

GEOLOGICKÁ POZICE, PETROLOGIE A GEOCHEMIE HORNIN DURBACHITOVÉ SÉRIE V OKOLÍ NOVÉHO MĚSTA NA MORAVĚ

GEOLOGICAL POSITION, PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY OF DURBACHITE BODIES
IN THE VICINITY OF NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ

MAREK DOSBABA, PETR SULOVSKÝ

Abstract:

Dosbaba, M., Sulovský, P. 2006: Geological position, petrology and geochemistry of durbachite bodies in the vicinity of Nové Město na Moravě. – Acta Mus. Morav., Sci. geol., 91, 177-190 (with English abstract).

Geological position, petrology and geochemistry of durbachite bodies in the vicinity of Nové Město na Moravě

Three bodies of ultrapotassic rocks (durbachites) crop out in the vicinity of Nové Město na Moravě. The western most body dips to the NW, while the orientation of other bodies is not clear. Geologic position is comparable with Třebíč pluton. The chemistry of these rocks can be explained by simple magma mixing proposed by HOLUB (1997). One of the bodies is unlike the others peraluminous, which is caused by assimilation of surrounding metamorphic rocks. Fractional crystallization of mafic minerals (hornblende) is also probable. Crystallization conditions were estimated on the basis of hornblend - plagioclase thermometer, zircon saturation temperature and equilibrium pairs of amphibol and biotite. The inferred temperatures ranged between 700-830 °C. Water contents in the magma could reach up to 8 wt. %. All of the bodies underwent subsolidus deformation in the temperature range 300-400 °C resulting in the occurrence of slip cleavage dipping to the NW at ca. 30° (sinistral strike slip in a NW-SE direction) which could be attributed to the gravitational collapse of Variscan orogeny in the Lower Carboniferous.

Key words: durbachite series, petrology, geochemistry, Strážek, moldanubicum, PT conditions

Marek Dosbaba, Petr Sulovský, Institute of Geological Sciences, Masaryk University Brno, Kotlářská 2, Brno, 637 11, Czech Republic, mardos@sci.muni.cz

Úvod

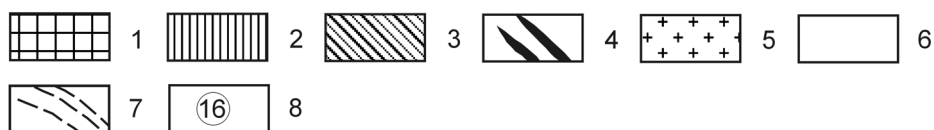
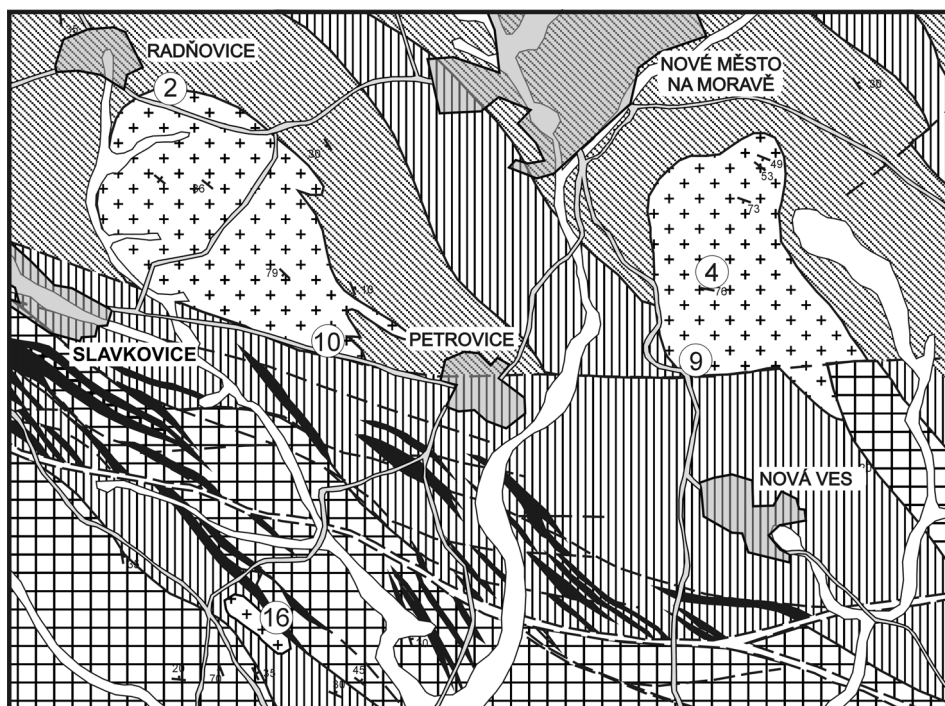
Durbachity byly poprvé popsány SAUEREM (1893) jako neobvyklé melasyenitové horniny pocházející z okolí Durbachu v německém pohoří Schwarzwald. Durbachity jako ultrapotassické horniny byly FOLEYEM *et al.* (1987) definovány jako draslíkem bohaté horniny splňující následující podmínky: $K_2O > 3$ hm. %; $MgO > 3$ hm. %, poměr $K_2O/Na_2O > 2$. HOLUB (1997) zavedl do literatury pojem durbachitová série, který zahrnoval i leukokratičtější horniny geochemicky blízké klasickým durbachitům. Chemismus hornin durbachitové série je velmi specifický a vyznačuje se zvýšenými obsahy jak LIL prvků (zejména K, Rb, Ba) tak i prvků naznačujících souvislost s pláštěm (Cr, Ni). Z toho vyplývá určitá „schizofrenita“ těchto hornin. HOLUB (1997) vysvětluje chemismus pomocí míšení korové a obohacené plášťové komponenty. Těto teorii neodporují ani výsledky izotopických studií (HOLUB a JANOUŠEK 2003, JANOUŠEK 2000).

V Českém masivu vystupují durbachity ve dvou relativně vzdálených oblastech výskytu – střední a jižní Čechy a západní Morava. Pozornost byla doposud věnována zejmé-

na rozsáhlejších výskytům, masivu Čertova břemene a třebečskému plutonu (HOLUB 1997, HOLUB *et al.* 1997, ZACHOVALOVÁ *et al.* 1999, KOTKOVÁ *et al.* 2003 *atd.*). Poněkud stranou zájmu pak zůstávala drobnější tělesa těchto hornin rozšířená zejména v jižních Čechách a v blízkém i vzdálenějším sv. okolí třebečského plutonu. Tento článek se věnuje horninám durbachitové série v okolí Nového Města na Moravě, která byla zpracována pouze VANĚČKOVOU-VALISOVOU (1984) v rámci všech západomoravských durbachitů. MLYNÁŘ (1998) se na Novoměstsku věnoval tektonickému postižení hornin durbachitové série.

Geologická situace

V nejbližším okolí Nového Města na Moravě se nacházejí tři tělesa hornin durbachitové série (viz. obr. 1). Těleso mezi Radňovicemi a Petrovicemi (dále označováno jako ra-



br. 1. Geologická mapa okolí Nového Města na Moravě. 1 - migmatizované biotitické pararuly, 2 - svorovité migmatizované biotitické ruly; 3 - okrajové moldanubické ruly (viz. text); 4 - amfibolity a erlány; 5 - horniny durbachitové série; 6 - kvartér; 8 - místa odběrů vzorků. (upraveno podle PLHALA *et al.* 1967).

