Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
LXXXIV(1999):71–88, 1999

PETROLOGIE, GEOCHEMIE A PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA DURBACHITŮ TŘEBÍČSKÉHO MASIVU PODÉL TŘEBÍČSKÉHO ZLOMU

PETROLOGY, GEOCHEMISTRY AND RADIOACTIVITY OF DURBACHITES FROM TŘEBÍČ MASSIF ALONG THE TŘEBÍČ FAULT

KATEŘINA ZACHOVALOVÁ, JAROMÍR LEICHMANN & JINDŘICH ŠTELCL

Abstract

Zachovalová, K., Leichmann, J., Štelcl, J., 1999: Petrologie, geochemie a přirozená radioaktivita durbachitů třebíčského masivu podél třebíčského zlomu. *Acta Mus. Moravie, Sci. geol.*, 84:71–88 (with English summary).

Petrology, Geochemistry and Radioactivity of Durbachites from Třebíč Massif Along the Třebíč Fault.

Coarse grained, fine grained durbachites, alterated durbachites and mafic xenoliths were distinguished in the w.-e. profile across the Třebíč batholith. The most remarkable geochemical features are the high concentration of K_2O (5.2–6.5%), MgO (3.3–10.4%), Ba (1069–2630 ppm), Cr (198–630 ppm), Ni (63–289 ppm), Zr (174–476 ppm), and low concentrtion of Na_2O (1.3–2.5%). The replacement of plagioclase by K-feldspar and amphibole by biotite are typical features for all rock types. The primary mineralogy and geochemistry of durbachitic rocks and also mafic xenolith were probably affected by replacement processes in the late stages of the crystallization. Durbachites display considerable variation in the concentration of U (5.5–32.1 ppm) and Th (11.2–74.8 ppm).

Key words: Třebíč Massif, petrology, geochemictry, radioactivity, magnetic susceptibility

K. Zachovalová, J. Leichmann, Dept. of Geology and Paleontology, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech republic.

J. Štelcl, Dept. of Mineralogy, Petrography and Geochemistry, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic.

Úvod

Horniny durbachitické série náleží do skupiny ultradraselných hornin. Tato skupina je charakteristická vysokými obsahy draslíku a hořčíku, kdy obsahy K_2O a MgO jsou vyšší než 3 hm % a poměr $K_2O/Na_2O > 2$ (FOLEY et al. 1987).

Durbachitické horniny vynikají především svým neobvyklým geochemickým charakterem. Vysoké obsahy Mg, Cr a Ni indikují přítomnost plášťové komponenty. Naopak vysoké koncentrace LIL prvků (K, Rb, Ba) a radioaktivních prvků (U, Th) svědčí pro přítomnost korového materiálu v hornině. Horniny s vysokým poměrem Mg/Fe vykazují zároveň vysoký poměr K/Na. Vznik takovýchto hornin je dlouhodobě předmětem diskuzí. V současnosti převažuje názor interpretující vznik hornin durbachitické série jako produkt míšení obohaceného plášťového magmatu s korovou taveninou (JANOUŠEK et al. 1995, HOLUB 1997, GERDES et al. 1998, SCHALTEGGER 1997).

Durbachity představují typický člen magmatického komplexu západní části centrálních evropských Hercynid (SCHALTEGGER 1997). Durbachity v českém masivu odpovídají petrograficky i geochemicky originálnímu durbachitu ze Schwarzwaldu a durbachitům

ve Vogézách (HOLUB 1997). V českém masivu jsou durbachity rozšířeny v moldanubiku, kde tvoří několik poměrně rozsáhlých masivů. Na jv. okraji středočeského plutonu se nachází masiv „Čertovo břemeno" (JANOUŠEK et al. 1995, HOLUB 1997) a táborský masiv (JAKEŠ 1968), na Šumavě a v západní části moldanubika se vyskytují želnavský masiv (Knížecí stolec), mehelnický a netolický masiv. Další durbachitická tělesa vystupují ve východní části moldanubika, třebíčský masiv (BUBENÍČEK 1968, STÁRKOVÁ et al. 1993, HOLUB 1997) a jihlavský masiv (TONIKA 1970) na Moravě a rastenbergský masiv (KOLLER, KLÖTZLI 1998, GERDES et al. 1998) v Dolním Rakousku.

Třebíčský masiv (TM) je nejrozsáhlejším tělesem durbachitů (500 km^2) v českém masivu. Tvoří deskovité těleso trojúhelníkovitého tvaru mezi Polnou, Velkou Bíteší a Jaroměřicemi nad Rokytnou (obr. 1). Styk TM s okolními horninami je většinou intruzivní, pouze na východě je modifikován tektonicky podél bítešského zlomu (BUBENÍČEK 1968, STÁRKOVÁ et al. 1993). Na kontaktu TM s metamorfity a migmatity moldanubika je často vyvinuta tzv. aplitová obruba (NĚMEC 1982, LEICHMANN et al. 1998).

V durbachitech TM se vyskytuje široké spektrum xenolitů zahrnující různé typy pararul a dalších metasedimentů. Speciální skupinu xenolitů tvoří amfibolizované a biotitizované ultramafické horniny (HOLUB 1977, 1997).

Pro durbachity je charakteristická anomálně vysoká přirozená radioaktivita (FIALA et al. 1983, ZACHOVALOVÁ 1998). Fiala uvádí obsahy U v rozmezí mezi 6,5 a 18,2 ppm, obsahy Th od 31,7 do 56,6 ppm, hodnoty pro K od 4,5 do 5,2 % a poměry Th/U jsou mezi 1,8 a 7,0.

V předložené práci jsou shrnuty výsledky studia hornin TM podél z.-v. profilu, přibližně paralelního s třebíčským zlomem (BUBENÍČEK 1968). V rámci tohoto profilu bylo studováno několik základních horninových typů: hrubě zrnité durbachity, drobně zrnité a alterované durbachity a mafické uzavřeniny.

Hrubě zrnitý durbachit

Petrografie

Hrubě zrnité durbachity představují nejběžnější horninový typ třebíčského masivu. Studované vzorky byly odebrány v Třebíči a ve Valdíkově. Tento typ durbachitu je charakteristický tmavě šedou až šedočernou barvou, porfyrickou, masivní, ojediněle i plošně paralelní texturou. Plošně paralelní textura je podmíněna usměrněním vyrostlic K-živce. Porfyrické vyrostlice tvoří nápadně bílé, šedé až nažloutlé tabulkovité krystaly K-živců, na nichž je i makroskopicky patrný srůst podle karlovarského zákona. Vyrostlice K-živce dosahují velikosti až 2 cm, v ojedinělých případech vytváří v hornině kumuláty. Velikost K-živců v těchto případech přesahuje 4 cm. Matrix je tvořena drobnými lupínky biotitu, sloupečky světle zeleného aktinolitu, tabulkami plagioklasu, K-živce, křemenem a velmi ojediněle klinopyroxenem zachovaným jako relikt v amfibolu. Typickými akcesorickými minerály jsou apatit a zirkon.

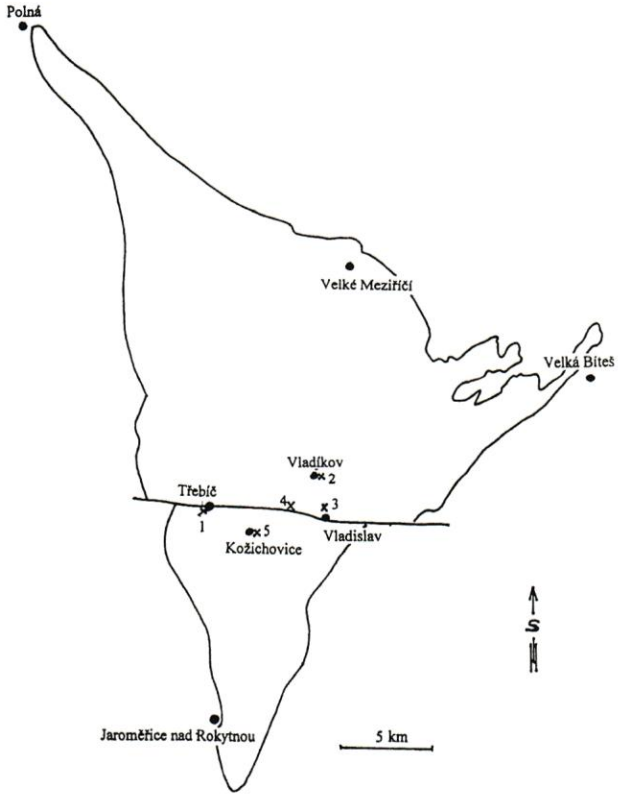
Převládajícím minerálem v hornině je K-živec, který bývá zastoupen až 46 %. Plagioklas je méně hojný, jeho obsahy se pohybují mezi 8,8 a 20 %. Z mafických minerálů se vyskytuje biotit (0,2–19 %) a amfibol (okolo 6 %). Tmavé minerály jsou často chloritizovány, obsah sekundárně vznikajícího chloritu pak dosahuje až 23 %. Obsahy křemene se pohybují od 5 do 18 %. Akcesoricky (0,5 %) je zastoupen apatit, zirkon, velmi zřídka titanit a ojediněle byl pozorován i hematit.

