

## Petrológia metamorfitov fácie modrých bridlíc meliatskej jednotky

Shah Wali Faryad<sup>1</sup>

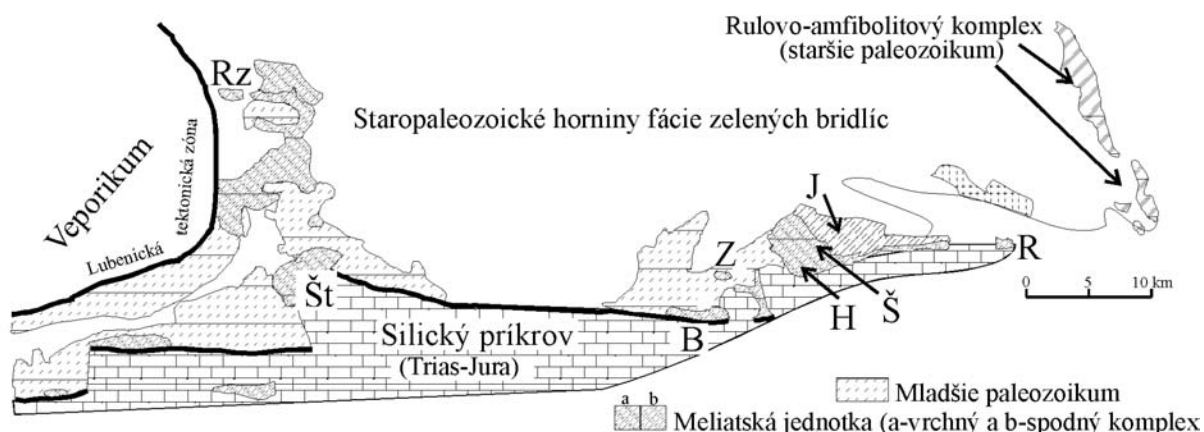
### Petrology of blueschist facies metamorphic rocks of the Meliata Unit

The Meliata blueschists originated from basalts, limestones, pelites, psammitic and amphibolite facies basement rocks. Compositionally, the metabasalts have a geochemical signature mostly indicative of a transitional arc-MORB origin, but some mafic rocks having affinity with within plate basalts also present. The mafic blueschists consist of blue amphibole, epidote and albite, rarely also garnet, Na-pyroxene and chloritoid. Apart from phengite and quartz the metapelites and metapsammities contain one or more of the minerals: chloritoid, paragonite, glaucophane, albite, chlorite, occasionally also Na-pyroxene and garnet. Amphibolite facies rocks contain relic garnet, plagioclase and hornblende, the latter two replaced by albite and blue amphibole, respectively. The zoning patterns of blue amphibole, garnet and chloritoid suggest their formation during prograde stage of metamorphism. P-T conditions of meta-morphism are estimated to be about 350-460 °C and 10-12 kbar.

**Key words:** protolith, chemistry, high-pressure metamorphism, Meliata Unit, Western Carpathians.

### Úvod

Metamorfity fácie modrých bridlíc (MFMB) meliatskej jednotky vznikli v dôsledku juhovergentnej subdukcie triasového až spodnojurského meliatského oceánu a prilehlého kontinentálneho okraja. Do meliatskej jednotky zaraďujeme v súlade s geologickou mapou Bajanič et al. (1983) a údajmi Mocka (1978) aj nemetamorfované až veľmi slabo metamorfované klastické sedimenty, vápence, radiolarity a serpentinizované ultrabáziká, ktoré sa vyskytujú pozdĺž rožňavského zlomového systému medzi silickým príkrovom a gemerikom (obr.1). V západnej časti sú horniny meliatskej jednotky nasu-



Obr.1. Schematizovaná geologická mapa meliatskej jednotky so študovanými lokalitami metamorfitov fácie modrých bridlíc: B = Bôrka, H = Hačava, R = Rudník, Rz = Radzim, Št = Štítnik, Š = Šugov, Z = Zádíel.

