkumným záměrem MKOCEZ 00F2402. (S. H.) a CEZ:J07/98: 143100004 (J. L.).

SUMMARY

Unusual marble relatively high in REE forms a lenticular body in biotite phyllites of the Lukov Unit in Moravicum (Thaya Dome). Marble belongs to the up to 80 m thick marble-rich strip, cropping out in the upper most part of the Pernegg–Lukov Units immediately beneath the Bites Gneiss. High content of phyllosilicates (muscovite > biotite) as well as relatively Fe-rich geochemical signature and presence of fluorite in late metamorphic assemblages are characteristic. Common transition to the calcite bearing schist in the bottom of

the layer is typical for the whole marble strip, while calcsilicate schists form the highest part of the marble body.

The studied REE-bearing calcite marble exposed near Horní Dunajovice (NE from Znojmo) with mineral assemblage Cal+Qtz+Ms+Bt+Ab±Dol and accessoric pyrite, ilmenite, apatite, rutile and dravite are metamorphosed in the biotite zone only. Carbonates are relative Fe-rich, calcites shows up to 2.3 wt. % FeO. The enrichment of REEs in marble is related to content of synchysite-(Ce), which occurs as a rare accessory mineral in calcite. Unidentified REE-carbonates (much small grain) were found in (REE-) epidote-bearing assemblage of identical marble also in the near Plaveč.

Because exist no evidence for import of iron and/or REEs from outer rocks into marbles it is assumed that these components were occurred in sedimentary protolites (limestones). Early metamorphose could carry out only redistribution of that elements and also rare REE-carbonate synchysite-(Ce) under the influence F-bearing fluids was produced. Decarbonatization of synchysite due to increase of PT conditions of metamorphism lead to successive entrance of REE into silicates (e. g. epidote near Plaveč). Similar marbles would be characteristic for other low grade marbles in metasedimentary formations conformable to Lukov Unit of Moravicum.

LITERATURA

BATÍK, P., 1984: Geologická stavba moravika mezi bítešskou rulou a dyjským masivem. – *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 59, 6: 321–330.

BATÍK, P., 1999: Moravikum dyjské klenby – kadomské předpolí variského orogenu. – *Věst. Čes. geol. Úst.*, 74, 3: 363–369.

BATÍK, P., FEDIUKOVÁ, E., 1992: Garnet chemistry as an indicator of metamorphic development and deformations of the Moravicum in the Dyje dome. – *Věst. Čes. geol. úst.*, 67, 1: 1–24.

BERNROIDER, M., 1989: Zur Petrogenese präkambrischer Metasedimente und cadomischer Magmatite im Moravikum. – *Jb. Geol. B.-A.*, 132: 349–373.

CONDIE, K. C., WILKS, M., ROSEN, D. M., ZLOBIN, V. L., 1991: Geochemistry of metasediments from the Precambrian Hapschan Series, eastern Anabar Shield, Siberia. – *Precambrian Research*, 50: 37–47.

DRÁBEK, M., ELHERS, K., ŠARBACH, M., 1986: Molybdenit und REE-Minerale in Marmoren des Moldanubikums bei Bližná/ČSSR. – *Fortschr. der Mineralogie*, 64–37.

DRÁBEK, M., FRÝDA, J., JANOUŠEK, V., 1999: Regionally metamorphosed carbonatite-like marbles from the Varied Group, Moldanubian Unit, Bohemian Massif, Czech Republic, and their Mo-Th-Nb-REE mineralization. – In Stanley, C. J. (ed.): Mineral Deposits: Procceses to Processing, Proceed. 5th SGA meeting and 10th IAGOD meeting 1999, 635–638.

FILIP, J., HOUZAR, S., SULOVSKÝ, P., 2002: Allanit a produkty jeho přeměny z pegmatitu a ze skarnu u Rešic, Západní Morava. – *Acta Mus. Morav., Sci. geol.*, 87: 87–101.

FRASL, G., 1970: Zur Metamorphose und Abgrenzung der Moravischen Zone im niederösterreichischen Waldviertel. – *Nachr. Dtsch. geol. Gesels.*, 2: 55–60.

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.

GRAUCH, R. I., 1989: Rare earth elements in metamorphic rocks. In: Lipin, B. R., McKay, G. A. (eds): Geochemistry and Mineralogy of rare earth elements. *Reviews in Mineralogy*, 21: 147–167.

HÖCK, V., 1975: Mineralzonen in Metapeliten und metapsamiten der Moravischen Zone in Niederösterreich. – *Mitt. Geol. Gesell.* (Wien), 66/67, 49–60.

HÖCK, V., 1983: Zur Geologie des Kristallins und Tertiärs der weiteren Umgebung von Eggenburg. In: Höck, V., Frasl, G., Steininger, F., Vetters, W. (eds) *Exkursionsführer. Österr. Geol. Gessel.*, 1: 42–48.

HÖCK, V., 1995: VIII. Moravosilesian Zone. Metamorphic Evolution. In: Dallmeyer, R. D., Franke, W., Weber, K. (eds.): Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe. – Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 541–553.