Vyrostlice *K-živce* většinou dosahují až 2 cm, jsou tabulkovitého tvaru, často pertitické, většinou hypautomorfně omezené, často srostlé podle karlovarského zákona. Při pozorování v polarizačním mikroskopu se K-živec ve většině případů jeví jako homogenní. Zonální stavba, podmíněná koncentrickým uspořádáním velmi drobných inkluzí

(obr. 2), je zřetelná jen zcela vyjímečně. Při pozorování této stavby v katodoluminiscenčním mikroskopu je zřejmé, že tyto drobné nepravidelně omezené inkluze jsou plagioklasy, které vykazují žluto-fialovou luminiscenci, která výrazně kontrastuje s modrou luminiscencí K-živce. Dalšími minerály zjištěnými v inkluzích jsou epidot, zoisit, sericit, hematit a skapolit. Jednotlivé inkluze často vytvářejí zóny, paralelní s vnějším okrajem krystalu. Interpretace takovéto stavby není jednoznačná. Podobné stavby K-živců z jihlavského masivu popisuje TONIKA (1970) jako tzv. pseudozonální stavbu. Protože uzavírané relikty plagioklasů vykazují shodnou orientaci dvojčatných lamel, je možné, že zonální stavba K-živce vznikla sekundárně, v důsledku pozdně magmatické alterace, při které došlo k zatlačení plagioklasu K-živcem. Shodná orientace reliktů plagioklasu v zónách, které zřejmě sledují růstové zóny hostitelského K-živce, by mohla být také vysvětlena současnou krystalizací plagioklasu a K-živce.

K-živec je místy sericitizován a ojediněle jím i okolní horninou pronikají žilky sericitu a chloritu. Hojně uzavírá částečně až zcela alterovaný plagioklas, biotit, křemen, apatit a zirkon. Z EMS analýz (tab. 1) jsou patrné zvýšené obsahy Na_2O (do 1 %) a BaO (0,4–0,7 %).

Plagioklas se v hornině vyskytuje v několika formách. Většinou tvoří hypautomorfně omezené tabulky, velikostně menší než K-živec (maximálně 1,5 cm dlouhé). Dal-

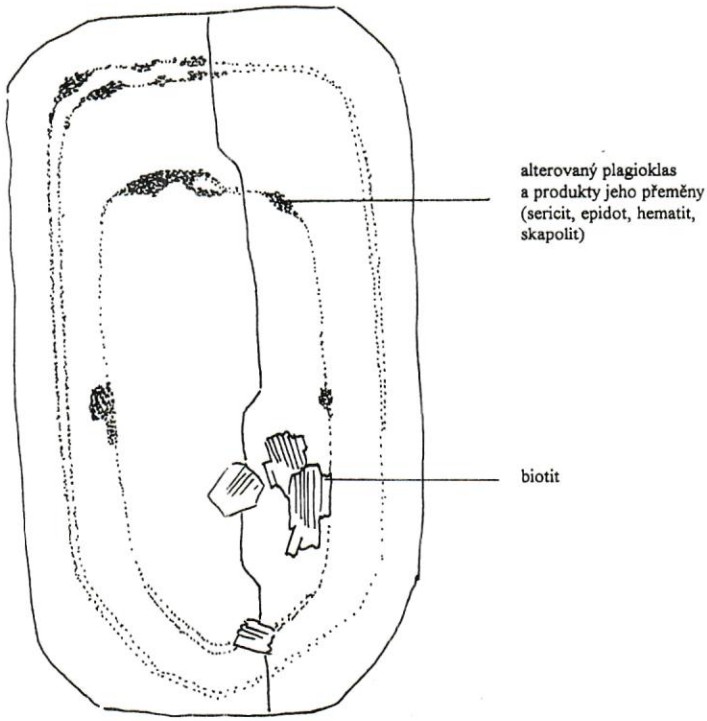


Obr. 1. Mapa odběru vzorků: 1, 2 – hrubě zrnitý durbachit; 3 – drobně zrnitý durbachit; 4 – alterovaný durbachit; 5 – mafická uzavřenina.
Fig. 1. Sample location: 1, 2 – coarse-grained durbachite; 3 – fine-grained durbachite; 4 – altered durbachite; 5 – mafic xenolith.

ší formu výskytu plagioklasu reprezentují menší zrna (do 3 mm) uzavíraná v K-živci. Poslední formou jsou již zmíněné velmi drobné koncentrické inkluze, rovněž uzavírané v K-živci. Vzhledem k alteraci zrn, která postihuje plagioklasy daleko více než K-živce, je jejich polysyntetické lamelování zřetelné pouze na nealterovaných reliktech. I přes silnou alteraci zrn je patrná původní magmatická oscilační zonálnost plagioklasu. Produktem alterace byly na základě optického pozorování určeny sericit a epidot. Z analýz alterovaného plagioklasu provedených na EMS uvedených v tab. 1, kde byly zjištěny vedle SiO_2, Al_2O_3 a CaO rovněž zvýšené koncentrace Cl 0,64 % vyplývá, že se mezi těmito produkty vyskytuje rovněž skapolit.

Biotit představuje nejhojnější mafickou složku durbachitů. V hornině se vykytuje buď samostatně nebo je uzavíraný v K-živci či plagioklsasu. Často tvoří až 7 mm velké lupínky hnědočervené barvy s výrazným pleochroismem v hnědých odstínech. Biotit bývá částečně, zejména na okrajích, anebo jen ojediněle zcela chloritizován. Vyjímečně bývá postižen hematitizací. K hojným uzavřeninám patří apatit, zirkon, méně častý je hematit. Uzavřeniny zirkonu jsou lemovány nápadnými pleochroickými dvůrky. Vzácně vzniká z biotitu baueritizací světlá slída. Z chemických analýz (tab. 1) biotitu jsou zřetelné vysoké obsahy TiO_2 (téměř 4 %) a Cr_2O_3 (0,2 %). Analyzované biotity mají nízké poměry MgO/FeO (0,98 a 1,0).

Amfibol je světle zelený, slabě pleochroický, až 4 mm dlouhé sloupečkovité krystalky jsou často zdvojčatělé. Podél jeho štěpných trhlin dochází k přeměně na chlorit a epidot, v některých případech je zcela nahrazen chloritem. U některých zrn bylo pozo-



Obr. 2. Vyrostlice K-živce (skutečná velikost 2 cm) v hrubozrnném durbachitu, pseudozonální stavba, vysvětlení v textu.

Fig. 2. The phenocryst of K-feldspar (real size 2 cm) in the coarse-grained durbachite, pseudozoned structure, explanation in the text.

rováno obrůstání biotitem. Mikrosondovou analýzou (tab. 1) byly zjištěny vysoké koncentrace SiO_2 (50,6 %) a nízké obsahy alkálií, což odpovídá aktinolitickému složení amfibolu (DEER et al. 1992). Poměr MgO/FeO je vyšší než u biotitu, dosahuje hodnoty 1,51. *Pyroxeny* se vyskytují pouze jako velmi drobné relikty uzavírané v amfibolech.

Apatit je nejčastějším akcesorickým minerálem durbachitů. Vyskytuje se ve formě krátce až dlouze sloupcovitých krystalů nepřesahujících délku 0,3 mm. Místy vytváří shluky až 10 zrn. Je uzavírán ve všech předcházejících minerálech, nejčastěji v biotitu, křemeni a K-živci.

Zirkon patří k typomorfním akcesorickým minerálům durbachitů. Obvykle vytváří automorfně omezené krystalky, krátce sloupečkovitého tvaru, o velikosti do 0,2 mm. Zirkony tvoří nejčastěji uzavřeniny v biotitu a amfibolu, vzácněji v K-živci a křemeni. Radioaktivitu zirkonů dokládají pleochroické dvůrky v biotitu. Na základě mikrosondové analýzy bylo prokázáno, že zirkon jako takový U ani Th neobsahuje (tab. 1), byla zjištěna pouze příměs HfO_2 (2 %). Hlavním zdrojem jeho radioaktivity jsou velmi malé uzavřeniny uranothoritu. Tyto uzavřeniny způsobují metamiktizaci zirkonu, která se projevuje zakalením centrální části krystalu.

Chemismus

Výsledky silikátových analýz durbachitů TM jsou uvedeny v tab. 2. Hojné zastoupení feromagnetických minerálů, biotitu (až 20 %) a amfibolu (6 %) a také vysoké obsahy K-živce (až 57 %) se projevují v chemických analýzách vysokými koncentracemi MgO (3,5–6 %), K2O (6–6,5 %) a CaO (3,2–4 %) a nízkými koncentracemi Na_2O (2,3–2,5 %) a Al_2O_3 (13 %). Hrubě zrnité durbachity vykazují nízké poměry Mg/Fe (1,22 a 1,16), které leží mezi hodnotami Mg/Fe poměrů v biotitu (0,98) a amfibolu (1,51). Poměry K/Na jsou 2,88 a 2,38. Hodnoty aluminium saturation indexu (0,75 a 0,78) jsou charakteristické pro I-typ granitů (CHAPPEL, WHITE 1992).

