

# BIOTIT A AMFIBOL Z ULTRADRASELNÝCH HORNIN JIHLAVSKÉHO PLUTONU – PRODUKTY SEKUNDÁRNÍ HYDRATAČE PYROXENU

Biotite and amphibole from ultrapotassic rocks, Jihlava pluton  
– secondary products of pyroxene hydration

**Jana Suchánková, Jaromír Leichmann, Josef Zeman**

Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; email: ja.su@mail.muni.cz

(23-23 Jihlava)

**Key words:** *Jihlava pluton, syenites, ferromagnesian minerals, hydration*

### Abstract

*Syenites from the Jihlava pluton contain a broad spectrum of ferromagnesian minerals. Clinopyroxene (Cpx), Orthopyroxene (Opx), Biotite (Bt) and Cumingtonite (Cum) and Actinolite (Act). Clino- and orthopyroxenes exhibit structures eg. zoning, admixtures typical for magmatic phases. Cumingtonite is partly product of hypersthene hydration, whereas actinolite originated on the expense of augite. Biotite grows at the contact between hypersthene and K-feldspar via reaction  $3\text{Opx} + \text{Kfs} = \text{Bt} + 3\text{Qtz}$ . Because of hypersthene contains common admixtures of Cpx and K-feldspar contains myrmekites of andesine composition, therefore small amount of actinolitic hornblende originated during this reaction in addition. Much larger amount of actinolite, together with plagioclase was produced during the reaction between augite and K-feldspar – apart from prevailing biotite and quartz. Observed reactions indicate that the magma was dry and intrudes probably in the lower crust conditions, and was partly hydrated and reequilibrated during subsequent rapid exhumation.*

### Úvod

Ultradraselné horniny představují díky svému chemismu i minerálnímu složení častý objekt zájmu petrologů. Ultradraselné horniny jihlavského plutonu jsou svým složením blízké horninám durbachitové serie (Holub 1997). Podobně jako durbachity, jsou i pro horniny jihlavského plutonu (Bowes – Košler 1993, Kotková et al. 2003) charakteristické  $\text{MgO} > 3$  hmot. % a  $\text{K}_2\text{O} > 3$  hmot. % a poměr  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 2$  (Foley et al. 1987). Typické jsou rovněž nápadně zvýšené obsahy Cr, Rb, Ba, Th a U. Horniny jihlavského plutonu se od klasických durbachitů, které jsou výrazně porfyrické a mezi mafickými minerály převažuje biotit a aktinolit, odlišují svojí převážně neporfyrickou stavbou a částečně i minerálním složením, kterým odpovídají Bt-Opx-Cpx monzonitům až melasyenitům s přechody až do melagranitů. Jihlavský pluton vytváří oválné těleso protažené ve směru SSZ-JJV ležící východně až jihovýchodně od Jihlavy. Horniny jihlavského plutonu jsou karbonského stáří  $335,2 \pm 0,54$  Ma (Kotková et al. 2003).

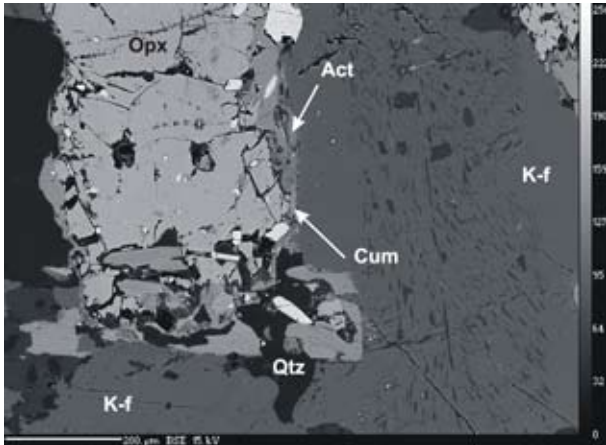
Studované horniny pocházejí z lomu Kosov, který se nachází přibližně 4 km východně od Jihlavy. Svým modálním složením odpovídají převážně křemenným monzonitům. Studované vzorky jsou tmavé, středně zrnité, z mafických minerálů obsahují klinopyroxen, ortopyroxen, biotit a amfibol. Ortopyroxen je hojnější v mafičtějších typech odpovídajících monzogabrům (Leichmann – Švancara 2005). Světlé minerály jsou zastoupeny porfyrickými, perthitickými vyrostlicemi draselného živce, plagioklas je přítomný v proměnlivém množství a nikdy netvoří vyrostlice, obsah křemene většinou nepřesahuje 5 %. Akcesoricky je zde rutil, ilmenit, apatit, allanit, monazit, zirkon a titanit. Rutil tvoří jehličkovité inkluze

