

CHLORITICKÝ HORNBLENDIT S OLIVÍNEM A SPINELEM Z LOUKOVIC U MORAVSKÝCH BUDĚJOVIC (MOLDANUBIKUM, ZÁPADNÍ MORAVA)

Olivine- and spinel-bearing chlorite hornblendite from Loukovice near Moravské Budějovice (Moldanubicum, western Moravia)

Stanislav Houzar¹, David Buriánek²

¹ Mineralogicko-petrografické oddělení, Moravské zemské muzeum, Zelný trh 6, 659 37 Brno; e-mail: shouzar@mzm.cz

² Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 59 Brno

(23-44 Moravské Budějovice)

Key words: spinel, olivine, chlorite hornblendite, P-T conditions, Varied Group, Moldanubicum

Abstract

Ultramafic rock was found in the Varied Group of Moldanubicum near Loukovice (western Moravia). It is composed predominantly by chlorite and amphibole, locally rich in ferroan spinel and serpentinised magnesian olivine (Fo = 73–81 mol. %). Their current mineral assemblage originally corresponded to pyroxenite peridotite (olivine and/or pyroxene-rich rock) metamorphosed under upper amphibolite facies conditions. Older mineral assemblage Ol + Cpx + Opx + Sp indicates the temperature 786–804 °C for pressures near 8 kbar. Amphibole (magnesiohornblende) and chlorite (clinocllore) formed during the metamorphosis at temperatures of 714 ± 34 °C and expected pressures around 8 kbar or less.

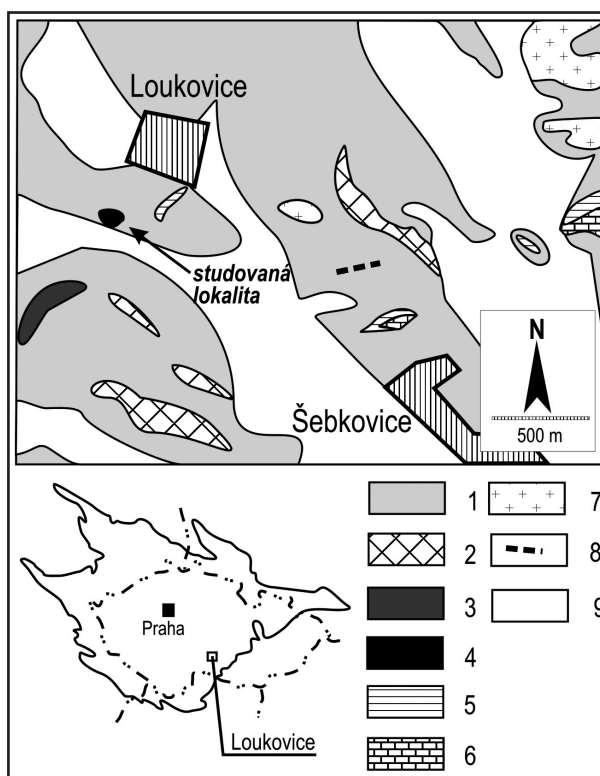
Úvod

V moldanubiku západní Moravy nacházíme často větší či menší tělesa ultrabazických hornin různého původu a složení. Nejrozšířenější jsou tyto horniny v oblasti gföhlské jednotky na východním okraji moldanubika, kde jsou většinou sdruženy s většími tělesy granulitů a nezářídka i s eklogity a byly tu intenzivně studovány (Weiss 1966, Medaris et al. 2006). Naopak zcela nestudované byly sporadické výskyty ultrabazických (ultramafických) hornin, vystupujících západně od třebíčského masivu v pestré jednotce moldanubika.

Předkládaná zpráva je věnována charakteristice jednoho z takových těles, které bylo zjištěno u Loukovic (5 km s. od Moravských Budějovic). Četné úlomky ultramafických hornin tam byly nalezeny v půdním skeletu na ploše v 50 × 50 m, asi 200 m JJZ od obce směrem k Babicím. Zvětralé úlomky podobné horniny nacházíme i v nevelké vzdálenosti od tohoto výskytu směrem k VSV, kde z ní zvětráváním vzniklo dokonce nepatrné ložisko limonitických železných rud, těžené v 19. století mělkými šachticemi (Houzar 1994).