Koncentrace stopových prvků jsou uvedeny v tab. 2. Durbachity jsou charakteristické výrazně vysokými koncentracemi Ba (1310–2002 ppm), Co (22–31 ppm), Cr (198–349 ppm), Ni (63–97) a Zr (358–476 ppm).

Radioaktivita a magnetická susceptibilita

Koncentrace U a Th a hodnoty magnetické susceptibility jsou uvedeny v tab. 3. Hrubě zrnité durbachity vykazují široký rozptyl hodnot koncentrací Th v rozmezí od 11,2 do 74,8 ppm. Hodnoty koncentrací U jsou nižší, pohybují se mezi 5,5 a 33,1 ppm. Zjištěné koncentrace U a Th jsou poněkud vyšší než hodnoty uváděné FIALOU (1983). Poměry Th/U se pohybují od 1,7 do 7,7, nejčastěji okolo 3. Výsledky měření magnetické susceptibility kolísají v rozmezí mezi 0,09 a 0,34 10^{-3} SI. Vyšší hodnoty jsou typické pro melanokratní variety.

Drobně zrnitý durbachit

Petrografie

Studovaný vzorek pochází z východní části TM, z výchozů u hřiště ve Vladislavi. Makroskopicky jsou tyto durbachity téměř shodné s durbachity hrubozrnnými. Drobně zrnitý durbachit je tmavě šedé až šedočerné barvy, struktura horniny je drobně porfyrická, textura masivní. Rozdíl mezi hrubě a drobně zrnitými durbachity spočívá ve velikosti porfyrických vyrostlic K-živce a plagioklasu. U drobně zrnitých durbachitů dosahují porfyrické vyrostlice obou živců maximálně 0,5 cm, zatím co u hrubě zrnitých je velikost vyrostlic čtyřikrát větší.

Modální analýzou byly zjištěny shodné obsahy K-živce a plagioklasu (29 %), dalšími komponentami jsou biotit (19 %), amfibol (5,8 %), křemen (17 %), z akcesorických

minerálů (0,2 %) je zastoupen apatit a zirkon. Oproti hrubozrnným durbachitům je patrný pokles obsahu K-živce, který je vyrovnáván nárůstem obsahu plagioklasu.

Vyrostlice *K-živce* dosahují velikosti až 5 mm, jsou tabulkovitého tvaru, hypautomorfně až xenomorfně omezené, často srostlé podle karlovarského zákona. Mikroskopicky je tedy velmi podobný K-živci z hrubě zrnitého durbachitu. K-živec uzavírá relikty silně sericitizovaného plagioklasu. Množství těchto uzavřenin je však menší než u hrubě zrnitého durbachitu. Pseudozonální stavba K-živce byla rovněž pozorována, ale vzácněji než v hrubozrnných durbachitech. Velmi hojné jsou uzavřeniny jehličkovitého až sloupečkovitého apatitu.

Plagioklas je dalším výrazně zastoupeným minerálem v hornině. Je přítomen ve formě hypautomorfně omezených tabulkovitých krystalů až 5 mm dlouhých. Vyskytuje se buď v částečně, většinou však ve zcela alterovaných reliktech. Vzhledem k silné alteraci plagioklasu je slabě zřetelné polysyntetické lamelování. Hlavním produktem přeměny je sericit, v centrálních částech zrn se objevuje i epidot.

Nejhojnějším mafickým minerálem drobnozrnného durbachitu je *biotit*. Velikost zrn se pohybuje v rozmezí 1 až 2 mm. Biotit tvoří lupínky hnědočervené barvy s výrazným pleochroismem. Vyskytuje se samostatně nebo je uzavírán v živcích. Některá zrna jsou na okraji chloritizována a velmi ojediněle postižena hematitizací. Biotit často obrůstá zrna amfibolu nebo ním proniká podél štěpných trhlin. Hojně uzavírá jehličkovité až sloupečkovité apatity, inkluze zirkonu jsou běžně lemovány pleochroickými dvůrky.

Amfibol tvoří sloupečkovité, často zdvojčatělé krystaly o velikosti až 4 mm. Má slabě nazelenalou barvu a nevýrazný pleochroismus. Svým tvarem, zbarvením a vysokými interferenčními barvami odpovídá amfibolu z hrubě zrnitého durbachitu, proto se pravděpodobně i zde jedná o aktinolit. Často podléhá chloritizaci a epidotizaci. Ojediněle uzavírá apatit.

Apatit a zirkon jsou typické akcesorické minerály. V jejich vlastnostech ani formách výskytu nebyly pozorovány žádné odlišnosti od hrubozrnných durbachitů.

Chemismus

Základními chemickými znaky jako jsou vysoké obsahy MgO (4,9 %), K_2O (5,6 %) a nízké koncentrace Na_2O (2,4 %) je tato hornina podobná hrubě zrnitému durbachitu (tab. 2). Drobnozrnný durbachit má ve srovnání s hrubě zrnitým durbachitem nižší obsah K-živce a vyšší zastoupení plagioklasu v minerálním složení. To se také odráží v chemických analýzách, kde jsou koncentrace K_2O (5,6 %) nižší a obsahy Al_2O_3 (14,1 %) vyšší než u hrubě zrnitých durbachitů. Poměry Mg/Fe (1,02) a K/Na (2,34) mají nepatrně nižší hodnotu ve srovnání s hrubě zrnitými durbachity. Vyššímu obsahu Al odpovídá i poněkud zvýšená hodnota A.S.I. (0,88). Chemické analýzy stopových prvků (tab. 2) vykazují výrazně nižší koncentrace Zr (174,5 ppm) a vyšší koncentrace Ba (2630,8 ppm) oproti hrubozrnným durbachitům.

Radioaktivita a magnetická susceptibilita

Výsledky měření koncentrace U, Th a magnetické susceptibility jsou uvedeny v tab. 3. V případě drobně zrnitého durbachitu byla naměřena koncentrace 7,4 ppm U a koncentrace 54,3 ppm Th, Th/U=7,3. Tyto hodnoty se příliš neliší od hodnot naměřených u hrubozrnných durbachitů. Stejně jako pro hrubě zrnité durbachity je i pro drobnozrnný durbachit charakteristická převaha Th nad U. Hodnota magnetické susceptibility 0,21 [10^{-3} SI] zapadá do rozmezí hodnot naměřených v hrubě zrnitých durbachitech.

Alterovaný durbachit

Petrografie

Studovaný vzorek pochází z opuštěného lomu po pravé straně silnice Vladislav–Třebíč, 2 km západně od Vladislavi. Alterovaný durbachit je makroskopicky hrubě zrnitý, zelenošedé barvy, struktura horniny je porfyrická, textura masivní. Porfyrické vyrostlice tvoří nápadné bílé až našedlé tabulkovité krystaly K-živců a plagioklasů, často srostlé podle karlovarského zákona. Vyrostlice živců dosahují velikosti až 1,5 cm. Celou horninou pronikají četné karbonátové žilky až 1 cm mocné.

Převládajícím minerálem byl na základě modální analýzy zjištěn K-živec (36 %). K dalším komponentám patří plagioklas (25 %), křemen (14 %), chloritizovaný biotit (13 %) a chloritizovaný amfibol (10 %). V akcesorickém množství je v hornině zastoupen karbonát (1,8 %), apatit a zirkon tvoří 0,2 %. Vzhled horniny a její modální složení nasvědčují, že alteraci podlehla hornina srovnatelná s hrubě zrnitými durbachity.

K-živec je převládajícím horninotvorným minerálem. Jeho vyrostlice dosahují velikosti až 1,5 cm, jsou tabulkovitého vývinu, hypautomorfně omezené, často srostlé podle karlovarského zákona. K-živec v alterovaném durbachitu se svými optickými vlastnostmi neliší od ostatních studovaných durbachitů. Tabulky K-živce vzácně vykazují pseudozonální stavbu. K-živec uzavírá částečně až zcela alterovaná zrna plagioklasů, apatit a zirkon.

Plagioklas tvoří zrna velikostně podobná K-živci. Vytváří hypautumorfně omezené tabulky vyskytující se samostatně nebo uzavírané v K-živci. Plagioklas je v hornině částečně až zcela přeměněný na směs velmi jemnozrnných minerálů, z nichž opticky lze určit pouze sericit. CL studium prokázalo rovněž přítomnost karbonátů. Vzhledem k jeho silné alteraci není zachováno polysyntetické lamelování ani další znaky vnitřní stavby. Zrna plagioklasu jsou pronikána četnými karbonátovými žilkami.