Fig. 1. Geological sketch of Nové Město na Moravě vicinity. 1 - migmatitized biotitic gneiss, micaschist like migmatitized biotitic gneiss, 3 - marginal moldanubian gneiss (see text), 4 - erlan and amphibolite, 5 - durbachite series rocks, 6 - quaternary sediment, 7 - faults, 8 - sampling points (according PLHALA *et al.* 1967).

dňovické) a těleso jv. od Nového Města na Moravě (dále označované jako novoměstské) jsou mírně protažena v S–J směru a rozloha každého z nich mírně přesahuje 1 km². Třetí těleso sv. od obce Hlinné (dále označované jako hlinenské) je protaženo ve směru SZ–JV a jeho délka činí jen cca 300 m. Všechna tělesa s výjimkou hlinenského prorážejí různě pokročilé biotitické migmatity strážeckého moldanubika označované jako tzv. okrajové ruly (KALÁŠEK a WEIS 1957).

V prostoru jižně od obou větších těles probíhá slavkovicko-škrdlovická poruchová zóna tvořená několika tektonickými liniemi nižšího řádu. Nadložní omezení poruchové zóny představuje petrovický zlom (ZSZ–VJV, sklon 70–80° k SV) a podložní zlom slavkovický (ZSZ–VJV, sklon 25–50° k SV). Celé poruchové pásmo má přesmykový charakter (ŠURÁŇ 1969).

Západní těleso je z J omezeno petrovickým zlomem (PLHAL *et al.* 1967). Tato tektonická linie pokračuje dále k východu, kde porušuje východní těleso.

V průběhu vyhledávacích prací na radioaktivní suroviny koncem šedesátých let bylo v rámci sledování průběhu zrudnělého petrovického zlomu několikrát provrtáno západní těleso (PLHAL *et al.* 1967). Bylo zachyceno, jak tektonické tak i intruzivní omezení. Petrovický zlom omezuje západní těleso pouze v jeho povrchové části. Podložní intruzivní kontakt zastížený důlními pracemi na ložisku Petrovice má orientaci 320/30. Východní okraj západního tělesa představuje podložní kontakt (PLHAL *et al.* 1967). V podloží petrovického zlomu byla vrtem S-40 zachycena tektonicky omezená 24 m mocná poloha hornin DS v hloubce 765,5 m. Podobný výskyt byl zachycen i překopem JSIII.

Metodika

Ze studovaných hornin bylo připraveno cca 20 výbrusových preparátů. Byla provedena planimiterická analýza za účelem klasifikace studovaných hornin (cca 5000 bodů /vzorek).

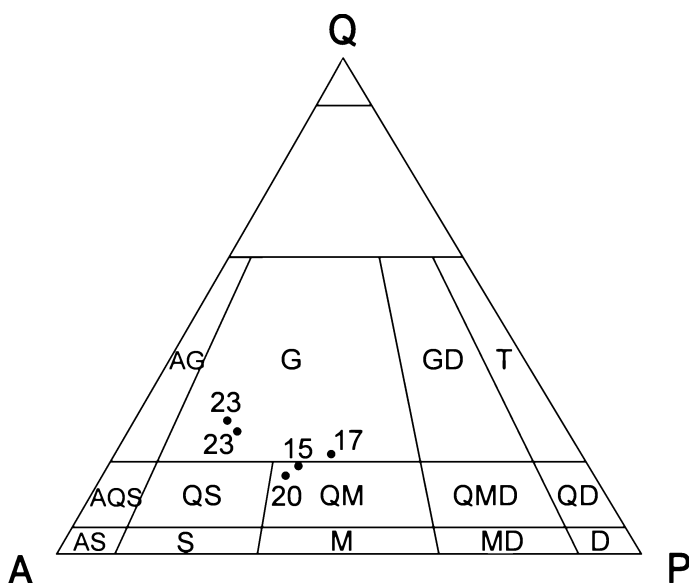
Celkem bylo odebráno 5 vzorků na geochemickou analýzu o objemu cca 5 kg (lokalizace viz. obr. 1). Tyto byly následně mlety na planetovém mlýnku. Hmotnost vzorků byla kvartováním snížena až na 20 g, které byly pomlety na analytickou jemnost na achátovém mlýnku. Silikátová analýza byla provedena společností ACME Laboratories ve Vancouveru (Kanada) (viz. tab. 3). Pro srovnání s trebičským plutonem byl použit nepublikovaný soubor dat Dr. Sulovského (Cr byl stanoven odlišnou cestou). Ze zbylého objemu mletých vzorků byly připraveny zrnové preparáty.

Bodové analýzy na elektronové mikrosondě provedl RNDr. Sulovský, Ph.D. na přístroji Cameca SX 100 na Pracovišti elektronové mikroanalýzy Ústavu věd o Zemi PrF MU Brno za následujících podmínek: vlnově disperzní mód, urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 10–40 nA, průměr svazku 1–10 μm. Na tomto přístroji byly studovány jak leštěné výbrusy, tak i nábrusy a zrnové preparáty.

Petrografie

Podle Streckeisenovy klasifikace (1976) horniny odpovídají složení amfibol-biotitického granitu až kvarcmonzonitu (viz. obr. 2). Číslo tmavosti se pohybuje v rozmezí 15 (lok. č. 2) až 23 (lok. č. 4 a 10).

Horniny jsou různě intenzivně deformované, což se projevuje přítomností ploch kliváže vyvinutých ve vzdálenosti cca 2 cm. Tyto diskontinuity jsou patrné jak makroskopicky tak i mikroskopicky a to na všech lokalitách. Na výchozech jsou tyto plochy dokonce měřitelné. Průměrná orientace ploch kluzu je 346/28. Rýhování vyvinuté na těchto plochách má průměrnou orientaci 311/24 (část měření pro výpočet průměrů byla převzata od



Obr. 2. Modální složení studovaných hornin podle STRECKEISENA (1976). Čísla představují procentuální podíl mafických minerálů.
Fig. 2. Modal composition of studied rocks according to STRECKEISEN (1976). Numbers are percentage contents of mafic minerals.

MLYNÁŘE 1998). S-C stavby indikují poklesový charakter pohybu. Odchýlení orientace rýhování od spádnice (35°) poukazuje na existenci další složky pohybu. Jednalo se o levostranný pokles. Deformace je nejintenzivnější v nejnižším hlinněnském tělese.

V blízkosti petrovického zlomu byla v obou větších tělesech pozorována alterace způsobená průnikem kalcitových žilek sledujících plochy kluzu.

Horniny jsou středně až hrubě zrnité, porfyrické s hypautomorfně omezenou základní hmotou.

Charakteristicky jsou zastoupeny porfyrické vyrostlice alkalického živce o velikosti až 3,5 cm. Tato zrna bývají zpravidla koncentricky zonální a karlovarsky zdvojitělá. Často uzavírají zrna hypautomorfně omezeného plagioklasu a biotitu. Typický je také výskyt perthitu a lokálně byl v intenzivně namáhaných místech pozorován i tzv. plaménkový perthit. Obsah ortoklasové komponenty se pohybuje v rozmezí Or_{82} až Or_{99} při průměru Or_{90} . Vyrostlice bývají někdy vlivem deformace popraskané a jsou „obtékány“ méně rigidní základní hmotou.