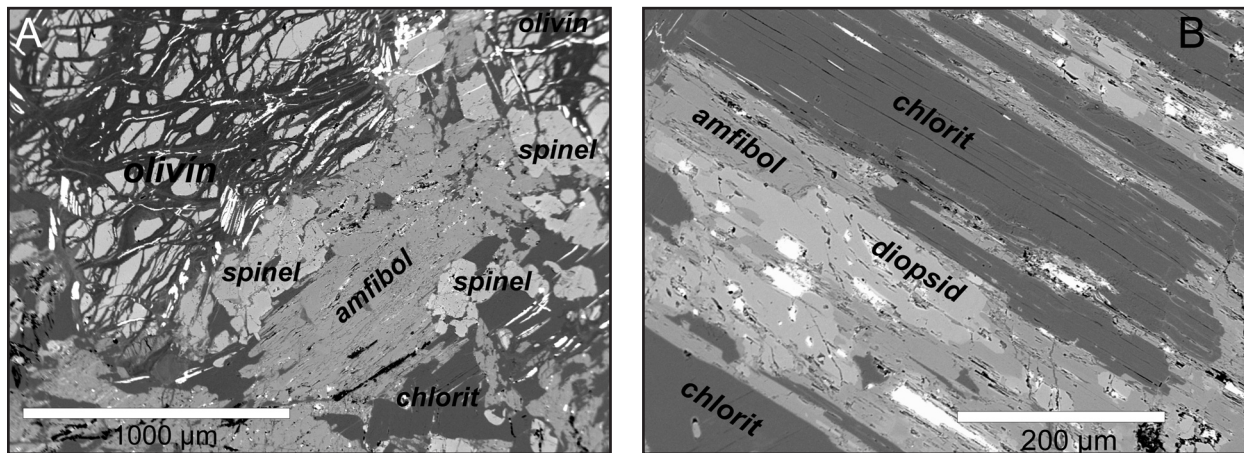
Geologická situace

Ultramafické horniny tvoří pravděpodobně jedno nebo několik menších těles, uložených v migmatitizovaných sillimaniticko-biotitických pararulách. V bezprostředním okolí lokality obsahují tyto ruly polohy grafitických kvarcitů (křemen + grafit + sillimanit ± muskovit ± K-živce) a vápenatosilikátových hornin (diopsid + wollastonit + K-živce + plagioklas ± skapolit ± kalcit ± amfibol ± granát), východněji navíc dolomitické mramory (dolomit + kalcit + forsterit + spinel + flogopit + pargasit), živcové kvarcity (křemen + K-živce ± sillimanit) a amfibolity (amfibol + plagioklas ± diopsid). Směr protažení vložek hornin je přibližně SV–JZ lokálně se stáčející až do směru SZ–JV,



Obr. 1: Geologická situace hornblenditu u Loukovic. Legenda: 1 – sillimanit-biotitická pararula, 2 – kvarcit, 3 – grafitický kvarcit, 4 – chloritický hornblendit, 5 – wollastonit-diopsidická rula, 6 – dolomitický mramor, 7 – turmalín-muskovitický granit, 8 – žíla lamproitu, 9 – kvartérní sedimenty.

Fig. 1: Geological position of hornblendite near Loukovice. Explanatory: 1 – sillimanite-biotite paragneiss, 2 – quartzite, 3 – graphitic quartzite, 4 – chlorite hornblendite, 5 – wollastonite-diopside gneiss, 6 – dolomitic marble, 7 – muscovite-tourmaline granite, 8 – lamproite dyke, 9 – Quaternary sediments.



Obr. 2: Minerální asociace hornblenditu: A – spinel-olivínová část; B – chlorit-amfibolová část s relikty diopsidu. Bílý minerál je hematit (odražené elektrony).

Fig. 2: Mineral assemblage of hornblende: A – spinel-olivine part; B – chlorite-amphibole part with diopside relics. White mineral is hematite (BSE).

převažující úklon k JV (obr. 1). Intruzivní horniny zastupují ojedinělé aplity a turmalinické pegmatity; za zmínku stojí výskyt lamproitu v analogické horninové sekvenci u blízkých Šebkovic, popsany Krmíčkem et al. (2011).