Biotit je nejhojnější tmavou součástkou alterovaného durbachitu. Vyskytuje se samostatně nebo bývá uzavírán v K-živci a plagioklasu. Zpravidla je intenzivně chloritizován. Ve zkřížených nikolech se chlorit projevuje anomálně modrými až nafialovělými interferenčními barvami. Tyto anomální interferenční barvy byly pozorovány pouze u vzorků karbonatizovaných hornin. Je proto pravděpodobné, že při karbonatizaci durbachitů vzniká jiný typ chloritu, než při běžné, regionálně rozšířené alteraci biotitu. Biotit hojně uzavírá apatit a zirkon. Uzavřeniny zirkonu jsou lemovány pleochroickými dvůrky.

Amfibol je v hornině přítomen ve zcela alterovaných reliktech. Produkty přeměny tvoří nejčastěji chlorit, epidot a karbonát.

Apatit je hojným akcesorickým minerálem. Vyskytuje se stejně jako v ostatních studovaných durbachitech ve formě tence jehličkovitých až sloupečkovitých krystalů, uzavřených nejčastěji v K-živci, křemeni a biotitu.

Nejvýznamnějším radioaktivním minerálem v hornině je *zirkon*. Tvoří 0,2 mm velké krystalky, velmi často uzavřené v biotitu. O jeho radioaktivitě svědčí, podobně jako u předcházejících variet, pleochroické dvůrky. Zirkony jsou postiženy též metamiktizací, která se projevuje zakalením v centrálních částech krystalů.

Karbonát je v hornině sekundárním minerálem. Nejčastěji tvoří drobné žilky o mocnosti až 1 cm, které pronikají celou horninou. Často se vyskytuje v podobě drobných zrn nepravidelně roztroušených v amfibolu nebo nahrazuje anortitem bohatší zóny v plagioklasu. Velmi snadno je karbonát identifikovatelný v katodoluminiscenčním mikroskopu, kde jeví nápadnou oranžovou luminiscenci.

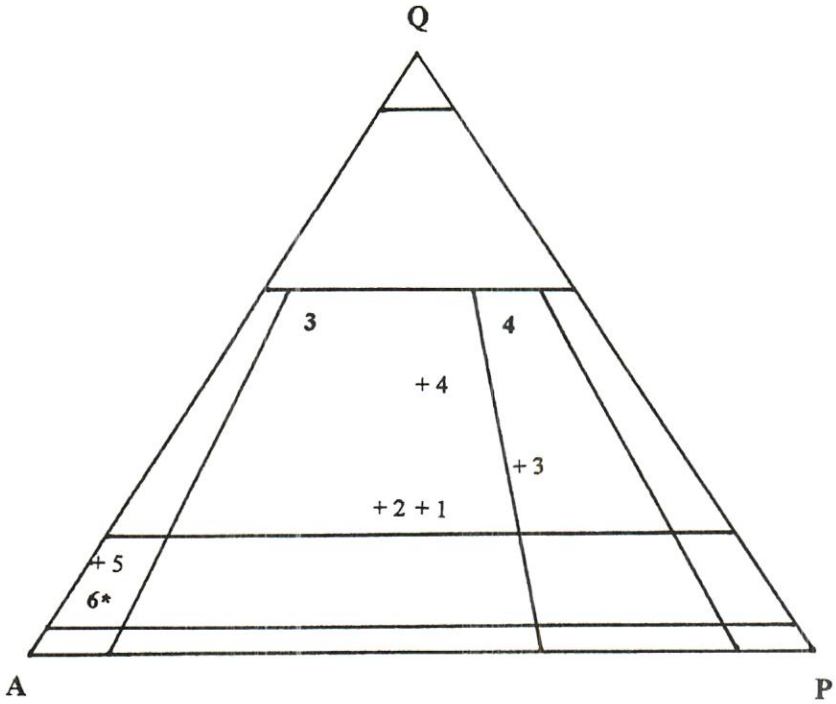
Chemismus

Výsledky silikátové analýzy a analýzy stopových prvků alterovaného durbachitu jsou uvedeny v tab. 2. Základní chemické znaky jako vysoké obsahy MgO (3,34 %),

K_2O (5,2 %) a nízké koncentrace Na_2O (2,39 %) jsou shodné s nealterovanými varietami se srovnatelným obsahem SiO_2. Alterovaný durbachit vykazuje ve srovnání s nealterovanými durbachity sníženou koncentraci CaO (2,52 %) a Sr (243,7 ppm) a zvýšené obsahy CO_2 (1,53 %) a H_2O (2 %). Toto zjištění je v plném souladu s mikroskopickým pozorováním, kdy bylo zjištěno, že alteraci podléhají nejvíce Ca minerály (bazický plagioklas, amfibol). Při alteraci uvolněné Ca a pravděpodobně i Sr je vázáno v karbonátových žilkách protínajících horninu. Protože ale byla analyzována hornina bez těchto sekundárních žilek je koncentrace Ca a Sr v takovémto vzorku pochopitelně ve srovnání s nealterovanými horninami snížena. Přítomnost karbonátů mezi sekundárními minerály svědčí pro významnou roli CO_2 bohatých fluid v procesu alterace.

Radioaktivita a magnetická susceptibilita

Naměřené koncentrace U a Th a hodnoty magnetické susceptibitlity jsou uvedeny v tab. 3. U alterovaného durbachitu byly naměřeny koncentrace 14 a 28 ppm U, koncentrace Th se pohybují okolo 64 ppm, poměry koncentrace těchto prvků Th/U jsou mezi 2,3 a 4,6. Těmito parametry zapadá alterovaný durbachit do variační šíře nealterovaných durbachitů. Karbonatizace horniny tedy nezpůsobuje větší změny koncentrací obou měřených prvků. Hodnoty magnetické susceptibility 0,17 a 0,19 10^{-3} SI se rovněž neliší od hodnot ostatních studovaných durbachitů.



Obr. 3. APQ diagram. Studované vzorky leží v poli granitu (3), granodioritu (4) a alkalicko živcového křemenného syenitu (6*).

Fig. 3. APQ diagram. Studied samples plot in the field of granite (3), granodiorite (4) and alkali-feldspar quartz syenite(6*).

Mafické uzavřeniny

Petrografie

Mafické xenolity se hojně vyskytují v celém TM a dosahují velikosti až 20 cm. Studovaná uzavřenina byla nalezena v zářezu silnice jižně od Kožichovic. Tmavě šedé až černé xenolity jsou obvykle v porovnání s běžnými durbachity jemněji zrnité, lokálně porfyrické s vyrostlicemi K-živce. Složení horniny je K-živec, biotit, amfibol (obr. 3). Zcela alterovaný plagioklas a křemen se vyskytují pouze ojediněle. Z akcesorických minerálů je zastoupen apatit a zirkon.

K-živec je především součástí základní hmoty a jen velmi zřídka tvoří porfyrické vyrostlice. Stavba těchto vyrostlic je mnohem komplikovanější než v předešlých případech (obr. 4). V těchto zrnech můžeme pozorovat tři odlišné zóny. Centrální zóna K-živce je hematitizována a pouze velmi vzácně obsahuje inkluze apatitu. V prostřední zóně se objevují uzavřeniny silně alterovaného plagioklasu, jejichž polysyntetické lamelování má shodnou orientaci. Mezi produkty rozkladu plagioklasu se v této zóně nejčastěji objevuje epidot. V okrajové zóně se vyskytuje velké množství inkluzí apatitu a biotitu. Zonální stavba K-živce byla rovněž potvrzena pozorováním v katodoluminiscenčním mikroskopu. Centrální zóna vykazuje výraznou, jasně modrou luminiscenci. Ve střední zóně s žlutohnědou luminiscencí se objevuje mnoho plagioklasových inkluzí, které podobně jako epidot nejeví luminiscenci. Okrajová zóna je tvořena mozaikovitě uspořádanými drobnými zrny K-živců s modrou, ale méně jasnou luminiscencí než zóna centrální. Jednotlivá zrna této okrajové zóny vykazují navíc vlastní zonální stavbu. V centrální části zrna byla pozorována světle modrá luminiscence, zatímco okraje zrna jeví tmavě modrou luminiscenci. Mikrosondová analýza (tab. 4) živce ze základní hmoty ukazuje na zvýšený obsah BaO (0,8 %) v porovnání s K-živci z hrubozrnných durbachitů. Obohacení živců z bazických pecek Ba zmiňuje již HOLUB (1997).

Světle zelený, slabě pleochroický *amfibol* je často obrůstán červenohnědými, výrazně pleochroickými zrny *biotitu*, který rovněž proniká podél štěpných trhlin do amfibolu a zatlačuje ho. Vysoké obsahy SiO_2 (54,5 %, tab. 4) a nízké koncentrace alkálií odpovídají aktinolitu. V chemickém složení obou minerálů (tab. 4) můžeme pozorovat výraznou převahu Mg nad Fe, poměry těchto prvků jsou proto vysoké (pro amfibol 2,04 a biotit 1,39). Tyto hodnoty jsou značně vyšší ve srovnání s hodnotami zjištěnými v hrubozrnných durbachitech (1,51 a 1,0). Změna tohoto poměru je způsobena jak zvýšeným obsahem Mg, tak i nižší koncentrací Fe v obou minerálech z bazických pecek. U obou minerálů z bazických pecek byly rovněž zjištěny nižší koncentrace TiO_2 (0,3 % vs. 0,6 % amfibol a 2,8 % vs. 3,7 % biotit). Nápadné jsou zvýšené koncentrace Cr_2O_3 (0,4 %) v biotitu. Oproti tomu koncentrace Cr v biotitech z hrubozrnných durbachitů dosahuje pouze 0,2 % Cr_2O_3.