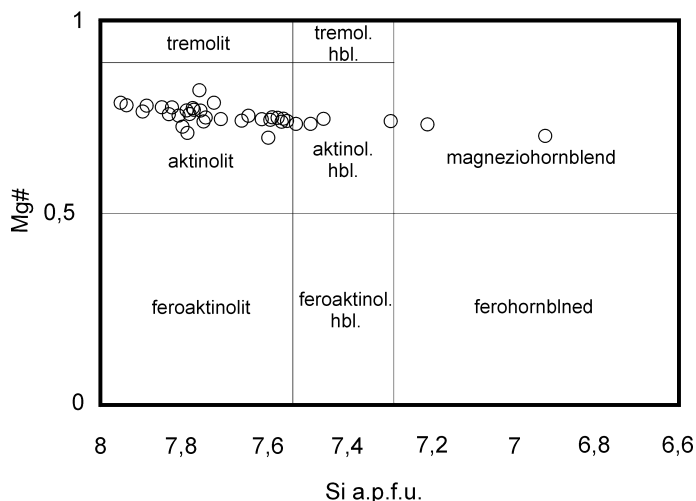
Plagioklas je v hornině zastoupen méně a dosahuje i menší velikosti (< 1 cm). Zpravidla bývá polysynteticky lamelovaný. V blízkosti ploch kliváže byly lokálně pozorovány i zprohýbané dvojčatné lamely. Bazicitu se pohybuje v rozmezí An_{11} až An_{27} a plagioklas tak odpovídá oligoklasu. Průměrná hodnota činí An_{17} . Na kontaktech s alkalickým živcem jsou hojně vyvinuty myrmekity tvořené velmi čistým albitem. Plagioklas bývá lokálně postižen sericitizací.

Křemen velmi intenzivně undulózně zhaší a často také jeví známky rekrystalizace. Velikost jeho zrna se mění v závislosti na vzdálenosti od plochy kluzu, v jejich blízkosti jsou zrna nejmenší (0,0X až 0,X mm). Největších velikostí naopak křemen dosahuje na středu mezi oběma přilehlými plochami kluzu (max. X mm). Žilky rekrystalizovaného křemene vyhojují křehce porušené vyrostlice živeců.

Biotit je tvořen hypautomorfně omezenými zrny o velikosti 0,5–1 mm (max. 1,5 mm). Je intenzivně červenohnědě pleochroický. Charakteristická je přítomnost apatitu a zirkonu, kolem něhož jsou patrné výrazné pleochroické dvůrky. Zastoupení biotitu obvykle nepřesahuje 15 %. Místy je deformován a dochází ke vzniku tzv. slidových ryb. Chloritizace je spíše vzácná s výjimkou lokalit na jižních okrajích obou větších těles přiléhajících k tzv.

Obr. 3. Klasifikace amfibolů podle LEAKA *et al.* (1997).

Fig. 3. Classification of amphiboles according to LEAKE *et al.* (1997).



Tabulka 1. Reprezentativní analýzy amfibolu (přepočteno na 23 O). Ze stechiometrie byla dopočtena voda odpovídající 2 OH.

Table 1. Representative analyses of amphibol. Recalculated on 23 O. Water was calculated on the basis of stoichiometry = 2 OH.

lokalita	D2	D4	D10	D10	D10	D10
SiO ₂	53,55	54,62	51,91	55,44	54,02	54,27
TiO ₂	0,35	0,15	0,60	0,16	0,09	0,07
Al ₂ O ₃	2,34	1,45	3,78	1,34	1,69	1,77
Cr ₂ O ₃	0,07	0,03	0,08	0,07	0,06	0,03
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	10,63	10,21	9,96	9,03	12,14	11,48
MnO	0,35	0,39	0,34	0,32	0,44	0,35
MgO	17,05	17,37	15,69	17,57	16,58	16,83
CaO	11,82	12,19	11,48	11,75	11,58	11,92
Na ₂ O	0,52	0,28	0,73	0,30	0,40	0,28
K ₂ O	0,23	0,13	0,35	0,11	0,16	0,13
H ₂ O*	2,08	2,09	2,04	2,09	2,08	2,08
suma	98,98	98,90	96,97	98,19	99,23	99,20
Si	7,710	7,841	7,617	7,943	7,797	7,806
Si ⁴⁺	7,710	7,841	7,617	7,943	7,797	7,806
Al ³⁺ (iv)	0,290	0,159	0,383	0,057	0,203	0,194
T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al 3+ (iv)	0,108	0,086	0,270	0,170	0,085	0,106
Ti 4+	0,038	0,016	0,067	0,017	0,010	0,007
Cr 3+	0,008	0,003	0,010	0,008	0,006	0,003
Fe 3+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe 2+	1,279	1,226	1,222	1,081	1,465	1,380
Mn 2+	0,042	0,047	0,042	0,038	0,054	0,043
Mg 2+	3,659	3,716	3,432	3,752	3,565	3,608
Ca 2+	1,822	1,875	1,805	1,804	1,790	1,836
C + B	6,956	6,969	6,848	6,871	6,976	6,984
Na 1+	0,145	0,078	0,209	0,082	0,111	0,078
K 1+	0,042	0,024	0,066	0,021	0,029	0,023
A	0,187	0,102	0,275	0,103	0,140	0,101
suma	15,143	15,070	15,122	14,974	15,116	15,085

Tabulka 2. Reprezentativní analýzy biotitu (pře počteno na 20 O a 4 OH, F). Voda byla dopočtena ze stechiometrie.

Table 2. Representative analyses of biotite (recalculated on 20 O and 4OH, F). Water was calculated on the basis of stoichiometry.

lokalita	D10	D4	D9	D9	D9	D9
SiO ₂	39,04	38,63	38,97	38,56	38,70	38,96
TiO ₂	2,60	2,13	3,24	3,51	3,59	3,74
Al ₂ O ₃	15,38	15,16	14,13	14,22	14,06	14,51
Cr ₂ O ₃	0,54	0,52	0,05	0,05	0,28	0,25
FeO	14,77	14,73	15,52	16,03	15,77	14,24
MnO	0,22	0,19	0,21	0,17	0,23	0,14
MgO	14,74	15,44	14,37	13,94	15,49	15,79
CaO	0,12	0,08	0,01	-	0,14	0,06
Na ₂ O	0,07	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13
K ₂ O	9,95	9,84	10,28	10,37	9,55	9,78
F	0,35	0,66	0,39	0,39	-	-
Cl	-	-	0,01	0,01	0,75	0,74
H ₂ O*	3,95	3,77	3,88	3,87	3,92	3,94
suma	101,75	101,28	101,17	101,22	102,60	102,28
Si	5,692	5,671	5,750	5,707	5,645	5,658
Al ³⁺ (iv)	2,308	2,329	2,250	2,293	2,355	2,342
Al ³⁺ (vi)	0,335	0,294	0,207	0,188	0,062	0,142
Ti ⁴⁺	0,285	0,235	0,359	0,391	0,394	0,408
Cr ³⁺	0,063	0,060	0,006	0,005	0,032	0,029
Fe ²⁺	1,801	1,809	1,916	1,984	1,924	1,730
Mn ²⁺	0,027	0,024	0,026	0,021	0,028	0,017
Mg ²⁺	3,204	3,379	3,161	3,075	3,368	3,418
Ca ²⁺	0,018	0,013	0,001	-	0,022	0,009
Na ⁺	0,021	0,032	0,031	0,030	0,034	0,037
K ⁺	1,851	1,843	1,935	1,958	1,777	1,812
OH ^{1*}	3,837	3,693	3,814	3,816	3,815	3,818
F ⁻	0,163	0,307	0,182	0,181	-	-
Cl ⁻	-	-	0,003	0,003	0,185	0,182
suma	15,605	15,690	15,643	15,653	15,642	15,601

petrovickému zlomu (PLHAL *et al.* 1967). V lomu u Nové Vsi došlo k velmi intenzivní chloritaci biotitu a amfibolu spjaté v případě prvního se vznikem sekundárního titanitu. Poměr Fe/(Fe + Mg) se pohybuje pouze v úzkém rozmezí hodnot 0,34 až 0,39 a jedná se tedy o flogopit (viz. tab. 2).