Metodika

Asociace minerálů byla studována na elektronové mikroskopie Cameca SX-100 ve vlnově disperzním módu v Laboratoři elektronové mikroskopie a mikroanalýzy, společném pracovišti Masarykovy univerzity a České geologické služby, Brno (operátor P. Gadas). Minerály byly analyzovány při urychlovacím napětí 15 kV, při proudu svazku 10 nA, velikosti svazku 4 µm, za použití následujících standardů: Na – albit, Si – wollastonit, Ca, Al – grossular, K – sanidin, Cr – chromit, Mg – MgO, spinel, Ba – benitoit, Ti – titanit, Fe – almandin, Mn – spessartin, rodonit, Ni – modifikovaný Ni, V – vanadinit, Cl – NaCl, Zn – gahnit, P – fluorapatit, F – topaz. Naměřená data byla korigována automatickou PAP korekcí (Pouchou and Pichoir 1985). Při výpočtech P–T podmínek metamorfózy pro minerální asociaci peridotitu byl použit program

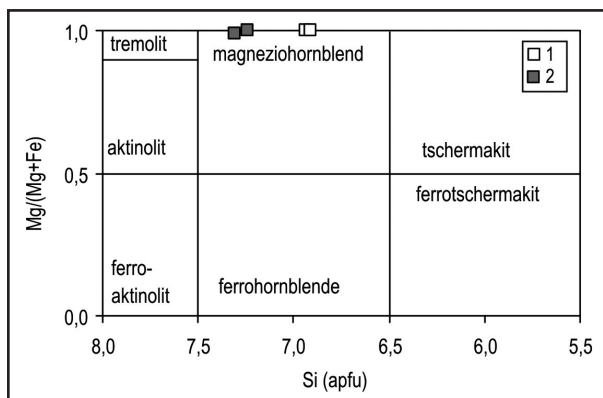
THERMOCALC 3.33 (Powell a Holland 1994). Aktivitní koeficienty byly vypočteny programem AX (Holland a Powell 1998). Protože v hornině nebyly nalezeny žádné karbonáty, byly všechny kalkulace prováděny v systému, kde fluidní fázi tvoří pouze H₂O. Použité zkratky minerálů jsou podle Whitney – Evans (2010).

Petrografie a minerální asociace

Hornina je zelenočerné barvy, převážně masivní, místy se však vyznačuje i výraznější foliací a v ojedinělých případech má dokonce až vzhled drobně provrásněné zelené břidlice. Mikroskopicky má lepidoblastickou až nematoblastickou strukturu, s relikty granoblastické struktury, závislou na poměru amfibolu, chloritu, spinelu, pyroxenu a olivínu.

Mineralogicky je značně heterogenní (obr. 2a, b). Objemově převládajícími minerály v hornině jsou amfiboly a chlorit (~ 95 obj. %), spinel se serpentinizovaným olivínem jsou hojnější pouze lokálně (< 5 obj. %). Vzácnější jsou pyroxeny, hojnější diopsid v asociaci s amfibolem a enstatit, zjištěný ojediněle v asociaci s olivínem. Akcesorický je podíl ilmenitu a výjimečně byl zjištěn turmalín o složení dravit-uvit.

Amfibol tvoří tmavozelené jehlicovité krystaly (obr. 2a) až několik mm velké. Je mírně zonální (tab. 1), a chemickým složením odpovídá převážně *magnesiohornblendu* ($X_{Mg} \sim 1,0$). Drobné jehlice na okrajích zrn (obr. 3) mají vyšší obsahy Si (6,92–7,33 apfu) a nižší obsahy Na (0,10–0,16 apfu). V porovnání např. s amfibolem olivínického hornblenditu z Maříže (Ulrych et al. 2010) jsou amfiboly z Loukovic zřetelně chudší Ti, Cr a Na. *Chlorit* (klinochlor) šedozelené barvy v některých částech horniny výrazně převládá. Tvoří lupenité agregáty srůstající s amfibolem, který nezdávka obsahuje starší reliktní zrna *diopsidu* chudého Fe a Al (0,084 apfu Fe; 0,053 apfu Al); obsah Na v diopsidu pod mezí detekce. Chlorit lokálně obrůstá a zatlačuje zrna spinelu. *Olivín*, zjištěný většinou v asociaci se spinelem, má složení železnatého forsteritu ($Fo = 73–81$ mol. %), nízký podíl Ni (0,002–0,003 apfu Ni)



Obr. 3: Klasifikační diagramy (Mg/(Fe+Mg) vs. Si a K+Na vs. Si) pro amfiboly (Leake et al. 1997). Chemické složení (1) jádra a (2) okraje porfyroblastů.