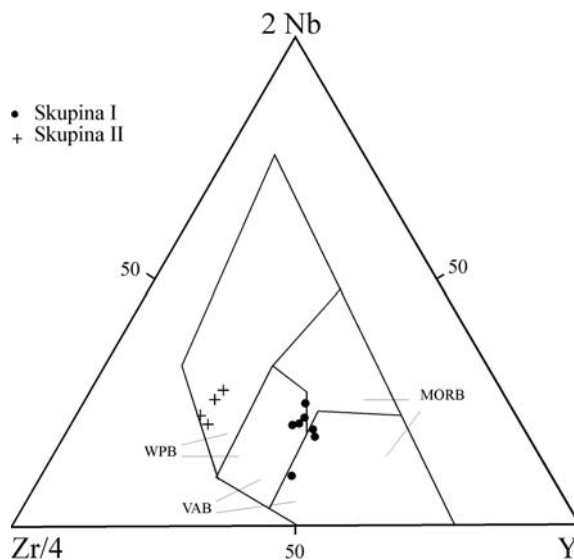
nuté na staršie paleozoikum na sever. Vysokotlakové/nízko-teplotné metamorfity sú reprezentované mramormi, metabazitmi, fylitmi, ktoré sa vyskytujú od západu k východu pri Radzime, Štítniku, Bôrke, Hačave a Šugove (obr.1). Na posledných troch lokalitách sú MFMB súčasťou vrchného tektonického

<sup>1</sup> Doc.Ing. Shah Wali Faryad, CSc., Katedra geológie a mineralógie F BERG Technickej univerzity, 043 84 Košice, Park Komenského 15  
(Recenzovali: Prof.RNDr. Stanislav Jacko, CSc. a RNDr. Pavol Pitoňák, CSc. Revidovaná verzia doručená 15.6.1997)

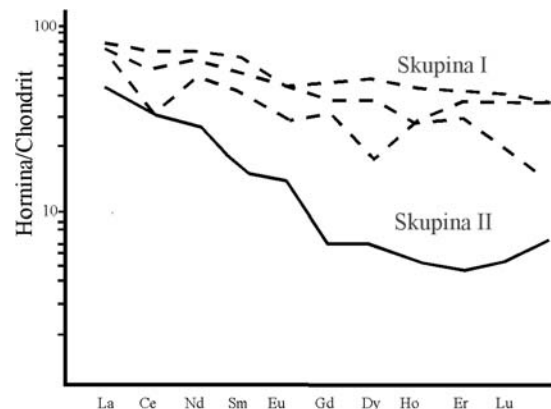
komplexu (v zmysle Reichwaldera, 1973), ktoré ležia na komplexe fylitov (spodný komplex) pri Jasove. Šupina metabazitu s malým množstvom sľudnatých bridlíc leží na permských horninách gočaltovskej skupiny pri Zádieli. Horniny amfibolitovej fácie, nasledné postihnuté metamorfózou vo fáci modrých bridlíc sa vyskytujú na povrchu a sú zistené vrtnými prácami pri Rudníku (Faryad, 1988, vrty realizoval Bacsó, 1980). K-Ar a  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  údaje, získané z fengitu ukazujú strednojurský vek (150-165 M.r.) metamorfózy modrých bridlíc (Maluski et al., 1993; Faryad and Henjes-Kunst, 1995c). Reliktná sľuda, zistená v sľudnatých bridliciach z lokality Zádiel udáva staropaleozoický vek 370 M.r. (Faryad a Henjes-Kunst, v tlači).

### Protolit a zoskupenia MFBM meliatskej jednotky

Na základe litológie, pozície a metamorfného vývoja sú študované MFBM rozdelené do štyroch skupín (Faryad, 1995b): Najbežnejšie MFBM (skupina I) tvoria mramory, metabazity a fylity, ktoré vystupujú na povrch pri Radzime, Štítniku, Bôrke, Hačave, a Šugove (obr. 1). Metabazity tvoria polohy v mramoroch, alebo sa vyskytujú na ich styku. Postupný prechod medzi metabazitmi a mramormi (Reichwalder, 1973) svedčí o ich vzniku z bazaltov, bazaltických tufov a vápencov. Podľa geochemickej charakteristiky, hlavne vzájomných vzťahov Zr/Y k Zr (obr. 2) a distribúcie REE (obr. 3) odpovedajú metabazity bazaltom vulkanického oblúka s prechodom k typu MORB. Oceánsky pôvod pre tieto metabazity predpokladá aj Ivan a Kronome (1996).