Amfibol se vyskytuje především v podobě automorfně až hypautomorfně omezených zrn o rozměrech až 5×1,5 mm. V blízkosti ploch kluzu bývají delší zrna rozlámana. Často bývá dvojčatně lamelován. Zvláště velká zrna někdy uzavírají ve svém středu relikt diopsidu (Wo = 46, En = 41, Fs = 13). Přejít mezi oběma minerály není ostrý, ale je tvořen postupně se zmenšujícími zrny pyroxenu až do jeho úplného vymizení. Amfibol je v hornině zastoupen v průměru kolem 7 %. V horninách od Hlinného tento minerál zcela chybí. V hornině z lomu u Nové Vsi byl kompletně pseudomorfován směsí chloritu s kalcitu.

Poměr Mg/(Mg + Fe) se pohybuje v rozmezí 0,74 až 0,78. Podle klasifikace LEAKA *et al.* (1997) odpovídá aktinolit (viz obr. 3, tab. 1). Ojedinele byly pozorovány i relikt magneziohornblendu až aktinolitického hornblendu uzavřené ve větším zrně amfibolu aktinolitického složení.

Titanit je nejhodněji se vyskytujícím akcesorickým minerálem. Dobře je patrný rozdíl mezi primárním magmatickým automorfně omezeným a sekundárním xenomorfním titanitem. Výskyt druhého je spjat s chloritizací biotitu a jeho velikost obvykle nepřesahuje 0,1 mm. Velikost primárního titanitu dosahuje až 3 mm.

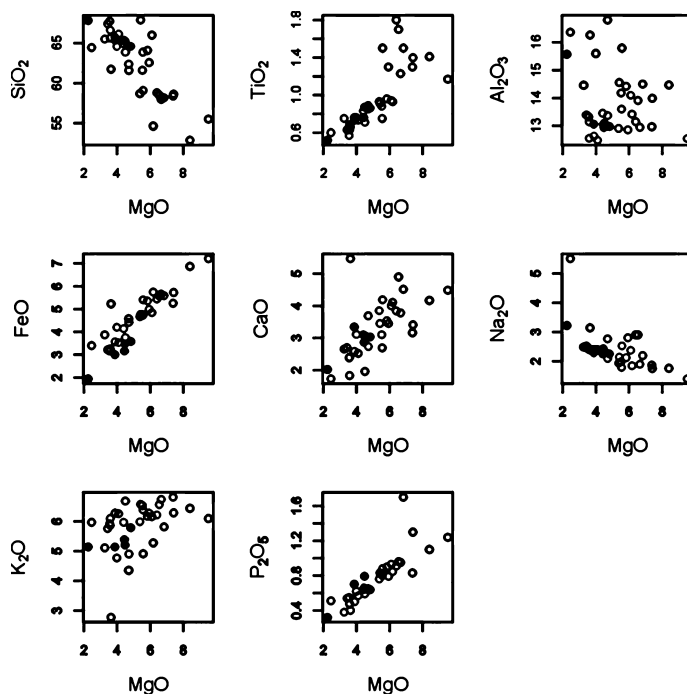
Zirkon je typicky přítomen jako drobné inkluze obklopené intenzivními pleochroickými dvůrkami. Velikost obvykle nepřesahuje 0,1 mm.

Apatit tvoří jehlicovité krystaly uzavírané v biotitu. Omezení je zpravidla hypauto-morfni. Délka se pohybuje v 0,0X až 0,X mm.

Chemismus

Horniny durbachitové série na Novoměstsku jsou typicky metaluminické. ASI se pohybuje v úzkém rozmezí 0,83 až 0,86. Z tohoto hlediska je odlišná hornina z masivku u obce Hlinné, která je peraluminická (ASI = 1,07). Index alkalinity se pohybuje v rozmezí hodnot 1,3 až 1,39. Z tohoto rozmezí opět vybočuje hornina od Hlinného, ale ne tak výrazně jako v předchozím případě. Index u ní dosahuje hodnoty 1,43. Všechny zmiňované hodnoty jsou velmi blízké rozpětí hodnot pro třebíčský pluton. Společným jmenovatelem peraluminických hornin z třebíčského plutonu a od Hlinného je blízkost okraje intruze.

Zastoupení SiO_2 se pohybuje v úzkém rozmezí 64,60 až 67,84 hm. % (viz. obr. 4, tab. 3). Nejkyselejší je hornina pocházející od Hlinného. Obsahy K_2O a MgO odpovídají definici ultrapotasických hornin (FOLEY *et al.* 1987). K_2O je zastoupeno mezi 5,14 až 5,79 hm. % a jeho obsah se vzrůstající kyselostí spíše jenom osciluje kolem průměrné hodnoty. Obsah MgO se pohybuje v rozmezí 2,25 až 4,82 hm. %. Obsahy MgO a SiO_2 spolu výrazně negativně koreluje. Nejméně je MgO zastoupen v hornině od Hlinného. Tato hornina nesplňuje limitní poměr $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} \geq 2$. Na_2O je relativně málo zastoupeno (2,25 až 3,22 hm. %). Pozitivně koreluje s SiO_2 a negativně s MgO (pouze s malým rozptylem). Obsah CaO je ovlivněn přínosem hydrotermálního CaCO_3 (zejména v blízkosti petrovického zlomu). Pohybuje se mezi 2,02 a 3,34 hm. %. CaO klesá se vzrůstajícím obsahem SiO_2 a naopak stoupá s rostoucím MgO . Obsah FeO TOT se pohybuje v rozmezí 2,20 až 3,94 hm. %. Výrazně pozitivně a pouze s malým rozptylem koreluje s MgO a negativně s SiO_2 . TiO_2 . TiO_2 .



Obr. 4. Variační diagram chemismu hornin durbachitové série z Novoměstska (tečky) a oblasti třebíčského plutonu (prázdná kolečka).
Fig. 4. Variation diagram of durbachite series rocks from Nové Město na Moravě (dots) and Třebíč pluton (open circles).

Tabulka 3. Geochemické analýzy hornin durbachitové série.

Table 3. Geochemical analyses of durbachite series rocks.

vzorek	2	4	9	10	16
SiO ₂	65,24	65,36	65,38	64,6	67,84
TiO ₂	0,87	0,76	0,76	0,86	0,52
Al ₂ O ₃	12,94	13,05	13,06	12,98	15,57
Fe ₂ O ₃	0,17	0,56	0,5	0,4	0,28
FeO	3,48	3,16	3,01	3,58	1,95
MnO	0,07	0,06	0,06	0,07	0,02
MgO	4,48	4,44	3,87	4,82	2,25
CaO	3,08	2,86	3,34	3,03	2,02
Na ₂ O	2,37	2,43	2,29	2,25	3,22
K ₂ O	5,2	5,39	5,14	5,79	5,14
P ₂ O ₅	0,79	0,66	0,7	0,64	0,32
CO ₂	0,3	0,28	0,6	0,25	0,22
S	-	-	0,08	0,05	-
H ₃ O ⁺	0,45	0,31	0,99	0,33	0,28
H ₂ O	0,11	0,13	0,17	0,1	0,08
suma	99,55	99,45	99,95	99,75	99,71
stopové prvky					
Ba	1255	1289,2	1205,8	1403,2	984,9
Co	17,9	15,7	15,8	18,5	8,1
Cr	476,9	336	329,3	364,3	128,4
Ni	5,1	74,6	52,5	60	69,3
Rb	384,8	411,7	375,8	396,9	281,5
Sr	330,7	327,5	300	355,5	411,4
U	22,2	29,8	23,6	25,2	14
Nb	26,7	25,9	25,8	24,3	12,7
Y	25,1	22,3	23,6	23,4	9,8
Zr	337,5	336,6	298,8	385	280,6
Cs	42,8	55,9	40,6	35,4	14,6
Th	49,3	48,2	48,3	52,1	27,6
Ta	2,4	2,1	2,5	1,8	0,7
Hf	9,7	10,5	9,5	11,5	9,1
Tl	2,4	2,4	1,9	2,5	0,8
REE					
La	47,3	38	47,1	47,9	38,2
Ce	107,3	96,4	104	104	77,4
Pr	11,96	10,51	11,83	11,66	7,81
Nd	56,5	51,1	56,5	55,5	31,5
Sm	11,3	10,6	11,1	10,7	4,8
Eu	1,63	1,55	1,53	1,75	0,86
Gd	6,32	6,26	6,36	6,16	3,2
Tb	0,88	0,8	0,82	0,84	0,45
Dy	4,49	4,11	4,31	4,46	2,16
Ho	0,72	0,67	0,7	0,71	0,31
Er	2	1,84	1,95	1,77	0,78
Tm	0,3	0,28	0,32	0,27	0,1
Yb	2,1	1,96	2,03	2,05	0,65
Lu	0,29	0,26	0,27	0,27	0,1