Fig. 3: Classification diagrams (Mg/(Fe+Mg) vs. Si and K+Na vs. Si) of amphiboles (Leake et al. 1997). Chemical composition from the (1) core and (2) rim of the porphyroblasts.

	amfibol	amfibol	chlorit hm. %	chlorit	turalín
SiO ₂	51,00	53,23	29,24	29,54	37,35
TiO ₂	0,05	0,19	0,05	0,03	0,11
Al ₂ O ₃	9,33	6,06	21,28	22,29	31,16
Cr ₂ O ₃	b. d.	0,01	0,13	b. d.	b. d.
V ₂ O ₃	0,03	0,05	0,43	b. d.	b. d.
FeO	4,96	4,15	6,55	6,56	3,61
MnO	0,20	0,08	0,08	0,06	b. d.
MgO	19,81	21,18	29,37	30,18	10,69
CaO	12,29	13,05	b. d.	b. d.	2,79
NiO	0,04	0,02	0,10	0,07	b. d.
Na ₂ O	0,55	0,38	0,05	b. d.	1,14
K ₂ O	0,15	0,11	b. d.	b. d.	b. d.
H ₂ O *	2,12	2,14	12,53	12,77	3,7
B ₂ O ₃ **					10,85
F	0,11	0,07			0,09
O=F	-0,05	-0,03			-0,04
Suma	100,59	100,7	99,81	101,5	101,46
Si ⁴⁺	7,054	7,328	2,798	2,773	5,981
Ti ⁴⁺	0,005	0,020	0,004	0,002	0,013
Al ³⁺	1,521	0,983	2,400	2,466	5,881
Cr ³⁺		0,001	0,010		
V ³⁺	0,003	0,006	0,033		
Fe ²⁺	0,574	0,478	0,524	0,515	0,483
Mn ²⁺	0,023	0,009	0,006	0,005	
Mg ²⁺	4,085	4,347	4,19	4,224	2,552
Ca ²⁺	1,821	1,925			0,479
Ni ²⁺	0,004	0,002	0,008	0,005	
Na ⁺	0,147	0,101	0,009		0,354
K ⁺	0,026	0,019			
H ⁺	1,952	1,970	8	8	3,954
B ³⁺					3,000
F ⁻	0,048	0,030			0,046
O ²⁻	23,952	23,97			30,954
CATSUM	15,265	15,218	9,982	9,991	18,743
AN SUM	24	24	18	18	31

* dopočteno ze stechiometrie

**dopočteno; B = 3

Tab. 1: Chemické analýzy amfibolů, chloritů a turalínu.

Tab. 1: Chemical analyses of amphiboles, chlorite and tourmaline.

a většinou podlehl silné serpentinizaci. Ve srůstech s olivínem je ojedinělý *enstatit* (0,193 apfu Fe; 0,048 apfu Al).

Spinel v izometrických zrncích až srůstech oktaedrických krystalů velikosti až 1 mm má zelenou barvu. V jeho složení dominuje spinelová složka s vyšším podílem hercynitu ($X_{\text{Fe}} = 30-35$), nízký je podíl složky magnetitové a gahnitové (tab. 2 – spinely). Za zmínku stojí jen mírně zvýšený obsah Cr a Ni (0,002–0,007 apfu Cr; 0,004 apfu Ni), čímž se výrazně odlišuje od spinelů dolomitických mramorů, resp. hořečnatých skarnů okolního moldanubika. Pro srovnání byl studován serpentinit s podobnou minerální asociací (Chl + Ol + Tr + Srp) z lokality Rodkov v moldanubiku. Tato hornina však obsahuje hlavně chromit (s podstatně vyššími obsahy Cr 1,182–1,264 apfu a Ni 0,001 apfu) a mladší magnetit. Chromem jsou bohaté i spinely peridotitů typu Mohelno; ty však nejsou v asociaci s amfiboly (Medaris et al. 2005). Akcesorický *ilmenit* je chudý Mg (< 0,079 apfu Mg), zcela výjimečná zrna *turalínu* (*dravit-uvit*) uzavíraná v chloritu náležejí nejspíše