Hojným akcesorickým minerálem je *apatit* uzavíraný především v biotitu. Výsledky jeho chemické analýzy jsou shrnuty v tab. 4. Charakteristické jsou zvýšené obsahy K_2O (0,2 %), FeO (0,5 %) a Cl (1,5 %). *Zirkon* se vyskytuje vzácněji. Podobně jako u zirkonu z hrubozrnných durbachitů jsou i v tomto případě typické vyšší obsahy HfO_2 (2 %).

Chemismus

Výsledky chemické analýzy mafické uzavřeniny jsou uvedeny v tab. 2. Nápadná je vysoká koncentrace MgO (10,4 %) při relativně vysokém SiO_2 (55,1 %). V rámci studovaných hornin vykazuje mafická uzavřenina nejvyšší poměr K/Na (4,91), daný především vysokým obsahem K_2O (6,23 %) a současně nejvyšší poměr Mg/Fe (1,72). Vysoké obsahy K a Mg jsou doprovázeny vysokými obsahy Ba (2566 ppm), Cr (630,4 ppm) a Ni

(289 ppm). Obsahy Cr jsou 1,8krát a obsahy Ni 3krát vyšší než v hrubozrnných durbachitech. Obsahy P_2O_5 (1,05 %) jsou rovněž relativně vyšší.

Radioaktivita a magnetická susceptibilita

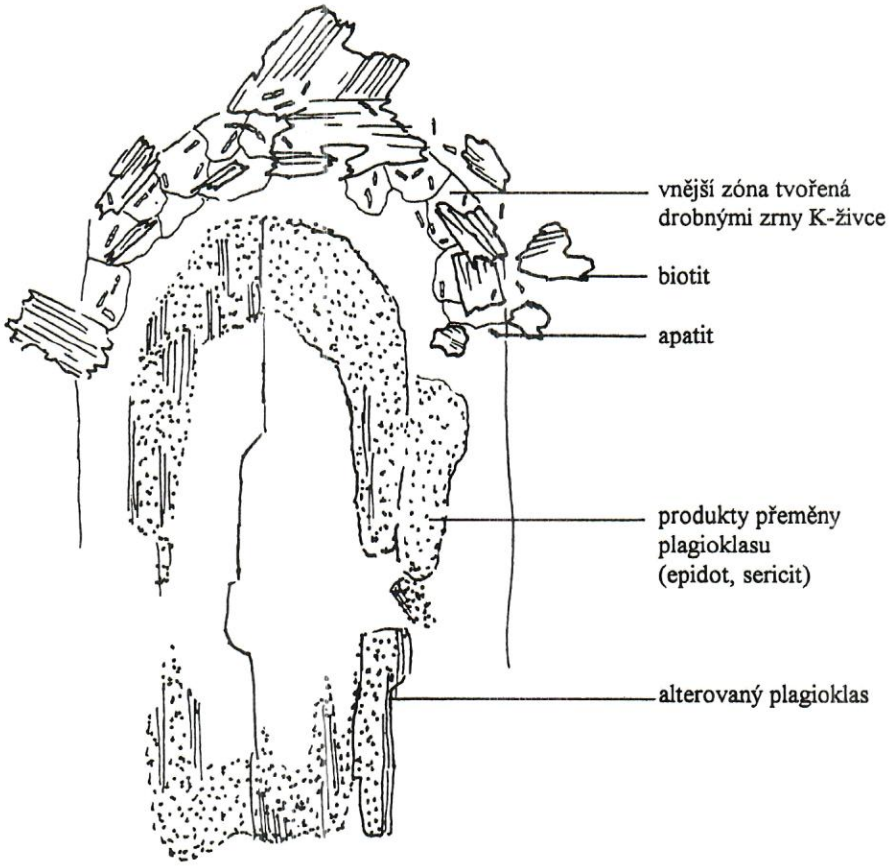
Tyto fyzikální parametry nemohly být změřeny pro velmi malé rozměry xenolitů.

Diskuse a závěry

V rámci v.-z. profilu třebíčským masivem bylo studováno několik horninových typů: hrubě zrnitý, drobně zrnitý a alterovaný durbachit a mafická uzavřenina.

Makroskopicky se navzájem tyto horniny liší především ve velikosti porfyrických vyrostlic živců. V hrubě zrnitých durbachitech dosahují živce délky až 2 cm, což je asi čtyřikrát víc než u durbachitů drobně zrnitých. Alterovaný durbachit představuje hrubozrnnou horninu s porfyrickými vyrostlicemi živců velkými okolo 1,5 cm, srovnatelnou s hrubozrnnými typy, která byla postižena sericitizací a karbonatizací. Mafická uzavřenina obsahuje vzácně, v základní jemnozrnné a velmi tmavé hmotě, vyrostlice K-živce o velikosti okolo 0.5 cm.

Z porovnání minerálního složení durbachitů vyplývají rovněž výraznější rozdíly v zastoupení K-živců a plagioklasů. Hrubě zrnitý a alterovaný durbachit se vyznačují pře-



Obr. 4. Vyrostlice K-živce (skutečné velikost 0,5 cm) v bazické uzavřenině, vysvětlení v textu.
Fig. 4. The phenocryst of K-feldspar (real size 0,5 cm) in the mafic xenolith, explanation in the text.

vahou K-živce nad plagioklasem, na rozdíl od jemnozrnného durbachitu, kde jsou obsahy K-živce a plagioklasu vyrovnané. Bazická uzavřenina obsahuje pouze alterované plagioklasy uzavírané jako relikty v K-živci.

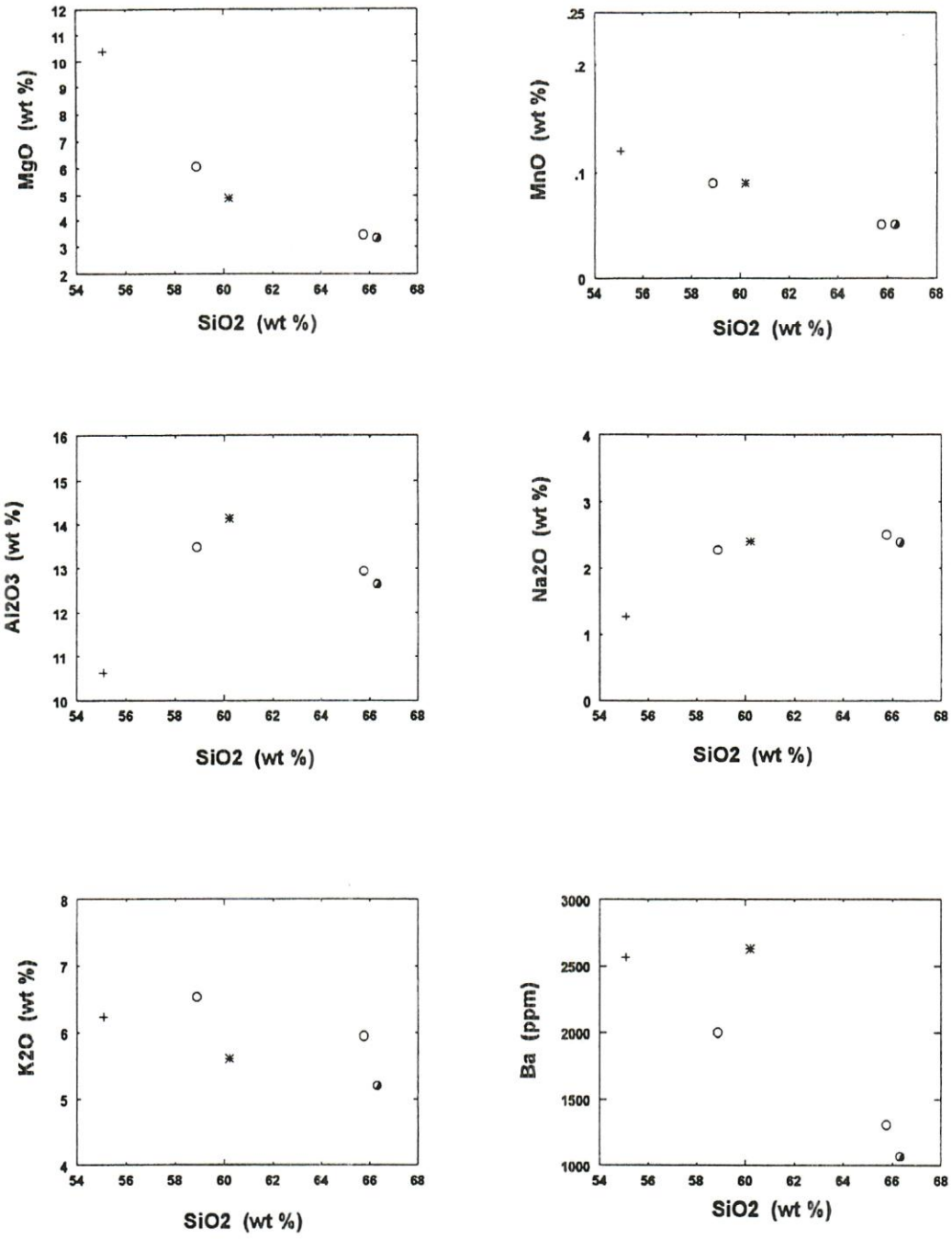
Ve všech typech studovaných hornin bylo pozorováno zatlačování plagioklasu K-živcem a obrůstání amfibolu biotitem. Také složitá pseudozonální stavba vyrostlic K-živce se vyskytuje ve všech horninových typech. Kromě změn v zastoupení jednotlivých minerálů byly pozorovány i systematické změny v jejich chemismu. Amfiboly a biotity z bazické uzavřeniny mají vyšší poměr Mg/Fe a nižší obsah K_2O a TiO_2 v porovnání s obdobnými minerály z hrubozrnných durbachitů. Biotit vykazuje rovněž zvýšené koncentrace Cr (0,4 % Cr_2O_3) a K-živce z bazické pecky vyšší koncentrace Ba (0,8 % BaO).