Obr.2.  $2\text{Nb}:\text{Zr}/4:\text{Y}$  diagram (Meschede, 1986) reprezentujúci rozdielne geotektonické prostredie pre modré bridlice skupiny I a II. MORB = bazalty stredoocéánskych chrbtov, VAB = bazalty vulkanických oblúkov a WPB = medziplatňové bazalty.



Obr.3. Obsahy vzácnych zemín (normalizované chondritom podľa McDonough & Frey, 1989) z študovaných metabazitov meliatskej jednotky.

Fylity sa vyskytujú hlavne v spodnej časti tektonických šupín vysokotlakových hornín. Textúry sedimentárneho pôvodu v metapelitoch a metapsamitoch sú reprezentované zvrstvením a lamináciou. Litoklasty psamitov boli zistené v pelitických horninách pri Štítniku. Bridličnatosť, prevažne totožná s vrstevnatosťou, je obyčajne prestúpená klivážou.

Metabazity pri Zádieli (skupina II) sú bez mramorov a v porovnaní s metabazitmi prvej skupiny majú odlišné chemické zloženie. Sú bohatšie na  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  a chudobnejšie na  $\text{CaO}$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Podľa obsahu stopových prvkov možno ich porovnať s medziplatňovými bazaltmi. V porovnaní s metabazitmi skupiny I majú vyššie obsahy LREE (obr. 3). Metabazity sú doprevádzané sľudnatými bridlicami s modrým amfibolom.

Fylitické horniny, ktoré sa nachádzajú v podloží mramorov s metabazaltmi (vrchný komplex) pri Šugove sú zaradené do skupiny III. Jedná sa o pôvodné kremité psamity a zlepenca a v menšej miere pelity. Okrem vrstevnatosti a laminácie k sedimentárnym textúram patria drobné valúny kremeňa v metakonglomerátoch. Poslednú skupinu (IV) hornín predstavujú metamorfity amfibolitovej fácie

pri Rudníku. Tie tvoria tektonické bloky granatico-amfibolických rúl a amfibolitov, ktoré sa vyskytujú medzi klastickými horninami veľmi nízkeho stupňa metamorfózy.

### Skupina I

Jedná sa o jemné až strednozrnné horniny, masívne, zriedka bridličnatej textúry, charakterizované usmernenými zrnkami a šupinkami amfibolu, svetlej sľudy a epidotu. Hlavnými minerálmi sú modrý amfibol, epidot a v menšej miere svetlá sľuda, chlorit, albit, kremeň, titanit a hematit. Niektoré vzorky metabazitov obsahujú aj granát, aktinolit, príp. Na-pyroxén.

Modrý amfibol je opticky zonálny, má tmavomodrý až fialový stred a svetlomodrý okraj. Obsahuje uzavreniny titanitu, albitu a rutilu. Väčšina zrn granátu je bez inklúzií, len niektoré granáty uzatvárajú modrý amfibol, epidot, egirín, kremeň a apatit. Na-pyroxén zloženia egirínu a jadeitického egirínu je prítomný v strednozrnných metabazitoch. Je čiastočne nahradený kalcitom a chloritom. Zelený egirín nahrádza alebo lemuje magmatický augit a sám je miestami uzatvorený modrým amfibolom.

Aktinolit nepatrí medzi bežné minerály študovaných hornín. Len v niektorých metabazitoch s egirínom sa vyskytuje až 15 obj. % tabuľkovitého aktinolitu ( $Act_1$ ), ktorý pravdepodobne vznikol premenou magmatického hornblendu. Je čiastočne lemovaný fialovomodrým amfibolom a zdá sa, že vznikol počas skoršieho štádia metamorfózy fácie modrých bridlíc. V malom množstve sa aktinolit vyskytuje v podobe jemných individuálnych zrn vedľa modrého amfibolu, alebo tvorí lem okolo modrého amfibolu, príp. symplektit s albitom. Posledné textúrne typy predstavujú aktinolit ( $Act_2$ ), ktorý charakterizuje už retrográdne štádium premeny. Podľa textúrnych vzťahov a prítomnosti dvoch rôznych typov aktinolitov možno rozlíšiť tri minerálne asociácie v prvej skupine MFBM (tab. 1).