v obou živcích, apatit a monazit se vyskytují převážně jako inkluze v mafických minerálech. Pozoruhodný je zejména výskyt Fe-Mg minerálů, kde se v jednom vzorku vyskytují vedle sebe bezvodé pyroxeny, hydratované amfiboly a biotit indikující značný význam vody ve vývoji syenitů jihlavského plutonu. Vztahy mezi jednotlivými minerály jsme se pokusili dešifrovat s pomocí klasické polarizační mikroskopie, katodoluminiscenční mikroskopie (CL) a elektronové mikroskopie.

### Výsledky

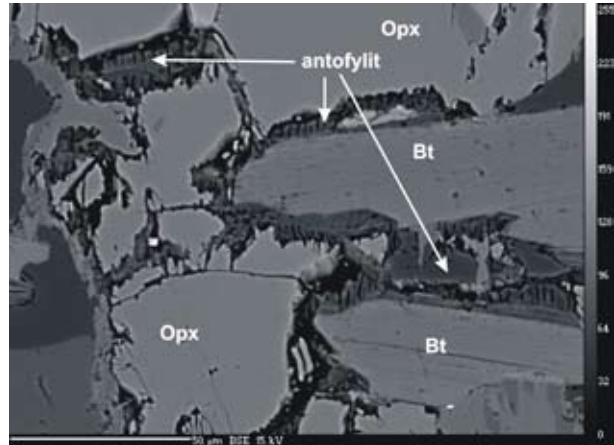
Draselné živce, plagioklasy a pyroxeny vykazují znaky typické pro minerály krystalizující z taveniny. Draselný živec, zejména jeho vyrostlice, vykazuje v katodové luminiscenci (CL) výraznou oscilační zonálnost. Mikrosondové (EMS) studium této stavby ukázalo, že zóny s výraznější CL jsou oproti zónám v CL relativně tmavším obohaceny baryem. K-živec je rovněž silně perthitický, obsah anortitové komponenty v drobných jehličkovitých perthitech dosahuje 34 až 42 %. Oba živce obsahují uzavřeniny prizmatického až jehlicovitého rutilu, průměr jednotlivých jehlic rutilu se pohybuje okolo 1  $\mu\text{m}$ , délka dosahuje několika desítek mikrometrů. Uzavřeniny rutilu se častěji vyskytují v draselném živci, v plagioklasech jsou vzácnější. Plagioklasy vykazují jak v CL, tak i v odražených elektronech (BSE) jednoduchou zonálnost s An bohatším jádrem (An 55) a Ab bohatším okrajem (An 40). Klinopyroxen, který svým chemismem odpovídá augitu, jehož X<sub>Mg</sub> se v závislosti na celkovém složení horniny pohybuje od 0,84 do 0,70. Obsahuje velmi četné, pouze několik mikrometrů velké odmišeny ortopyroxenu, odmišeny klinopyroxenu v ortopyroxenu jsou vzácnější.

hyperstenu (Xmg 0,60). Podobně jako v případě K-živce, byly i v ortopyroxenu pozorovány drobné prizmatické uzavřeniny rutilu. Ve srovnání s rutilem uzavíraným v K-živci jsou sloupečky rutily z ortopyroxenu poněkud kratší a silnější. Oba pyroxeny bývají slabě zonální s přibývajícím Fe od středu k okrajům zrn.

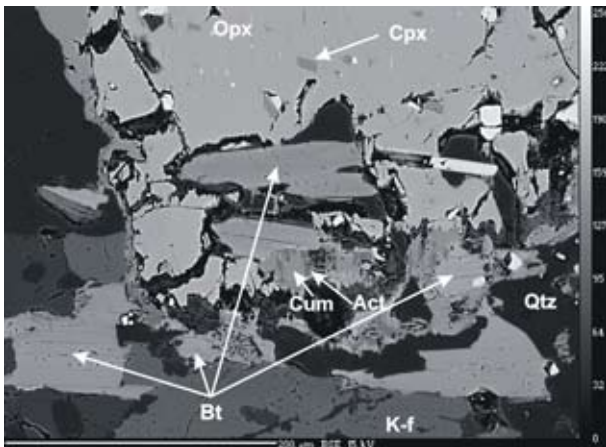


Obr. 1 – Reakce mezi ortopyroxenem a draselným živcem produkující kromě biotitu a křemene, aktinolit, cummingtonitu.  
Fig. 1 – Reaction between orthopyroxene and K-feldspar producing actinolite, cummingtonite, biotite and quartz.