Poměry zastoupení REE vůči chondritu v ostatních horninách jsou velmi homogenní. Poměr LREE/HREE stoupá společně s obsahem MgO. Patrná je také mírně negativní europiová anomálie. REE vzor se nachází na spodní hranici rozsahu daného horninami třebíčského plutonu (viz. obr. 7), velmi dobře však kopíruje jeho průběh. Vybočuje pouze zmiňovaná hornina od Hlinného.

koreluje velmi dobře s MgO až do hodnoty cca 1 hm. % TiO₂ (viz. obr. 4). U vyšších hodnot dochází v horninách z oblasti třebíčského plutonu k rozptýlení trendu. Koncentrace P₂O₅ se pohybují mezi 0,32 až 0,79 hm. %. Zastoupení P₂O₅ lineárně narůstá se stoupající bazicitou horniny. Při vyšších obsazích MgO dochází ke stejnému jevu jako u TiO₂ u analýz z třebíčského plutonu.

V Pearceově diagramu hornina /MORB (1983) (viz. obr. 5) je pro studované horniny charakteristické obohacení o LILE (Sr, Rb a Ba). U HFS prvků ve střední části grafu již není obohacení tak výrazné. Horniny jsou však zároveň obohaceny i o kompatibilní Cr. Některé kompatibilní prvky jako např. Yb nebo Y jsou ale naopak ochuzeny.

Rb je v novoměstských horninách zastoupeno v rozmezí 281 až 411 ppm. Pozitivně koreluje s obsahem K₂O. Obsah Sr je mezi 300 až 411 ppm. Poměr Rb/Sr se pohybuje v rozmezí 0,68 až 1,26. Nejnižší hodnota náleží peraluminické hornině Hlinného. Ba stoupá s obsahem MgO (viz. obr. 6). Nejnižších hodnot tedy dosahuje kyselá hornina od Hlinného (984 ppm). Zr je nejméně zastoupeno v peraluminické hornině (Hlinné). Zr negativně koreluje s obsahem SiO₂ (viz. obr. 6). Pro Cr a Y je charakteristická pozitivní korelace s MgO a naopak negativní korelace s SiO₂.

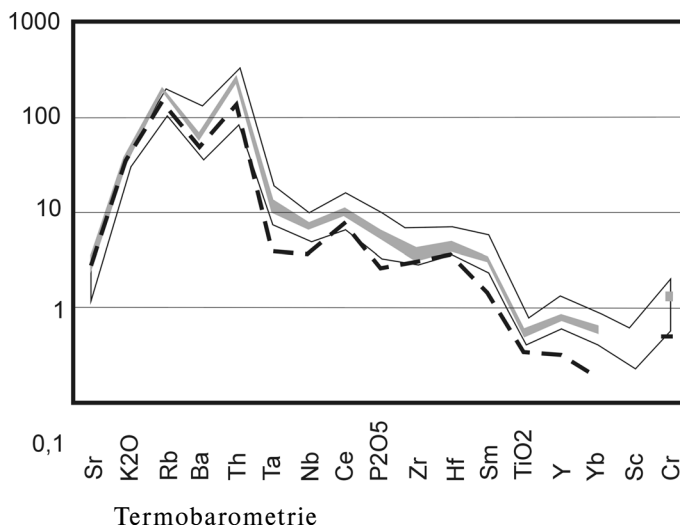
Zastoupení Th se pohybuje mezi 27 a 52 ppm. Dolní hranice náleží peraluminickým horninám od Hlinného. Th vždy převládá nad U a vzájemný poměr se pohybuje mezi 1,62 až 2,22. Obsahy U do jisté míry kopírují Th. Rozsah obsahu U je 14 až 30 ppm.

Prvky vzácných zemin vykazují vzhledem k chondritu silné obohacení na straně LREE (viz. obr. 7) (La/Lu ~ 240). Tento trend je ještě výrazněji patrný u horniny od Hlinného (La/Lu 380).

Obr. 5. Hornina/MORB podle PEARCE (1983).

Prázdná oblast - třebíčský pluton, šedá oblast - novoměstské horniny, přerušovaná linie - hornina od Hlinného. (Sc nebylo stanovováno)

Fig. 5. Rock/MORB according to PEARCE (1983). Empty area - Třebíč pluton, shaded area - rocks from vicinity of Nové Město na Moravě, broken line - Hlinné. (Sc was not analysed).



Al-in-hornblend barometrie (SCHMIDT 1992) nemohla být využita vzhledem k nevhovujícímu chemismu amfibolu.

Amfibol plagioklasový termometr podle HOLLANDA a BLUNDYHO (1994) byl použitelný pouze na části minerálních párů (6). Získané hodnoty však dosahovaly pouze 540 až 660 °C. Rozmezí 700–750 °C bylo získáno na základě distribuce Mg mezi amfibol biotitovými páry metodou PERČUKA (1970). Z celohorninových analýz byly rovněž spočteny teploty saturace zirkonu v rozmezí 800 až 830 °C (HARRISON a WATSON 1983).

Diskuse

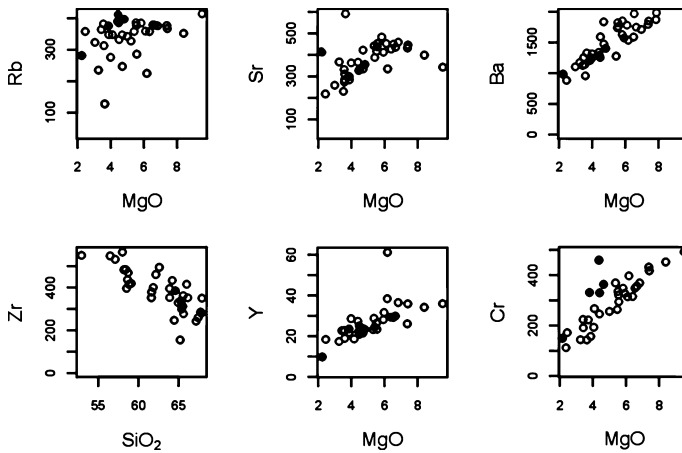
Regionální pozice

Radňovické těleso je z J ukončeno na petrovickém zlomu, který představuje přesmyk (ŠURÁŇ 1969, STÁRKOVÁ 1993). V průběhu jeho existence na něm však docházelo i k opačným pohybům (v primární důlní dokumentaci z 59. m sledné chodby P4-30 je patrný pokles na mladé karbonátové žile jinak neporušeně procházející karbonátovou brekcií vyplňující zlom), což spolu s přítomností zavlčených reliků křídly v nedalekých Škrdlovicích vypovídá o extrémně dlouhé životnosti celého poruchového pásma.