	spinel	spinel	olivín hm. %	olivín	diopsid	enstatit
SiO ₂	b. d.	b. d.	38,95	38,65	54,13	55,40
TiO ₂	0,03	0,03	b. d.	b. d.	0,21	0,05
Al ₂ O ₃	65,43	64,89	b. d.	b. d.	1,24	2,32
Cr ₂ O ₃	0,16	0,11	b. d.	b. d.	b. d.	0,02
V ₂ O ₃	0,03	0,08	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.
Fe ₂ O ₃ *	2,02	2,01				
FeO	14,49	15,70	18,67	21,11	2,80	13,12
MnO	0,20	0,21	0,46	0,29	0,09	0,31
MgO	18,03	17,13	43,43	39,83	17,63	29,48
CaO	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.	25,43	b. d.
NiO	0,21	0,21	0,09	0,16	b. d.	b. d.
ZnO	0,14	0,14	b. d.	b. d.	b. d.	b. d.
Suma	100,74	100,5	101,62	100,04	101,55	100,70
Si ⁴⁺			0,981	0,999	1,948	0,977
Ti ⁴⁺	0,001	0,001			0,006	0,001
Al ³⁺	1,956	1,956			0,053	0,048
Cr ³⁺	0,003	0,002				
V ³⁺	0,001	0,002				
Fe ³⁺	0,039	0,039				
Fe ²⁺	0,307	0,336	0,393	0,456	0,084	0,193
Mn ²⁺	0,004	0,005	0,010	0,006	0,003	0,005
Mg ²⁺	0,682	0,653	1,631	1,535	0,946	0,775
Ca ²⁺					0,980	
Ni ²⁺	0,004	0,004	0,002	0,003		
Zn ²⁺	0,003	0,003				
CATSUM	3	3	3,018	3,001	4,021	1,999
AN SUM	4	4	4	4	6	3

*rozpočteno na 3 kationty

Tab. 2: Chemické analýzy spinelu, olivínu a pyroxenů.

Tab. 2: Chemical analyses of spinel, olivine and pyroxenes.

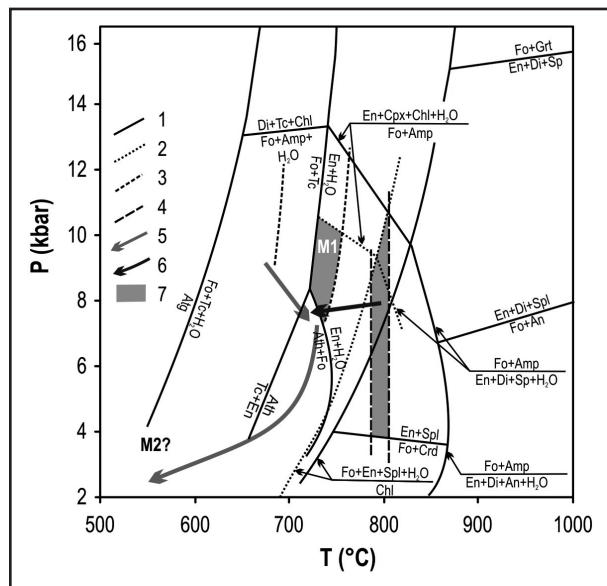
k retrográdní fázi vývoje horniny. Hojným sekundárním minerálem je *hematit*.

Diskuze

a) Charakter protolitu

V případě studované amfibolické horniny, vyskytující se v pararulách pestré jednotky moldanubika, mohou být předběžně uvažovány čtyři hlavní možnosti vzniku a to: (a) regionální metamorfózou sedimentu se specifickým chemickým složením, (b) metamorfózou hořečnatého skarnu, (c) retrográdní metamorfózou plášťového peridotitu, (d) metamorfózou olivínem a pyroxenem bohaté kumulátové horniny (kumulátový peridotit).

Přestože chybí celková chemická analýza horniny, lze pravděpodobně vyloučit možnost (a), neboť nebyly zjištěny žádné náznaky přechodu studované horniny do okolních hornin (z hlediska minerální asociace např. přítomnost slídků, živců, křemene, karbonátů). Chemické složení minerálů (složení spinelu, podíl Ni v olivínu) neodpovídá ani hořečnatému skarnu (b). Pozorovaná minerální asociace Ol + Cpx + Opx + Sp mohla vzniknout metamorfózou peridotitu s menším podílem ortopyroxenu, původem ze svrchního pláště. Pouze na základě analogie s podobnými peridotity v jiných částech moldanubika (Machart 1982, Nakamura et al. 2004) by mohl spinel vznikat jako produkt dekompresní reakce konzumující granát (patrně Fo + Grt → En + Di + Sp (1); obr. 4). Spinely