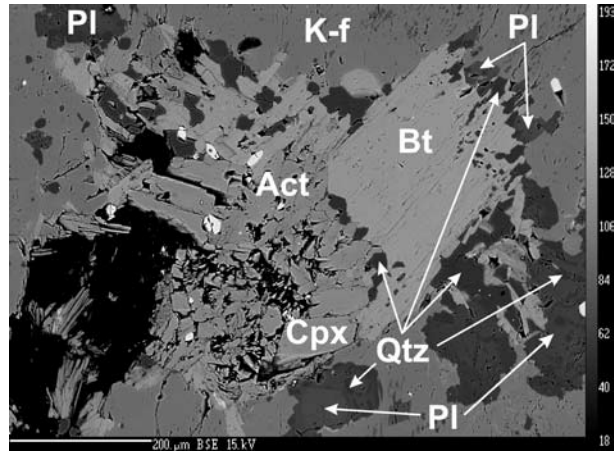
podstatně složitější reakci mezi Cpx a K-živcem. Obr. 1 zachycuje celkovou situaci počínající reakce mezi Opx (Xmg 0,60, světlé zrnó v levé části snímku) a K-živcem v pravé a spodní části snímku. Opx obsahuje drobné odmíšeniny augitu (Xmg 0,73). Při pravém okraji Opx na styku s K-živcem je vyvinut nepravidelný tenký lem tvořený



Obr. 3 – Antofylit na kontaktu mezi Opx a Bt a na trhlinách v Opx.  
Fig. 3 – Antophyllite at the contact between Opx and Bt and along the cracks in Opx.



Obr. 2 – Detail reakce z obr. 1. s patrnými produkty reakce – biotitem, křemenem, amfiboly a symplektitickým prorůstáním křemene a biotitu.  
Fig. 2 – Detail from Fig. 1 with products of reaction – biotite, quartz, amphiboles and biotite-quartz symplectites.



Obr. 4 – Reakce mezi klinopyroxenem a K-živcem produkující vedle biotitu a křemene rovněž významnější množství aktinolitu a An bohatého plagioklasu (An<sub>24-55</sub>).  
Fig. 4 – Reaction between clinopyroxene and K-feldspar producing, apart from biotite and quartz, actinolite and plagioclase (An<sub>24-55</sub>).

Ortopyroxen často podléhá úplné hydrataci a přeměňuje se na cummingtonit, klinopyroxen (Xmg 0,82–0,84) bývá na okrajích či podél štěpných ploch často zatlačován aktinolitickým amfibolem (Xmg 0,79–0,81), často je pyroxen zachován pouze jako relikv v amfibolu. Oba pyroxeny však bývají rovněž poměrně často zatlačovány biotitem. K této reakci dochází v místech kontaktu pyroxenu s draselným živcem. Obr. 1, 2, 3 dokumentuje relativně jednodušší reakci mezi Opx a K-živcem, obr. 4

cummingtonitem (Xmg 0,61) a aktinolit (Xmg 0,75). Kontaktní zóna Opx a K-živce při spodním okraji zrna je tvořena asi 200 μm mocnou zónou tvořenou složitým prorůstáním biotitu, křemene a amfibolů. V detailu je tato zóna vidět na obr. 2. Křemen tvoří v této kontaktní zóně nepravidelná laločnatě omezená zrna, biotit tvoří většinou subhedrální zrna (Xmg 0,66), ve spodní části snímku je patrné velmi jemné symplektitové prorůstání křemene a biotitu (Xmg 0,51). V centrální části snímku jsou patrná

	Opx	Cpx	Act	Act	Cum	Pl	K-f	Bt
	15	78	81	82	17	78	50	22
SiO <sub>2</sub>	52,57	51,90	53,00	53,60	55,07	55,53	62,20	38,24
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,21	0,22	0,10	0,03	0,04	0,21	4,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,67	1,88	2,22	1,55	0,42	27,20	18,73	13,67
FeO	24,64	10,20	13,60	13,90	21,15	0,09	0,18	14,19
MnO	0,84	0,25	0,35	0,38	1,07	0,00	0,02	0,01
MgO	20,84	13,30	15,40	15,80	18,75	0,01	0,01	15,31
CaO	0,69	21,30	12,00	11,30	1,08	9,35	0,02	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,33	0,33	0,27	0,06	6,22	1,59	0,10
K <sub>2</sub> O	0,02	< 0,01	0,18	0,09	0,06	0,22	13,72	9,46
BaO	0,00	< 0,03	0,02	0,04	0,02	0,06	3,23	0,24
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	< 0,04	< 0,04	0,07	0,03	0,02	0,00	0,21
Cl	0,00	< 0,01	< 0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,11
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>Celkem</b>	<b>100,43</b>	<b>99,40</b>	<b>97,00</b>	<b>97,00</b>	<b>97,76</b>	<b>99,16</b>	<b>99,86</b>	<b>96,35</b>
X <sub>Mg</sub>	0,60	0,70	0,67	0,67	0,61	x	x	0,66

Tab. 1 – Reprezentativní mikrosondové analýzy pyroxenů, amfibolů, živců a biotitu ze studovaných hornin.