Orientace vyrostlic alkalického živce nemohla být využita k odhadu hloubkového vývoje těles, protože byla hornina postižena deformací. Pro reorientaci vyrostlic v průběhu deformace svědčí i fakt, že jsou vyrostlice kose orientovány k nafáranému intruzivnímu okraji (PLHAL *et al.* 1967).

Geofyzikální profil vedený v blízkosti JV okraje východního masivku nenaznačuje přítomnost tělesa větších rozměrů (ústní sdělení Dr. HANŽLA). Východní těleso je tedy pravděpodobně založeno jen mělce. Nelze vyloučit, že spolu obě větší tělesa v minulosti souvisela. Kořenovou zónu by v tomto případě představovalo radňovické těleso, jehož podložní intruzivní kontakt upadá k SZ.

Hloubkový vývoj hlinnenského tělesa nelze na základě současných znalostí určit. Vzhledem k jeho výskytu jižně od slavkovicko - škrdlovického poruchového pásma se nachází v relativně pokleslé kře moldanubika představované horninami ve vyšší stratigrafické pozici. Tělesa hornin durbachitové série se tedy nacházejí v různých stratigrafických úrovních a je nepravděpodobné, že by v minulosti souvisela s třebíčským plutonem a v současnosti představovala jeho zakleslé denudační relikty.



Obr. 6. Variační diagram stopových prvků hornin durbachitové série z Novoměstka (tečky) a oblasti třebíčského plutonu (prázdná kolečka).
Fig. 6. Variation diagram of durbachite series rocks from Nové Město na Moravě (dots) and Třebíč pluton (open circles).

Přítomnost apofýz durbachitových hornin, intruzivní kontakt s amfibolity pestré série moldanubika (překop JSIII) ale i diskordantní intruze durbachitových magmat do migmatitických hornin staví novoměstské durbachity do podobné pozice jako durbachity třebíčského plutonu. Analogická situace je popisována zejména v okolí Tasova (HLISNIKOVSÝ 1994).

Vývoj magmatu

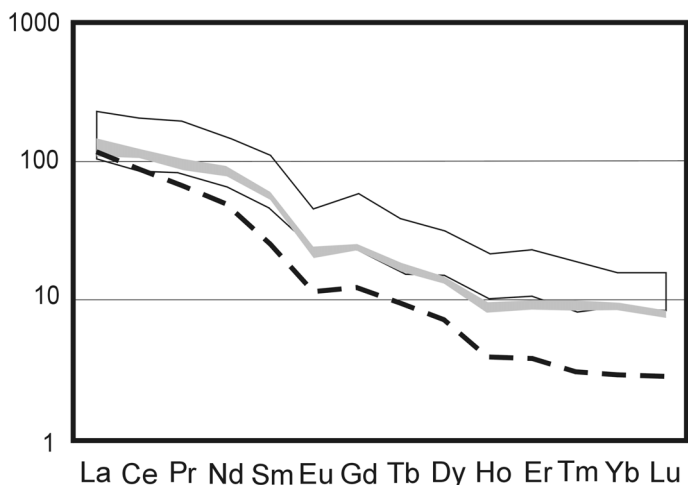
Chemismus mafického a felsického koncového členu durbachitové série, tak jak je předpokládá HOLUB (1997), byl využit pro vytvoření mísičního modelu. Vznik hornin míšením podporuje i morfologie zirkonů, spadající do pole hybridních granitů smíšeného korového plášťového původu (DOSBABA a SULOVSKÝ 2005). Studované horniny se svým složením modelovým hodnotám velmi blíží. Výjimku tvoří pouze vzorek od Hlinného, který je oproti ideální mísiční linii obohacen o 3 hm. % Al_2O_3 . Mírný nárůst je pozorovatelný i u Na_2O (0,6 hm. %). Obsah K_2O se blíží ideálu. Pokles byl naopak zaznamenán u MgO (1 hm. %). U FeO a CaO jsou zjištěné obsahy nižší o přibližně 0,5 hm. %. Obsahy TiO_2 a P_2O_5 jsou sníženy pouze nepatrně.

Tato hornina je jako jediná peraluminická, a proto byly její obsahy stopových prvků srovnány s jinými peraluminickými horninami durbachitové série z oblasti třebíčského plutonu (nepublikovaná data Dr. Sulovského). Všechny peraluminické horniny se nacházejí v blízkosti okraje intruze. V potaz tedy přichází asimilace okolních hornin, což podporuje i přítomnost uzavřenin okolních metamorfitů. Vzorek od Hlinného byl i oproti ostatním srovnávaným horninám ochuzen o HREE (viz. obr. 8).

Anomální složení REE horniny od Hlinného by bylo možno přičíst absenci amfibolu, který přijímá do struktury právě HREE (HENDERSON 1984), o které je hornina ochuzena za současného zachování vysokých obsahů LREE. Podobný jev je patrný i na diagramu hornina/MORB (viz. obr. 5), kde je patrné ochuzení opět především v prvcích s frakcionačním poměrem minerál/tavenina pro amfibol vyšším než 1 (např. Nb, Y, Yb, Sm, Ti) (ROLINSON 1993). Pokles zmiňovaných prvků nebyl pozorován v peraluminických horninách třebíčského plutonu. Vysoké obsahy Al_2O_3 nelze vysvětlit pouze frakční krystalizací amfibolu, přestože by při ní docházelo k jeho relativnímu nárůstu. Tento proces by totiž v tomto rozsahu zároveň způsobil pokles obsahu CaO až na hodnoty blízké nule. To však nebylo pozorováno.

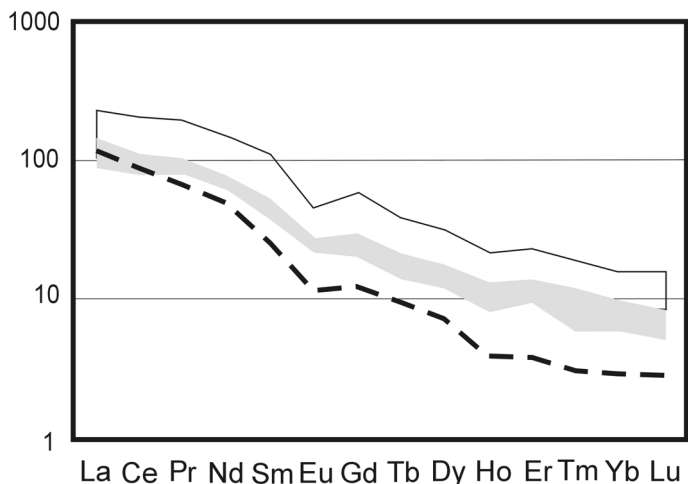
Obr. 7. Hornina/chondrit podle WAKITY *et al.* (1971). Prázdná oblast - třebečský pluton, šedá oblast - novoměstské horniny, přerušovaná linie - hornina od Hlinného.

Fig. 7. Rock/chondrite according to WAKITA *et al.* (1971). Empty area - Třebeč pluton, shaded area - rocks from vicinity of Nové Město na Moravě, broken line - Hlinné.



Obr. 8. Hornina/chondrit podle WAKITY *et al.* (1971). Prázdná oblast - třebečský pluton, šedá oblast - peraluminické horniny z třebečského plutonu, přerušovaná linie - hornina od Hlinného.