Obr. 4: Fázový diagram ukazující minerální asociace studovaného hornblenditu: 1 – experimentálně zjištěné křivky podle Jenkinse (1981) pro systém CMASH; 2 – reakce vypočtené pro studovanou horninu pomocí programu THERMOCALC; 3 – rozsah teplot vypočtený programem THERMOCALC pro minerální asociaci (M1): Amp + Chl; 4 – rozsah teplot vypočtený Ol-Spl termometrem (Ballhaus et al. 1991); 5 – P-T dráha pro horniny pestré skupiny (Petraakis, 1997, Racek et al. 2006); 6 – P-T dráha pro studovaný hornblendit; 7 – předpokládané P-T podmínky pro primární minerální asociaci (Cpx+Opx+Ol+Sp) a metamorfni minerální asociaci (Amp+Chl) ve studovaném hornblenditu.

Fig. 4: Phase diagram showing mineral assemblage studied hornblende: 1 – experimentally determined curves, after Jenkins (1981) for system CMASH; 2 – reaction calculated for mineral assemblage studied rock by THERMOCALC; 3 – temperature range calculated by THERMOCALC for mineral assemblage (M1): Amp + Chl; 4 – temperature range calculated by Ol-Spl thermometer (Ballhaus et al. 1991); 5 – P-T path for rocks Varied unit (Petraakis, 1997, Racek et al. 2006); 6 – P-T path for studied hornblende; 7 – estimated P-T conditions for primary mineral assemblage (Cpx+Opx+Ol+Sp) and metamorphic mineral assemblage (Amp + Chl) from studied hornblende.

v peridotitech z moldanubika ale mají obvykle podstatně vyšší obsahy Cr (např. Ackerman et al. 2009). Tato skutečnost byla potvrzena studiem chemického složení spinelu v serpentinitu s podobnou minerální asociací jako studovaná hornina, který pocházel z lokality Rodkov ve strážeckém moldanubiku. Během metamorfózy dochází často ke vzniku chromem bohatého magnetitu nebo chromem bohatého spinelu na úkor chromitu (Farahat 2008). Tímto způsobem však většinou vznikají zonální spinelidy, které obsahují v jádrech relikty původního chromitu. Také složení olivínu (Fo = 73–81 mol. %) se mírně liší od olivínu v peridotitech moldanubika (Fo = 81–91 mol. %, např. Ackerman et al. 2009).

Na základě těchto zjištění se prozatím přikláníme k závěru, že protolitem studované horniny byl kumulát bohatý olivínem a pyroxenem, který vznikl krystalizací bazického magmatu (d). Tělesa kumulátových gaber kadomského stáří byla již dříve popsána z moldanubika

Ulrychem et al. (2010). Pro potvrzení této hypotézy bude nutné studium chemického složení celé horniny.

b) P-T podmínky

Ve studovaném chloritickém hornblenditu s olivínem a spinelem nacházíme jen vzácné relikty starší minerální asociace Ol + Cpx + Opx + Sp (I). Na základě spinel-olivínového termometru (Ballhaus et al. 1991) byly vypočteny teploty 786–804 °C (při předpokládaném tlaku kolem 8 kbar, obr. 4). Tyto minerály můžeme interpretovat jako produkt magmatické krystalizace. Původní chemické složení minerálů je však pravděpodobně v důsledku metamorfni přeměn částečně modifikováno (rekvilibrace v podmínkách subsolidu). Olivín navíc mohl vzniknout jako produkt metamorfni reakcí.

Ve studované hornině dominuje metamorfni minerální asociace, která je reprezentována amfibolem, chloritem a minerály serpentínové skupiny. Spinel je často uzavírán většími lupínky chloritu, což indikuje reakci $Fo + En + Sp + H_2O \rightarrow Chl$ (2). Pro studovanou horninu (tedy teploty ~ 800 °C) byla tato reakce vypočtena pomocí programu THERMOCALC (Powell a Holland 1994) a zahrnuje do vyšších tlaků (kolem 10 kbar) než experimentálně zjištěná reakce (2) uváděná Jenkinsem (1981, obr. 4). Na kontaktu s chloritem je diopsid lemován amfibolem, což indikuje metamorfni reakci $Opx + Cpx + Chl + H_2O \rightarrow Amp + Fo$ (3). Horniny s podobnou minerální asociací jako studované hornblendity jsou typické pro metamorfózu ve vyšší amfibolitové facii (Jenkins 1981). Spodní teplotní hranice této minerální asociace se pohybuje kolem 700 °C (Jenkins 1981), protože je v hornině stále přítomen ortopyroxen (enstatit). Tento předpoklad ovšem platí pouze v případě, že v systému byla během metamorfni reakce přítomna voda.