Tab. 1 – Representative electron microprobe analyses of the pyroxenes, amphiboles, feldspars and biotites from the studied rocks.

drobnější nepravidelná zrna nehomogenního amfibolu. Relativně světlejší části odpovídají cummingtonitu (X<sub>Mg</sub> 0,64), tmavší pak aktinolit (X<sub>Mg</sub> 0,79). Trhliny v ortopyroxenu a část kontaktních ploch mezi pyroxenem a biotitem je vyplněna antofylitem (X<sub>Mg</sub> 0,80). Apatit, který byl uzavírán v Opx (obr.1), se nachází rovněž v křemen-biotitové kontaktní zóně a nejeví žádné stopy alterace. Reakce Opx–K–živce v pokročilejším stádiu je dokumentována na obr. 3. Produkty reakce jsou v tomto případě pouze biotit a křemen, amfibol zde nebyl pozorován. Rovněž odmíšeniny klinopyroxenu v Opx nebyly v tomto případě zjištěny. Opx (X<sub>Mg</sub> 0,60) je přítomen spíše jako relikt, opět podléhá částečné přeměně na antofylit. Antofylitem je lemován rovněž kontakt mezi pyroxenem a biotitem (X<sub>Mg</sub> 0,65–0,68), kontakt mezi K–živcem a biotitem je v tomto případě tvořen křemen-biotitovým (X<sub>Mg</sub> 0,71) symplektitem.

Reakce mezi augitem a K–živcem je podstatně komplikovanější, jak je patrné z příkladu jedné takové struktury na obr. 4. Kromě laločnatého křemene, laločnatého až subhedrálního biotitu s častým lemem, ve kterém se symplekticky prorůstají biotit a křemen, se mezi produkty reakce objevuje plagioklas (An<sub>24-55</sub>), který se často prorůstá s křemenem, a aktinolitický amfibol. X<sub>Mg</sub> biotitu se pohybuje v širokém intervalu od 0,49 až do 0,68, variační šíře složení aktinolitu je obdobná (0,5–0,76). Plagioklas se rovněž objevuje spolu s křemenem a biotitem v symplektitech na kontaktu mezi biotitem a draselným živcem. V asociaci s biotitem se vzácně vyskytuje titanit, podél štěpných ploch biotitu byl nalezen rovněž chlorit.

### Diskuse a závěry

Pozorované struktury a minerální reakce indikují polyfázový vývoj syenitů jihlavského plutonu. Jasně magmatická fáze je reprezentována asociací K–živce + Pl + Cpx + Opx. Nelze vyloučit, že část biotitu má rovněž magmatický původ. Některá velká zrna jeví totiž vysoký stupeň automorfie, bez zjevných stop po možné reakci. Ale svým složením se nijak neodlišují od biotitů vznikajících při reakci mezi pyroxeny a K–živci. Amfibol se v hornině vyskytuje v řadě typů. Vzniká buďto hydratací pyroxenů nebo jako součást při reakci mezi pyroxeny a K–živcem. Přeměna Opx – cummingtonit není doprovázena významnou změnou chemismu, cummingtonit má pouze, oproti hyperstenu, nepatrně vyšší X<sub>Mg</sub> (0,60 vs. 0,61–0,64). Aktinolit vznikající přeměnou klinopyroxenu vykazuje X<sub>Mg</sub> nepatrně nižší. Klesá z 0,82–0,84 u Cpx na 0,79–0,81 u aktinolitového lemu. X<sub>Mg</sub> vykazuje při přeměně Cpx na aktinolit tendenci klesající, při reakci Opx na cummingtonit spíše tendenci stoupající.