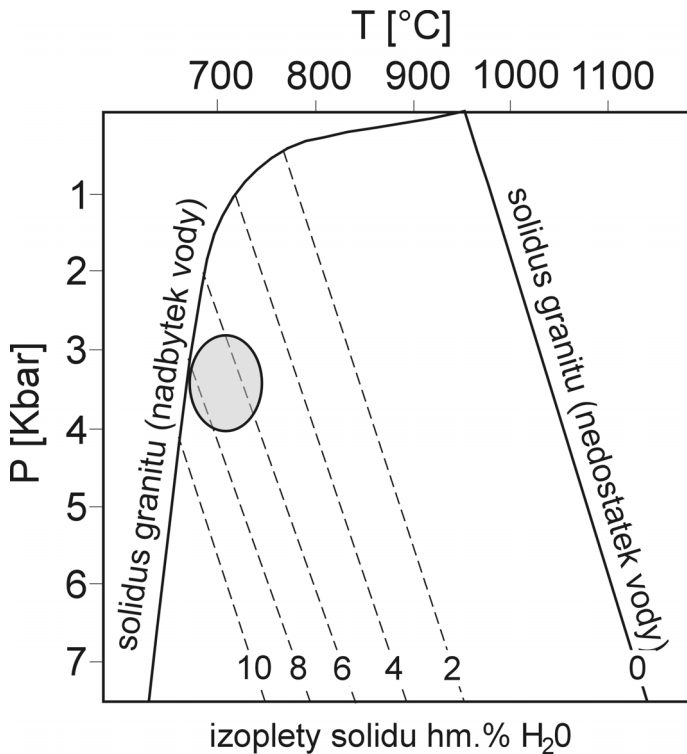
Fig. 8. Rock/chondrite according to WAKITA *et al.* (1971). Empty area - Třebeč pluton, shaded area - peraluminous rocks from Třebeč pluton, broken line - Hlinné.



Svou roli zde tedy pravděpodobně sehrála jak asimilace okolních hornin tak i v menší míře frakční krystalizace amfibolu (možná je i frakční krystalizace pyroxenu, který bývá v amfibolech také uzavírán). Lze tedy konstatovat, že na anomálním chemismu horniny z lokality č. 16 se podepsal AFC proces (assimilation and fractional crystallization).

Teploty získané použitím amfibol plagioklasového termometru (540 až 660 °C) spadají pod křivku vodou nasycené granitové taveniny (viz. obr 9). Neodpovídají tedy ekvilibriu, o čemž svědčí i značná chemická nehomogenita okrajových částí jednotlivých párů. Metoda PERČUKA (1970) využívající distribuci Fe a Mg mezi amfibolem a biotitem, která poskytla teploty mezi 700–750 °C, je pravděpodobně sporná. Získané hodnoty jsou však vzhledem k obsahu SiO₂ v hornině poměrně reálné. Za horní hranici krystalizace lze považovat teplotní rozmezí 800–830 °C, která odpovídá saturaci zirkonu, který je jedním z nejstarších minerálů.

Al in hornblende barometr (SCHMIDT 1992) nemohl být využit. Složení amfibolu totiž neodpovídá podmínce $0,4 < Fe_{tot}/(Fe_{tot} + Mg) < 0,65$. HOLUBEM (1997) zjištěné hodnoty blízké se 0,5 Kbar jsou tedy sporné. Obsahy Al jsou v analyzovaných amfibolech vše-



Obr. 9. Poloha solidu granitu podle stupně nasycení vodou podle LATYPOVA (2002). Pole označuje předpokládané podmínky krystalizace durbachitového magmatu. Fig. 9. Position of granite solidus owing to content of water in melt according to LATYPOVA (2002).

obecně nízké. Výjimku tvoří pouze několik reliktních amfibolů odpovídajícího svým složením aktinolitickému hornblendu až magneziohornblendu. Průměrné obsahy Al_2O_3 těchto amfibolů (cca. 6,5 hm. %, což odpovídá 0,77 a.p.f.u.) jsou téměř třikrát vyšší, než je průměr pro ostatní amfiboly. Trend v klasifikačním diagramu amfibolů vyždřený snižujícím se poměrem $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ při klesajícím obsahu Si a rostoucím obsahu Al (viz. obr. 3) odpovídá tschermakitové substituci ($^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{IV}}\text{Al} - \text{Mg}_1\text{Si}_1$). Al bohatší amfibol byl zjištěn jako drobné relikty v blízkosti pyroxenu uzavřeného v amfibolu běžného složení. Trend by tak mohl být interpretován jako důsledek poklesu tlaku.

NOVÁK a HOUZAR (1996) určili na základě podmínek teplotní metamorfózy karbo-nátových hornin vyvolané intruzí trebičského plutonu tlak v rozmezí 3–4 Kbar.

Podmínky krystalizace hlavních horninotvorných minerálů lze tedy předpokládat v rozmezí 700 až 750 °C, 3–4 Kbar. Existence taveniny za těchto podmínek je však vzhledem k průběhu křivky solidu vodou nasyceného granitického magmatu (viz. obr. 9) podmíněna přítomností až 8 hm. % vody.

Na podmínky panující při vzniku kliváže lze usuzovat z charakteru deformace horninotvorných minerálů. Přítomnost tzv. plaménkového perthitu v alkalickém žlvcu indikuje teploty mezi 300 a 400 °C (PASCHIER a TROUW 1996). Podobným podmínkám odpovídá i zprohýbání dvojčatných lamel plagioklasů. Oba tyto jevy se na Novoměstsku vyskytují spíše vzácně. Častěji jsou vyrostlice žlvců deformovány křehce a vzniklé trhliny jsou vyhovovány jemnozrnným křemenem. Zmíněných 400 °C tedy představuje maximální teplotní hranici. Rekrystalizace křemene v blízkosti ploch kliváže, intenzivní undulózní zhášení, redepozice v podobě žilek ukazuje na teploty přesahující 300 °C (PASCHIER a TROUW 1996). Plastická deformace je velmi dobře pozorovatelná u biotitu, jehož tabulky bývají často zprohýbané a obklopují rigidněji se chovající vyrostlice žlvců. Vzácně biotit vytváří

tzv. slídivé ryby, jejichž vznik je umožněn při teplotách přesahujících 250 °C (PASCHIER a TROUW 1996). K pohybu a jím způsobené deformaci tedy docházelo při teplotách přibližně 250 až 400 °C.

Není pravděpodobné, že by horniny dosáhly takovýchto teplot po konci paleozoika. Za použití v pozdějších obdobích běžného geotermálního gradientu (25 °C/km) by bylo potřebných teplot dosaženo až v hloubkách přesahujících 10 km. Vzhledem k rychlému výzdvihu oblasti moldanubika v průběhu spodního karbonu (KOTKOVÁ a PARRISH 2000) je to však krajně nepravděpodobné. Horniny tedy těchto podmínek mohly dosáhnout pouze relativně krátce po svém vzniku (337 Ma, KOTKOVÁ *et al.* 2003). Deformace tak pravděpodobně odpovídá extenzní tektonice spojené s gravitačním kolapsem variského orogénu. Podobným způsobem je například vysvětlována extenzní tektonika v oblasti kontaktu svrateckého krystalinika a hlinské zóny (PITTRA *et al.* 1994). Po doznění deformace byly horniny přimykající se k petrovickému zlomu postíženy hydrotermální alterací CO₂ bohatými fluidy, spojené se vznikem kalcitových žil s ložiskovými akumulacemi uranu (Petrovice a Slavkovice – pozdně variské stáří) (KŘÍBEK a HÁJEK 2005).

Závěry

Radňovické těleso upadá směrem s mírným úklonem 25 až 30° k SZ a je diskordantně omezeno. Zda těleso do hloubky vyклиňuje nebo se rozšiřuje nelze určit, což platí i pro ostatní dvě tělesa. Novoměstské těleso je však pravděpodobně pouze mělce založeno. Tělesa se nacházejí v obdobné pozici jako třebečský pluton. Pojetí novoměstských těles jako zakleslých denudačních reliktnů většího masivu s kořenovou zónou v oblasti dnešního třebečského plutonu lze označit jako nepravděpodobné. Jednotlivá tělesa na Novoměstsku se totiž nacházejí v odlišných stratigrafických úrovních.