Pro minerální asociaci stabilní během metamorfózy M1 (Amp + Chl + Ilm) byly vypočteny teploty 714 ± 34 °C při předpokládaném tlaku kolem 8 kbar pomocí programu THERMOCALC (Powell a Holland 1994). Tato hodnota zhruba odpovídá teplotám vrcholu metamorfózy metapelitů (650–700 °C) uváděným pro horniny pestré skupiny moldanubika Rackem et al. (2006) v oblasti drosendorfského okna. Podobné maximální teploty (~ 650–750 °C) byly také zjištěny pro metamorfózu mramorů při západním okraji třebíčského masivu, avšak při nižším $P \leq 4$ kbar (Houzar a Novák 2006).

Olivín je částečně zatlačován minerály serpentínové skupiny a spinel je často lemován drobnými mladými chlority. Tyto přeměny souvisí s metamorfózou (M2) v podmínkách svrchní kůry. Pro vznik antigoritu se teploty pohybují kolem 520–550 °C (obr. 4) za předpokladu vyšší aktivity H_2O .

Závěr

V pestré jednotce moldanubika u Loukovic (západní Morava) byla zjištěna metamorfovaná ultramafická hornina, kterou by bylo možné petrograficky nejpřesněji klasifikovat jako chloritický hornblendit se spinelem a olivínem. Její současná minerální asociace odpovídá metamorfóze kumulátové horniny bohaté olivínem a pyroxenem v pod-

mínkách vyšší amfibolitové facie. Starší minerální asociace je patrně produktem magmatické krystalizace (Ol + Cpx + Opx + Sp) a indikuje teploty 786–804 °C (za předpokládaného tlaku kolem 8 kbar). Amfibol a chlorit vznikaly při následující metamorfóze za teplot 714 ± 34 °C při předpokládaném tlaku kolem 8 kbar nebo nižším.

Zjištěné metamorfní teploty metamorfózy jsou podobné jako vrcholné podmínky vypočtené pro horniny pestré skupiny v rakouské části moldanubika a drosendorfského okna 650–800 °C a 7–9 kbar (Petraakis 1986,

Büttner a Kruhl 1997, Petrakakis 1997, Racek et al. 2006). Pravděpodobným protolitem této horniny byl ultrabazický kumulát, který vznikl krystalizací bazického magmatu a byl tektonicky inkorporován do střední kůry při variské orogenezi.

Poděkování

Práce byla financována výzkumnou organizací MK 000094862 a z výzkumného záměru ČGS MZP0002579801, regionální mapování brněnské aglomerace, č. úkolu 390003.