Charakteristickým společným znakem všech studovaných durbachitů jsou vysoké koncentrace MgO (3,3–10,4 %), K_2O (5,2–6,5 %) a nízké koncentrace Na_2O (1,3–2,5 %). Uvedený chemismus se v rámci minerálního složení projevuje vysokým podílem Mg-Fe silikátů, zejména biotitu (až 20 %), a vysokým obsahem K-živce (až 57 %). Koncentrace Al_2O_3 kolísá mezi 10,6 a 14,1 %, CaO mezi 3,2–6 %. Poměrně nízkému obsahu Al_2O_3 při současném vysokém obsahu K_2O a CaO odpovídají nízké hodnoty A.S.I (0,53 – 0,89). Obsah SiO_2 koreluje negativně s MgO, MnO, FeO, Cr, Ni a Y (obr. 5). Závislosti obsahu Al_2O_3, CaO, Na_2O, K_2O, Ba a Sr na SiO_2 nejsou jednoznačné. Al_2O_3 a Na_2O nejdříve prudce stoupají, Al_2O_3 z 10,6 % na 14,1 %, Na_2O z 1,3 % na 2,4 %. V SiO_2 bohatších horninách zůstává jejich koncentrace stejná nebo dokonce mírně klesá (obr. 5). K_2O a Ba vykazují generelně negativní korelaci s SiO_2 avšak se značnými odchylkami. CaO a Sr vykazují opět spíše negativní korelaci s SiO_2, jejich koncentrace je ale silně ovlivněna sekundární karbonatizací. Zajímavým zjištěním je, že prvky obsažené v převážné míře v tmavých minerálech vykazují negativní závislost na SiO_2, zatímco prvky obsažené především v živcích vykazují většinou nejednoznačné korelace. Ve shodě s HOLUBEM (1997) bylo zjištěno, že horniny s nejvyšším poměrem Mg/Fe vykazují i nejvyšší poměr K/Na. HOLUB (1997) interpretuje genezi širokého spektra durbachitických hornin (SiO_2 55–67 %) jako produkt míchání alkalického ultrabazického magmatu s magmatem korovým. Výsledky analýz uvedených v tab. 2 spadají do pole vymezeného krajním bazickým a krajním kyselým členem, ve kterém podle HOLUBA (1997) leží durbachity, vzniklé jako produkt míchání těchto dvou koncových členů. Údaje uvedené v této práci jsou tedy v dobrém souladu s touto hypotézou.

Zatlačování plagioklasů K-živcem a aktinolitu biotitem, pozorované ve všech typech studovaných hornin včetně mafických uzavřenin, nasvědčuje tomu, že K-bohaté minerály krystalizovaly v závěrečných fázích a minimálně zčásti nahradily primární, draslíkem chudší minerální paragenezi, ve které se výrazně uplatňoval ortopyroxen, klinopyroxen a bazický plagioklas. O pozdější krystalizaci biotitu svědčí kromě jeho vztahu k amfibolu i výrazně nižší poměr Mg/Fe. Rovněž špatná korelace mezi SiO_2 a K_2O, Na_2O, Ba a Sr by mohla dokládat jejich redistribuci jako důsledek zatlačovaní plagioklasu K-živcem v závěrečných fázích krystalizace magmatu. Nahrazování plagioklasu K-živcem a amfibolu biotitem v mafické uzavřenině ukazuje, že její složení nemusí reprezentovat složení primárního bazického magmatu, ale že zejména její ultradraselný charakter je alespoň částečně sekundárním jevem.

GARCIA et al. (1996) popisuje významné změny minerálního a chemického (zejm. koncentrace Na, K a Ca) složení v důsledku metasomatického nahrazení K-živce plagioklasem v enklávách granitoidů. Za zdroj Na-bohatých fluid vyvolávající alteraci xenolitů považuje hydrotermální roztok, derivovaný při krystalizaci granitu.

V případě TM, je ale nahrazování plagioklasu K-živcem typické pro všechny horninové typy a není omezeno pouze na xenolity. Z toho vyplývá, že alteraci byly vystaveny značně větší objemy hornin než v případě pouhé alterace xenolitů. Vzhledem k tomu, že



Obr. 5. Variační diagramy durbachitů třebíčského masivu: prázdný kroužek – hrubozrnný durbachit, hvězdička – drobnozrnný durbachit, plný kroužek – alterovaný durbachit, křížek – mafická uzavřenina.
Fig. 5. Variation diagrams for durbachites from Třebíč Massif: open circle – coarse-grained durbachite, star – fine-grained durbachite, black circle – altered durbachite, cross – mafic xenolith.

k takovéto alteraci bylo potřeba enormní množství draslíku, je pravděpodobná přímá souvislost alterace s magmatem, z něhož krystalizovaly durbachity TM. Přítomnost chlóru v apatitu a zejména v sekundárním skapolitu může indikovat přítomnost chlóru při krystalizaci horniny, popřípadě ve fluidní fázi. HOLUB (1997) předpokládá, že homogenizace dvou „rodičovských" magmat proběhla ve značných hloubkách. K uvolnění fluid došlo pravděpodobně v důsledku rychlé dekomprese při výzdvihu východního okraje českého masívu v závěru variské orogeneze (NEUBAUER 1995, OTAVA 1998).

Durbachity ve studovaném profilu se projevují značnými výchylkami v koncentracích U a Th. Koncentrace Th u hrubozrnných durbachitů byly gamaspektrometricky stanoveny v rozmezí od 11,2 do 74,8 ppm. Obsahy U jsou nižší a pohybují se od 5,5 do 33 ppm. Vypočtené poměry obou prvků se pohybují mezi 1,7 a 7,7. U jemnozrnných durbachitů byly naměřeny obsahy U 7,4 a Th 54,3 ppm, poměr Th/U je 7,3. Alterované durbachity vykazují koncentrace U 14 a 28 ppm a koncentrace Th je 64 ppm. Poměry těchto prvků mají hodnotu 2,3 a 4,6. U všech typů durbachitů je zřetelná převaha Th nad U. V případě drobně zrnitých i alterovaných durbachitů není patrná výrazná změna v koncentracích měřených prvků. Alterace horniny pravděpodobně neovlivnila přítomnost radioaktivních prvků.

Stanovené hodnoty magnetické susceptibility ve studovaném profilu jsou značně variabilní, pohybují se mezi 0,05 a 0,34 10^{-3} SI. Tyto hodnoty ovlivňuje především zastoupení mafických minerálů v hornině.

Metodika

Chemické složení minerálů bylo stanoveno na katedře mineralogie, petrografie a geochemie MU elektronovým mikroskopem (CAM SCAM, s připojením EDX analyzátoru AN 10 000, načítání 20 kV, doba načítání 100 s). U vybraných vzorků byla v laboratoři na téže katedře provedena, analytikem Kadlecem, mokrou cestou silikátová analýza. Koncentrace stopových prvků ICP metodou byly provedeny Dr. Jamborem, na katedře analytické chemie PřF MU Brno. Ke stanovení koncentrace U a Th bylo využito terénního gamaspektrometru GS-256 se scintilačním detektorem, magnetická susceptibilita byla měřena pomocí kapametru KT-5.

Klasifikační diagram APQ (LE MAITRE 1989) byl sestaven na základě chemických analýz přepočtených podle mesonormy. Modální analýzy nebyly provedeny pro jejich nespolehlivost způsobenou hrubě porfyrickou stavbou horniny.