Chemismus studovaných výskytů hornin durbachitové série je v dobré shodě s modelem vzniku tohoto typu hornin, tak jak jej předkládá HOLUB (1997). Výjimku tvoří pouze hornina z lokality Hlinné, jejíž chemismus byl pravděpodobně ovlivněn asimilací okolních metamorfovaných hornin a částečnou frakční krystalizací amfibolu nebo eventuelně pyroxenu. Složení ostatních těles odpovídá rozsahům zjištěným v oblasti třebečského plutonu.

Předpokládáné podmínky krystalizace hlavních horninotvorných minerálů jsou v rozmezí 3–4 kbar a 700 až 750 °C. Teplotou solidu prošla hornina v rozmezí 650 až 700 °C.

V podmínkách subsolidu prodělala hornina extenzivní deformaci, jejímž výsledkem byl vznik ploch kluzu. K tomuto procesu došlo při teplotách 250 až 400 °C a byl pravděpodobně vyvolán gravitačním kolapsem variského orogénu koncem svrchního paleozoika. Dále byly horniny postíženy hydrotermální alterací, jejíž přírodní dráhou byla slavkovic-koškrdlovická poruchová zóna.

Poděkování

Autoři děkují Dr. Hanžlovi za konzultace a Dr. Ondříkovi a Ing. Hlisnikovskému za zpřístupnění archivu podniku GEAM Dolní Rožinka.

LITERATURA

- DOSBABA, M., SULOVSKÝ, P., 2005: Typologie zirkonu z výskytu hornin durbachitové série v okolí Nového Města na Moravě. – *Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2004*, 12, 88–89. Brno.
- FOLEY, S. F., VENTURELLI, G., GREEN, D. H., TOSCANI, L., 1987: The Ultrapotassic rocks: Characteristics, Classification and Constraints for Petrogenetic models. – *Earth. Sci. Rev.*, 24, 81–134. Amsterdam.
- HENDERSON, P., 1984: Rare earth element geochemistry. – Elsevier. Oxford.

- HLISNIKOVSKÝ, K. 1994: Uranová mineralizace v okolí Tasova - *Minerál*, 3, 6, 352-360. Brno.
- HOLLAND, T., BLUNDY, J., 1994: Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116, 433-447.
- HOLUB, F. V., 1997: Ultrapotassic plutonic rocks of the durbachite series in the Bohemian Massif: Petrology, geochemistry and petrogenetic interpretation. - *Sbor. geol. věd.*, 31, 5-26. Praha.
- HOLUB, F. V., COCHERIE, A., ROSSI, P., 1997: Radiometric dating of granitic rocks of the central Bohemian Complex (Czech Republic): constraints on the chronology of thermal and tectonic events along the Moldanubian-Barrandian boundary. - *Earth & Planetary Sciences*, 325, 19-26. Paris.
- HOLUB, F. V., JANOUŠEK, V., 2003: Geochemical and Sr-Nd isotopic constraints on the genesis of ultrapotassic plutonic rocks from the Moldanubian zone of the Bohemian Massif. - *J. Czech Geol. Soc.*, 48, 1-2, 61-62. Praha.
- JANOŠEK, V. *et al.*, 2000: Modelling Diverse Processes in the Petrogenesis of a Composite Batholith: the Central Bohemian Pluton, Central European Hercynides. - *Jour. Petrol.*, 41, 4, 511-543. Oxford.
- KALÁŠEK, J., WEIS J., 1957: Zpráva o přehledném geologickém mapování svratecké antiklinály pro generální mapu list Česká Třebová. - *Zpr. geol. výzk. v roce 1956*, 76-78. Praha.
- KOTKOVÁ, J., PARRISH, R., 2000: Evidence for high exhumation rate in central European Variscides: U-Pb ages of granulate metamorphism in clasts deposited in upper visean conglomerates. - *Geolines*, 10, 41-42. Praha.
- KOTKOVÁ, J., SCHALTEGGER, U., LEICHMANN, J., 2003: 338-335 Ma old intrusion in the E Bohemian massif - a relic of the orogen-wide durbachitic magmatism in European Variscides. - *J. Czech Geol. Soc.*, 48, 1-2, 80-81. Praha.
- KŘÍBEK, B., HÁJEK, A., 2005: Uranové ložisko Rožná. Model pozdně variských a povariských mineralizací. - ČGS. Praha.
- LEAKE, B. E. *et al.*, 1997: Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. - *Am. Mineral.*, 82, 9-10, 1019-1037.
- MLYNÁŘ, A., 1998: Tektonické postižení durbachitů v okolí Nového Města na Moravě. - *bakalářská práce*, Ústav věd o Zemi PřF MU. Brno.
- NOVÁK, M., HOUZAR, S., 1996: The HP/LP metamorphism of dolomite marbles in the eastern part of the Moldanubicum; a manifestation of heat flow related to the Třebíč durbachite massifs - *J. Czech Geol. Soc.*, 41, 3-4, 139-146. Praha.
- PASCHIER, A., TROUW, Z., 1996: Microtectonics. - Elsevier. New York.
- PEARCE, J. A., 1983: Role of the subcontinental lithosphere in magma genesis at active continental margins. - In: Hawkesworth, C. J. - Norry, M. J. (eds.) Continental basalts and mantle xenoliths. Shiva. Nantwith, 230-239.
- PERČUK, L. L., 1970: Ravnovesija porodoobrazujících mineralov. - Nauka. Moskva.
- PITTRA, P., BURG J.P., SCHULMANN, K., LEDRU, P., 1994: Late orogenic extension in the Bohemian Massif: Petrostructural evidence in the Hlinsko region. - *Geodynamica Acta*, 7, 15-30. Paris.
- PLHAL, J., PLUSKAL, O., DUDA, V., BURIAN, K., 1967: Závěrečná průzkumná zpráva na ložisku Petrovice., MS, Geom Dolní Rožínka. P-23.
- ROLINSON, H., 1993: Using geochemical data: Evaluation, Presentation, Interpretation. - Longman. Singapur.
- SAUER, A., 1893: Der Granitit von Durbach im nordlichen Schwarzwald und seine Grenzfazies von Glimmersyenit (Durbachit). - *Mitt. Badisch. geol. Landesanst.*, 2, 233-276.
- SCHMIDT, M. W., 1992: Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, 304-310.
- STÁRKOVÁ, I., VESELÁ, M., MOUPIC, Z., CHMELÁŘ, J., 1993: Příspěvky k problematice západomoravského krystalinika. - *Geologie Moravy a Slezska*, 15-30. Brno.
- STRECKEISEN, A., 1976: To each plutonic rock its proper name. - *Earth. Sci. Rev.*, 12, 1-33.
- ŠURÁŇ, J., 1969: Zlomová stavba v okolí Nového Města na Moravě. - *Věst. Ústř. Úst. Geol.*, 44, 1, 9-16. Praha.
- VANĚČKOVÁ-VALIŠOVÁ, M., 1984: Petrologické studium západomoravských durbachitů. - MS diplomová práce Katedra petrologie PřF UK. Praha.
- WAKITA, H., RAY, P., SCHMITT, R. A., 1971: Abundances of 14 rare earth element and 12 other trace elements in Apollo 12 samples, five igneous one breccia and four soils. Proc. 2nd Lunar Sci. Conf. - Pergamon Press. Oxford.
- WATSON, E. B., HARRISON, T. M., 1983: Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. - *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 64, 295-304.
- ZACHOVALOVÁ, K., LEICHMANN, J., ŠTELCL, J., 1999: Petrologie, geochemie a přirozená radioaktivita durbachitů podél trebičského zlomu. - *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 84, 1, 71-87. Brno.