Literatura

- Ackerman, L. – Jelínek, E. – Medaris, G. – Ježek, J. – Siebel, W. – Strnad, L. (2009): Geochemistry of Fe-rich peridotites and associated pyroxenites from Horní Bory, Bohemian Massif: Insights into subduction-related melt-rock reactions. – *Chemical Geology*, 259, 15–167.
- Ballhaus, C. – Berry, R. F. – Green, D. H. (1991): High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle. – *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 107, 27–40.
- Büttner, S. – Kruhl, J. H. (1997): The evolution of a late-Variscan high-T/low-P region: the southeastern margin of the Bohemian Massif. – *Geologische Rundschau*, 86, 21–38.
- Farahat, E. S. (2008): Chrome-spinels in serpentinites and talc carbonates of the El Ideid-El Sodmein District, central Eastern Desert, Egypt: their metamorphism and petrogenetic implications. – *Chemie der Erde - Geochemistry*, 68(2), 193–205.
- Holland, T. J. B. – Powell, R. (1998): An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. – *Journal of Metamorphic Geology*, 16, 309–343.
- Houzar, S. (1994): Železná ruda u Loukovic – Naším krajem 4, 6, 76–77.
- Houzar, S. – Novák, M. (2006): Clintonite-bearing assemblage in chondrodite marbles from the Moldanubian Zone, western Moravia, Bohemian Massif. – *Journal of the Czech Geological Society*, 51, 3–4, 249–258.
- Jenkins, D. M. (1981): Experimental phase relations of hydrous peridotites modelled in the system H₂O-CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂. – *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 77, 166–176.
- Krmíček, L. – Cempírek, J. – Havlín, A. – Přichystal, A. – Houzar, S. – Krmíčková, M. – Gadas, P. (2011): Mineralogy and petrogenesis of a Ba-Ti-Zr-rich peralkaline dyke from Šebkovice (Czech Republic): Recognition of the most lamproitic Variscan intrusion. – *Lithos*, 121, 74–86.
- Leake, B. E. – Woolley, A. R. – Arps, C. E. S. – Birch, W. D. – Gilbert, M. C. – Grice, J. D. – Hawthorne, F. C. – Kato, A. – Kisch, H. J. – Krivovichev, V. G. – Linthout, K. – Laird, J. – Mandarino, J. A. – Maresch, W. V. – Nickel, E. H. – Rock, N. M. S. – Schumacher, J. C. – Smith, D. C. – Stephenson, N. C. N. – Ungaretti, L. – Whittaker, E. J. W. – Youzhi, G. (1997): Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. – *American Mineralogist*, 82, 1019–1037.
- Machart, J. (1984): Ultramafic rocks in the Bohemian part of the Moldanubicum and central Bohemian islet zone (Bohemian Massif). – *Krystalinikum*, 17, 13–32.
- Medaris, G. jr. – Wang, H. – Jelínek, E. – Mihaljevič, M. – Jakeš, P. (2005): Characteristics and origins of diverse Variscan peridotites in the Gföhl Nappe, Bohemian Massif, Czech Republic. – *Lithos*, 82, 1–23.
- Medaris, L. G. – Beard, B. L. – Jelínek, E. (2006): Mantle-Derived, UHP Garnet Pyroxenite and Eclogite in the Moldanubian Gföhl Nappe, Bohemian Massif: A Geochemical Review, New P-T Determinations, and tectonic Interpretation. – *International Geology Review*, 48, 765–777.
- Nakamura, D. – Svojtka, M. – Naemura, K. – Hirajima, T. (2004): Very high-pressure (> 4 GPa) eclogite associated with the Moldanubian Zone garnet peridotite (Nové Dvory, Czech Republic). – *Journal of Metamorphic Geology*, 22, 593–603.
- Petrakakis, K. (1986): Metamorphism of high-grade gneisses from the Moldanubian Zone, Austria, with particular reference to garnets. – *Journal of Metamorphic Geology*, 4, 323–344.
- Petrakakis, K. (1997) Evolution of Moldanubian rocks in Austria: review and synthesis. – *Journal of Metamorphic Geology*, 15, 203–222.
- Pouchou, J. L. – Pichoir, F. (1985): “PAP” procedure for improved quantitative microanalysis. – *Microbeam Analysis*, 20, 104–105.
- Powell, R. – Holland, T. (1994): Optimal geothermometry and geobarometry. – *American Mineralogist*, 79, 120–133.
- Racek, M. – Štípská, P. – Pitra, P. – Schulmann, K. – Lexa, O. (2006): Metamorphic record of burial and exhumation of orogenic lower and middle crust: a new tectonothermal model for the Drosendorf window (Bohemian Massif, Austria). – *Mineralogy and Petrology*, 86, 221–251.
- Ulrych, J. – Ackerman, L. – Kachlík, V. – Hegner, E. – Balogh, K. – Langrová, A. – Luna, J. – Fediuk, F. – Lang, M. – Filip, J. (2010): Constraints on the origin of gabbroic rocks from the Moldanubian-Moravian units boundary (Bohemian Massif, Czech Republic and Austria). – *Geologica Carpathica*, 61(3), 175–191.
- Weiss, J. (1966): Ultrabasic rocks of the West Moravian Crystalline complex. – *Krystalinikum*, 4, 171–184.
- Whitney, D. L. – Evans, B. W. (2010): Abbreviations for names of rock-forming minerals. – *American Mineralogist*, 95(1), 185–187.
- Witt-Eickschen, G. E. – Seck, H. A. (1991): Solubility of Ca and Al in orthopyroxene from spinel peridotite: an improved version of an empirical geothermometer. – *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 106, 431–439.