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala RNDr. S. Houzarovi a Doc. RNDr. M. Novákovi, CSc. za pomoc v terénu a četné diskuse. Za provedení EMP analýz děkuji Dr. V. Vávrovi. Recenzentovi RNDr. P. Uherovi, CSc. děkuji za připomíky, které pomohly zlepšit úroveň článku. Uváděný výzkum byl proveden v rámci grantu GA ČR 205/99/0567.

SUMMARY

Durbachitic rocks are extremely rich in potassium in combination with high content of MgO. The characteristic features are markedly by high content of Cr, Ni and high concentration of LILE (Rb, Cs, Ba) and radioactive elements (Th, U).

Four types of durbachites – coarse-grained durbachites, fine-grained durbachites, alterated durbachites and mafic xenoliths – were distinguished in the westeastern profile across the Třebíč batholith.

The coarse-grained durbachites are porphyritic rocks with K-feldspar phenocryst up to 2 cm. Modal composition comprises K-feldspar (up to 57%), plagioclase (8.8–20%), quartz, biotite (Mg/Fe 0.99), actinolite (Mg/Fe 1.51), relics of clinopyroxene, chlorite, apatite and zircon. The size of K-feldspar phenocrysts is rich

only 0.5 cm in the fine-grained durbachites, K-feldspar content is lower, plagioclase increases up to 29%. Altered durbachites developed from the coarse-grained ones as a consequence of later carbonatization. Mafic xenolites form nodules up to 20 cm in diameter in the durbachites. They are fine-grained with K-feldspar phenocryst, and biotite (Mg/Fe 1.38), actinolite (Mg/Fe 2.03), K-feldspar, relics of plagioclases, rare quartz, apatite and zircon in the matrix.

The replacement of plagioclase by K-feldspar, and amphibole by biotite was observed in all rock types. It means, that the primary mineralogy and geochemistry were probably affected in the late stages of the crystallization. Because even the mafic enclaves were strongly affected by these replacement processes, their compositions probably do not represent composition of the primary melt.

The high concentrations of K_2O (5.2–6.5%), MgO (3.3–10.4%), Ba (1069–2630), Cr (198–630 ppm), Ni (63–289 ppm), Zr (174–476), and low concentration of Na_2O (1.3–2.5%) are the most remarkable features from the geochemical point of view. Relative low content of Al_2O_3 (10.6–14.1%) together with high K_2O a CaO (3.2–6%) causes low value of A.S.I. (0,53–0,89). Elements hold mostly in ferromagnesian minerals e.g. MgO, FeO, Cr, Ni and Y correlate negatively with SiO_2. Dependence of "feldspar" elements like Na_2O, K_2O, CaO, Ba and Sr on SiO_2 is not so obvious. The heterogeneous behavior of feldspar elements may indicate theirs redistribution in the late stages of the crystallization as a consequence of plagioclase alteration.

Durbachites display considerable variation in the concentration of U and Th. The Th concentration in coarse-grained durbachites ranges from 11.2 to 74.8 ppm. The contents of U are lower, between 5.5 and 33 pm, Th/U fluctuate between 1.7 and 7.7. Fine-grained durbachite with U 7.4 ppm, Th 54.3 ppm and Th/U ratio 7.3 together with alterated durbachites (U 14–28 ppm, Th 64 ppm, Th/U ratio 2.3–4.6) does not differ significantly from the coarse-grained durbachites.

The values of magnetic susceptibility show large scale variation between 0,05 to 0,34 10–3 SI units. These values show a positive dependence on the content of the ferromagnesian minerals.

LITERATURA

BUBENÍČEK, J., 1968: Geologický a petrografický vývoj třebíčského masivu. – Čas. Mineral. Geol., 13:285–299. Praha.

DEER, W., HOWIE, R. A., ZUSSMAN, J., 1992: An introduction to the Rock–forming Minerals. 696 p. – Longmen, Essex.

FIALA, J., VAŇKOVÁ, V., WENZLOVÁ, M., 1983: Radioactivity of selected durbachites and syenites of the Bohemian Massif. – Čas. Mineral. Geol., 28:1–16. Praha.

FOLEY, S. F., VENTURELLI, G., GREEN, D. H., TOSCANI, L., 1987: The ultrapotassic rock: characteristic, classification, and constraints for petrogenetic models. – Earth Sci. Rev. 24:81–134.

GARCIA, D., PASCAL, M. L., ROUX, J., 1996: Hydrothermal replacement of feldspars in igneous enclaves of the Velay granite and the genesis of myrmekites. – Eur. J. Mineral. 8:703–717. France.

GERDES, A., WÖRNER, G., FINGER, F., 1998: Large chemical variations in the Variscan Rastenberg pluton caused by mixing enriched mantle magmas with crustal melts. – Acta. Univ. Carol. Geol. 42:256. Praha.

HOLUB, F. V., 1977: Petrology of Inclusion as a Key to Petrogenesis of the Durbachitic Rocks from Czechoslovakia. – TMPM Tschermaks Min. Petr. Mitt. 24:133–150. Praha.

HOLUB, F. V., 1997: Ultrapotassic plutonic rocks of the durbachite series in the Bohemian Massif: Petrology, geochemistry and petrogenetic interpretation. – Sbor. Geol. Věd. ř. ložisk. Geol. Mineral., 31:5–26. Praha.

CHAPPEL, B. W., WHITE, A. J. R., 1992: I- and S- type granites in the Lachlan Fold Beld. – Transaction of the Royal Society of Edinburg: Earth Sciences. 83:1–26. Edinburg.

JAKEŠ, P., 1968: Variace chemického a modálního složení táborského masivu. – Čas. Min. Geol. 13:63–73. Praha.

JANOUŠEK, V., ROGERS, G., BOWES, D. R., 1995: Sr-Nd isotopic constraints on the petrogenesis of the Central Bohemian Pluton, Czech Republic. – Geol. Rundsch., 84:520–534.

KOLLER, F., KLÖTZLI, U., 1998: The evolution of the South Bohemian Pluton. – Excursion guide. Genetic significance of phosphorus in fractionated granite. 11–14. ČGU Praha.

LA MAITRE, R. W., (ed.), 1989: A Classification of Igneus Rocks and Glossary of Terms. – Blackwell Scientific Publications. Oxford, London, Edinburg, Boston, Melbourne.

LEICHMANN, J., ŠTELCL, J., ZACHOVALOVÁ, K., 1998: The correlation between radioactivity and mineral assemblages: an example from alkali feldspar syenites; Gföhl Unit, Moldanubian zone. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 83:73–84. Brno.

NĚMEC, D., 1982: Randaplite des Massivs von Třebíč–Meziříčí (Westmähren). – Chem. D. Erde. 41:7–17.

NEUBAUER, F., 1995: Emplacement of granulite-mantle wedges in orogenes: the southeastern Bohemian Massif. – Journ. Czech Geol. Soc. 40:31–32. Praha.

OTAVA, J., 1998: Material evidence of granulite uplift in Variscan siliciclastics: Bohemian Massif. – Acta Univ. Carol. 42:315. Praha.

SCHALTTEGER, U., 1997: Magma pulses in the Central Variscan Belt: episodic melt generation and emplacement during lithospheric thinning. – Terra Nova. Vol 9. No. 5/6, 242–245.

STÁRKOVÁ, I., VESELÁ, M., MOUPIC, Z., CHMELAŘ, J., 1993: Příspěvky k problematice západomoravského krystalinika. – Geologie Moravy a Slezska. 15–28. Brno.

TONIKA, J., 1970: Geologie a petrografie jihlavského masivu. – Sbor. Geol. Věd. ř. Geol., 17:105–119. Praha.

ZACHOVALOVÁ, K., 1998: Petrologie a chemismus durbachitů třebíčského masivu a jejich vztah k vybraným petrofyzikálním parametrům studovaných hornin. – MS, Přírodovědecká fakulta MU. Brno.

Tab. 1. Mikrosondové analýzy vybraných minerálů hrubozrnných durbachitů: 1–4 – K-živec; 5 – alterovaný plagioklas); 6, 7 – biotit, 8 – aktinolit; 9 – zirkon (K-živec, plagioklas – přepočteno na 8 aniontů, biotit, aktinolit – přepočteno na 24 aniontů, zirkon– přepočteno na 4 anionty).

Tab. 1. Electron microprobe analyses of selected minerals from coarse-grained durbachites: 1–4 – K-feldspar 5 – altered plagioclase; 6, 7 – biotite 8 – actinolite 9 – zircon (K-feldspar, plagioclase – formula contents on a basis of 8 anions, biotite, actinolite – formula contents on basis of 24 anions, zircon-formula contents on basis of 4 anions).

Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO_2	66,46	64,52	63,90	63,94	42,50	38,44	38,87	50,58	33,19
TiO_2	–	–	–	–	–	3,64	3,78	0,60	–
Al_2O_3	18,19	18,15	18,07	17,73	22,67	13,23	13,14	3,57	–
FeO	–	–	–	–	–	14,89	14,76	10,32	–
MnO	–	–	–	–	–	–	–	0,32	–
MgO	–	–	–	–	–	14,62	14,72	15,60	–
CaO	–	–	–	–	26,68	–	–	11,58	–
Na_2O	0,46	1,18	1,26	0,69	–	–	–	0,83	–
K_2O	16,08	14,26	14,45	15,23	–	9,59	9,66	0,38	–
BaO	0,38	0,75	0,48	0,37	–	–	–	–	–
Cr_2O3	–	–	–	–	–	0,22	0,15	–	–
ZrO_2	–	–	–	–	–	–	–	–	65,50
HfO_2	–	–	–	–	–	–	–	–	1,96
Cl	–	–	–	–	0,64	–	–	–	–
H_2O*	–	–	–	–	–	1,91	1,92	2,01	–
Total	101,57	98,85	98,15	97,97	92,48	96,54	97,00	95,79	100,65
Mg/Fe	–	–	–	–	–	0,98	1,00	1,51	–
Si^{4+}	3,02	3,01	3,00	3,01	2,21	6,04	6,08	7,56	1,01
Ti^{4+}	–	–	–	–	–	0,43	0,45	0,07	–
Zr^{4+}	–	–	–	–	–	–	–	–	0,97
Hf^{4+}	–	–	–	–	–	–	–	–	0,02
Al^{3+}	0,98	0,10	1,00	0,99	1,39	2,45	2,41	0,63	–
Cr^{3+}	–	–	–	–	–	0,03	0,01	–	–
Fe^{2+}	–	–	–	–	–	1,96	1,93	1,29	–
Mn^{2+}	–	–	–	–	–	–	–	0,04	–
Mg^{2+}	–	–	–	–	–	3,43	3,42	3,47	–
Ca^{2+}	–	–	–	–	1,49	–	–	1,86	–
Ba^{2+}	0,01	0,02	0,01	0,01	–	–	–	–	–
Na^{+}	0,04	0,11	0,12	0,06	–	–	–	0,23	–
K^{+}	0,93	0,85	0,87	0,92	–	1,93	1,93	0,08	–
Cl^{-}	–	–	–	–	0,06	–	–	–	–
Catsum	4,98	4,97	4,99	4,98	5,15	16,26	16,23	15,22	2,00

* Vypočteno ze stechiometrie.
Determined by stoichiometry.

Tab. 2. Silikátové analýzy (obsahy v hm %) a obsahy stopových prvků (v ppm) studovaných hornin:
1, 2 – hrubě zrnitý durbachit; 3 – drobně zrnitý durbachit; 4 – alterovaný durbachit; 5 – mafická uzavřenina.
Table 2. Major oxides (in wt. %) and trace element (in ppm) analyses of studied durbachitic rocks:
1, 2 – coarse-grained durbachite 3 – fine-grained durbachite 4 – altered durbachite 5 – mafic xenolith.

Sample	1	2	3	4	5
SiO_2	58,88	65,75	60,22	66,31	55,08
TiO_2	1,00	0,60	0,94	0,56	0,90
Al_2O_3	13,48	12,94	14,14	12,64	10,62
Fe_2O_3	0,57	0,53	0,72	0,25	0,26
FeO	4,35	2,41	4,03	2,73	5,73
MnO	0,09	0,05	0,09	0,05	0,12
MgO	6,06	3,46	4,90	3,34	10,37
CaO	3,97	3,22	3,28	2,52	5,98
Na_2O	2,27	2,50	2,40	2,39	1,27
K_2O	6,53	5,95	5,61	5,20	6,23
P_2O_5	0,81	0,43	0,61	0,48	1,05
S	0,09	0	0	0	0
CO_2	0,51	0,26	0,24	1,53	0,36
$-H_2O$	0,20	0,26	0,30	0,29	0,24
$+H_2O$	1,02	1,13	2,13	1,85	1,34
Total	99,83	99,49	99,61	100,14	99,55
Mg/Fe	1,22	1,16	1,02	1,11	1,72
K/Na	2,88	2,38	2,34	2,18	4,91
Ba	2002,3	1310,6	2630,8	1068,6	2566,3
Co	30,7	22,0	31,3	20,2	46,1
Cr	349,1	198,1	312,7	224,2	630,4
Nb	71,8	37,1	45,4	37,7	60,8
Ni	97,2	63,3	86,1	64,4	289,0
Sr	461,3	348,7	441,8	243,7	408,6
V	96,0	59,8	96,5	64,7	97,4
Y	10,2	7,7	13,4	7,0	19,4
Zr	476,3	358,6	174,5	314,6	416,1

Tab. 3. Koncentrace U a Th a magnetické susceptibility ve studovaných durbachitech:
1–25 – hrubě zrnitý durbachit; 26, 27 – alterovaný durbachit; 28 – drobně zrnitý durbachit.
Table 3. Th and U concentrations and magnetic susceptibility in the studied durbachites:
1–25 – coarse-grained durbachite 26, 27 – altered durbachite 28 – fine-grained durbachite.

Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
U [ppm]	6,6	6,1	8,7	5,5	6,4	7,0	32,1	7,7	27,3	13,7	14,0	20,1	9,5	13,3
Th [ppm]	17,0	13,7	31,7	11,2	22,3	19,0	74,8	44,6	60,1	48,2	54,6	60,1	49,2	52,4
Th/U	2,6	2,3	3,6	2,0	3,6	2,7	2,3	5,8	2,2	3,5	3,9	3,0	5,2	3,9
κ [10^{-3}SI]	0,09	0,26	0,13	0,30	0,33	0,14	0,21	0,09	0,24	0,24	0,27	0,25	0,24	0,25

Sample	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
U [ppm]	8,2	18,8	18,0	14,2	18,9	31,0	7,7	6,4	12,8	8,2	28,3	13,9	28,2	7,4
Th [ppm]	28,0	47,3	51,9	28,7	50,4	51,3	53,7	46,5	43,3	43,7	55,5	63,8	64,1	54,3
Th/U	3,4	2,5	2,9	2,0	2,7	1,7	7,7	7,3	3,4	5,3	2,0	4,6	2,3	7,3
κ [10^{-3}SI]	0,21	0,34	0,21	0,24	0,29	0,20	0,21	0,17	0,12	0,11	0,25	0,19	0,17	0,21

Tab. 4. Mikrosondové analýzy hlavních minerálů z mafické uzavřeniny: 1 – K-živec; 2 – aktinolit; 3 – biotit; 4 – apatit; 5 – zirkon (K-živec – přepočteno na 8 aniontů, aktinolit, biotit – přepočteno na 24 aniontů, apatit – přepočteno na 12 kyslíků, zirkon – přepočteno na 4 anionty).

Table 4. Electron microprobe analyses of selected minerals from mafic xenolith: 1 – K-feldspar 2 – actinolite 3 – biotite 4 – apatite 5 – zircon (K-feldspar – formula contents on a basis of 8 anions, actinolite, biotite – formula contents on a basis of 24 anions, apatite – formula contents on a basis of 12 anions, zircon – formula contents on a basis of 4 anions).

Sample	1	2	3	4	5
SiO_2	65,74	54,53	38,48	0,53	33,38
TiO_2	–	0,32	2,80	–	–
Al_2O_3	18,50	2,82	13,11	–	–
FeO	–	8,80	11,66	0,47	–
MnO	–	0,25	–	–	–
MgO	–	17,92	16,21	–	–
CaO	–	11,78	–	54,17	–
BaO	0,75	–	–	–	–
Na_2O	1,08	0,76	–	–	–
K_2O	15,22	0,24	9,43	0,19	–
Cr_2O_3	–	–	0,37	–	–
Cl	–	–	–	1,46	–
P_2O_5	–	–	–	41,03	–
ZrO_2	–	–	–	–	65,79
HfO_2	–	–	–	–	2,03
H_2O*	–	2,12	1,89	–	–
Total	101,29	99,54	93,95	97,84	101,19
Mg/Fe	–	2,04	1,39	–	–
P^{5+}	–	–	–	2,85	–
Si^{4+}	3,00	7,73	6,12	0,04	1,01
Ti^{4+}	–	0,03	0,34	–	–
Zr^{4+}	–	–	–	–	0,97
Hf^{4+}	–	–	–	–	0,02
Al^{3+}	0,10	0,47	2,45	–	–
Cr^{3+}	–	–	0,05	–	–
Fe^{2+}	–	1,04	1,55	0,03	–
Mn^{2+}	–	0,04	–	–	–
Mg^{2+}	–	3,78	3,84	–	–
Ca^{2+}	–	1,79	–	4,76	–
Ba^{2+}	0,01	–	–	–	–
Na^{+}	0,10	0,22	–	–	–
K^{+}	0,89	0,04	1,91	0,02	–
Cl^{-}	–	–	–	0,20	–
Catsum	4,99	15,14	16,25	7,90	2,00

* Vypočteno ze stechiometrie.
Determined by stoichiometry.