HÖCK, V., MARSCHALLINGER, R., TOPA, D., 1991: Granát-Biotit Geothermometrie in Metapeliten de Moravische Zone in Österreich. – *Österr. Beitr. Meteorol. Geophysic.* H3 1990, 149–167.

HOLDAWAY, M. J., 1972: Thermal stability of Al-Fe epidote as a function of O_2 and Fe content. – *Contr. Mineral. Petrol.*, 37: 304–340.

HÖGELSBERGER, H., 1987: Petrologie der Marmore und Kalksilikatgesteine der Bunten Serie (Niederösterreichisches Moldanubikum). – *MS,* Dissert. Naturwissenschaf. Fakultät Universität Wien, 145 p.

HOUZAR, S., 1984: Lokality mramorů a erlanů v moravském moldanubiku. – *Přírod. sbor. Západomorav. muz.*, 13: 9–23.

HOUZAR, S., NOVÁK, M., 1997: Charakteristika mramorů podél východního okraje Českého masívu. – *Přehled výsledků geol. prací na ochranu hornin. prostředí v roce 1996 MŽP ČR*, 54–55.

HOUZAR, S., NOVÁK, M., 2001: Mramory na jihovýchodním okraji Českého masivu. – *Vlastiv. sbor. Vysočiny, Odd. věd přír.*, 15: 3–33.

HOUZAR, S., NOVÁK, M., 2002: Marbles with carbonatite-like geochemical signature from variegated units of the Bohemian Massif, Czech Republic, and their geological significance. – *J. Czech. Geol. Soc.*, 47, 3–4, 103–109.

HSU, L. C., 1992: Synthesis and stability of bastnaesites in a part of the system (Ce, La) – F – H – C – O. – *Mineral. Petrol.*, 47: 87–101.

LIBOWITZKY, E., 1990: Precambrian Blacksands as Precursors of Magnetite and Ilmenite Bearing Chlorite-Micaschists, Bohemian Massif, Austria. – *Mineral. Petrol.*, 43: 147–160.

LIOU, J. G., 1993: Stabilities of Natural Epidotes. – *Abh. Geol. B.-A.* 49, (Proceedings of a Symposium 125 Jahre Knappenwand), 7–16.

MATĚJOVSKÁ, O., BATÍK, P., DORNIČ, J., HAVLÍČEK, P., HAZDROVÁ, M., JENČEK, V., KADLEC, E., LÍBALOVÁ, J., ŠALANSKÝ, K., VOLŠAN, V., 1987: Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000, 34–111 Višňové. – Ústř. Úst. geol., 54 p.

NOVÁK, M., 1987: Metamorfované karbonátové horniny při severovýchodním okraji moldanubika. – *Acta Mus. Morav., Sci. nat.*, 79: 5–28, Brno.

NOVÁK, M., 1988: Petrologie metamorfovaných dolomitických hornin při severovýchodním okraji moldanubika. *MS*, Kandidátská disertační práce, Př.f. UK Praha. 1–127.

NOVÁK, M., 1989: Metamorfóza dolomitických hornin při severovýchodním okraji moldanubika. *Acta Mus. Moraviae, Sci. nat.*, 74: 7–51.

PIVNIČKA, L., 1995: Metamorfóza lukovské skupiny moravika dyjské klenby. – *MS*, Diplomová práce, Ústav geol. věd Masarykovy university v Brně, 82 s.

PRECLIK, K., 1926a: Die moravische Phyllitzone im Thayatale. – *Sbor. St. geol. Úst. Čs. Republ.*, 6: 21–280.

PRECLIK, K., 1926b: Das Nordende der Thayakuppel. – *Sbor. St. geol. Úst. Čs. Republ.*, 6: 373–398.

SUN, S., 1982: Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle. – *Geochim. Cosmochim Acta*, 46: 179–192.

SUESS, F. E., 1912: Die moravischen Fenster und ihre Beziehung zum Grundgebirge es Hohen Gesenke. – *Denkschr. k. Akad. Wiss., math. naturwiss. Cl.*, 88: 1–91.

ŠTIPSKÁ, P., 1999: Thermomechanical evolution of collisional boundary during Variscan convergence – Eastern margin of the Bohemian Massif. – Unpublished PhD Thesis. MS Charles Univ. Praha.

ŠTIPSKÁ, P., SCHULMANN, K. 1995: Inverted metamorphic zonation in a basement-derived nappe sequence, eastern margin of the Bohemian Massif. – *Geol. Journal*, 30: 385–413.

TOMEK, Č., HÖCK, V., LEICHMANN, J., 1995: The origin of the Moravian Windows on the eastern margin of the Bohemian Massif. – *TERRA abstracts*, Terra nova, 7: 115.

VOCKE, R. D., HANSON, G. N., GRÜNENFELDER, M., 1987: Rare earth element mobility in the Roffna Gneiss, Switzerland. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95: 145–154.

WHITNEY, P. R., OLMSTED, J. F., 1998: Rare earth element metasomatism in hydrothermal systems: The Willsboro-Lewis wollastonite ores, New York, USA. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, 17: 2965–2977.