Ideální reakce 3Opx + K-f + H<sub>2</sub>O = Bt + 3Qtz nebyla v této jednoduché formě zastížena. Důvodem je pravděpodobně přítomnost odmíšenin Cpx v ortopyroxenu a andezínu v K–živci, které do reakce přinášejí určité množství zejména vápníku a v menší míře i sodíku. Důsledkem je pak tvorba několika typů aktinolitických amfibolů lišících se zejména proměnlivým obsahem Fe a Mg. Rovněž biotit vykazuje poměrně značnou variabilitu X<sub>Mg</sub> (0,49–0,68). Při reakci mezi Cpx a K–živcem vzniká kromě převládajícího biotitu a křemene opět několik typů aktinolitických amfibolů a rovněž plagioklas, který spotřebovává, společně s aktinolitem, vápník přítomný v klinopyroxenu a absorbuje pravděpodobně i plagioklasovou komponentu obsaženou v perthitech hojně se vyskytujících v K–živci. Biotity ze studovaných hornin jsou bohaté TiO<sub>2</sub> (až 4,2 %). Je pravděpodobné, že zdrojem TiO<sub>2</sub> v biotitu byly uzavřeny rutilu obsažené jak v draselném živci, tak i v ortopyroxenu. Část Ti je pravděpodobně vázána i v titanitu. Při alteraci pyroxenů dochází rovněž k silné redistribuci Fe a Mg dokumentované velmi variabilním X<sub>Mg</sub> v novotvořených amfibolech a biotitu. Dosavadní výsledky naznačují, že všechny probíhající reakce nejsou doprovázeny výrazným přínosem nebo odnosem prvků a že hlavním faktorem vyvolávajícím tyto přeměny je snižující se teplota doprovázená přítomností vody. Přítomnost relativně nízkoteplotních fází – prehnitu a antofylitu, vedle biotitu s vysokým TiO<sub>2</sub> typickým pro relativně vysokoteplotní prostředí (Sengputa et al. 1999) naznačuje, že celý proces mohl proběhnout v několika fázích. Původní, primárně magmatické fáze reprezentované zonálním K–živcem,

a augitem jsou stabilní v podmínkách granulitové facie. Tato asociace reagovala s vodnatými fluidy v podmínkách pravděpodobně facie amfibolitové za tvorby biotitu, několika typů amfibolů a plagioklasu. Je možné, že při této reakci vznikaly další produkty, které byly později nahrazeny antofylitem a prehnitem.

Struktury pozorované v syenitech jihlavského plutonu je možno interpretovat jako důsledek intruze suchého

ultradrasselného magmatu do spodní kůry v podmínkách granulitové facie následované rychlou exhumací, při které došlo pouze k částečné hydrataci a velmi neúplné equilibraci ve vyšších patrech kůry. Podobné rychlé chladnutí je možno dokumentovat na PT vývoji kinzigitů uzavíraných v horninách jihlavského plutonu a opx-grt migmatitů v jeho kontaktní aureole (Leichmann et al. 2006).

#### Literatura

- Bowes, D.R. – Košler J. (1993): Geochemical comparison of the subvolcanic appinite suite of the British Caledonides and the durbachite suite of the Central European Hercynides: Evidence for associated shoshonitic and granitic magmatism. – *Mineral. Petrol.*, 48, 47-63.
- 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, 81-135.
- Holub, F. V. (1997): Ultrapotassic plutonic rocks of the durbachite serie in the Bohemian Massif: Petrology, geochemistry and petrogenetic interpretation. – *Sbor. geol. Věd, ložisk. Geol. Miner.*, 31, 5-26. Praha.
- Kotková, J. – Schaltegger, U. – Leichmann, J. (2003): 338-335 Ma old intrusions in the E Bohemian massif - a relics of orogen-wide durbachitic magmatism in European Variscides. – *J.Czech Geol. Soc.*, 48, 1-2, 80-81.
- Leichmann, J. – Švancara, J. (2005): Shoshonitická až ultrapotasická gabbra jihlavského masivu. – 2. sjezd České geologické společnosti, Sborník abstraktů a exkurzní průvodce. Slavonice: ČGS Brno, 151-153.
- Leichmann, J. – Novák, M. – Buriánek, D. – Burger, D. (2006): Garnet-sillimanite-cordierite kinzigit and garnet-orthopyroxene migmatites from Petrovice, Jihlava pluton; Evidence for high temperature metamorphism related to durbachite intrusion. – *Geologica Carpathica*. Submitted.
- Sengupta, P. S. J. – Dasgupta, S. – Raith, M. – Bhui, U. E. J. (1999): Ultra-high temperature metamorphism of metapelitic granulites from Khondapalle, Eastern Ghats belt: Implications for the Indo-Antarctic correlation. – *J. Petrol.*, 40, 1065-1087.