Tab.1. Minerálne asociácie v metabazitoch a glaukofanizovaných amfibolitoch meliatskej jednotky.

assembl.	skupina I			skupina II			skupina IV
	1	2	3	1	2	4	5
Gl	***	***	***	***	***	***	**
Ep	***	***	***	***	***	***	**
Ab	***	***	***	***	***	***	**
Chl	*	*	*	*	*	**	**
Ph	*	*	*	*	*	*	*
Pg	*	*	*	*	*	*	*
Qtz	*	*	*	*	*	*	*
Tnt	*	*	*	*	*	*	*
$Act_1$		*			*		
$Act_2$			*				
Na-Px		*			*		
Grt	(*)	(*)				*	
Ctd						*	
Rt							

(\*)- zriedkavo prítomná fáza. Skratky minerálov mimo Aeg - egirínu, Fgl - ferroglaukofánu, Ph - fengitu sú podľa Kretza (1983).

Epidot je častým minerálom metabazitov, relatívne málo biotitu sa vyskytuje v hornine s vysokým obsahom pyroxénu. Hoci časť chloritu v metabazitoch má očividne retrográdny pôvod (nahrádza amfibol, alebo granát), prítomná je aj prográdna forma chloritu, ktorá je v rovnováhe s modrým amfibolom, epidotom, albitom a aktinolitom. Tvorí izolované, alebo individuálne kryštály, majúce ostrý styk s ďalšími fázami. Fengit tvorí jemné šupinky a uzatvára rutil a titanit. Jemné inklúzie biotitu

v modrom amfibole boli zistené vo viacerých vzorkách. Titanit je vždy prítomný minerál a miestami obsahuje uzavreniny modrého amfibolu, epidotu, magnetitu a hematitu. Bežne prítomným karbonátovým minerálom je kalcit, ktorý nahrádza iné minerálne fázy, obsahujúce vápnik. Aragonit nebol zistený ani v mramoroch ani v metabazitoch.

Fylity skupiny I sú tvorené svetlou sľudou, chloritoidom, glaukofánom, chloritom a zriedka Na-pyroxénom, granátom, epidotom, rutilom (tab. 2). Vo väčšine prípadov sú modré amfiboly, alebo

jeho pseudomorfózy orientované naprieč bridličnatosti a obsahujú drobné orientované zrnká kremeňa. Modrý amfibol, orientovaný v smere bridličnatosti, bol zistený v niektorých silne zbridličnatených horninách. Najcharakteristickejším minerálom určujúcim bridličnatosť je svetlá slúda. Chloritoid je bežne prítomný v pelitoch a pelitických laminách psamitov. Obyčajne pretína bridličnatosť, len v silne zbridličnatených typoch je orientovaný v jednom smere. V niektorých prípadoch chloritoid tvorí uzavreniny v modrom amfibole, alebo je ním pretínaný. Chloritoid je čiastočne nahradený chloritom a fylsilikátom s miešanou vrstevnou stavbou (mixed layer silicate, Maresch et al., 1985).

Jemnozrný idioblastický granát s modrým amfibolom a Na-pyroxénom bol zistený vo fylitoch pri Hačave. Tieto horniny neobsahujú chloritoid alebo jeho pseudomorfózy. Len vzorky z lokality Šugov, ktoré majú vysoký podiel chloritoidu obsahujú malé zrnká granátu (priemer 10 µm). Pyroxén, bohatý

na jadeitovú zložku (do 20 vah. % jadeitu) je prítomný v niektorých sludnatých bridliciach pri Hačave. Tvorí drobné samostatné zrná a radiálne agregáty, ktoré sú niekedy prestúpené, alebo nahradené modrým amfibolom.

Tab.2. Minerálne asociácie vysokotlakových/nízkotepelných fylitov meliatskej jednotky.

	skupina I			skupina II	skupina III	
Ph	***	***	***	***	***	***
Qtz	**	**	**	**	**	**
Chl	*	*	*	**	*	*
Pg	*	*	*	*	*	*
Gl		*	*	*		
Ep		*	*	*		
Ab	*	*	*	*	*	
Tnt		*	*	*		
Na-Px			*			
Grt		(*)	*			
Ctd	*	*		*		*
Rt	*	*	*	*	*	*

### Skupina II

Metabazity skupiny II obsahujú modrý amfibol, albit, epidot, chloritoid, fengit, paragonit, aktinolit, biotit, titanit a rutil (tab. 1). Na rozdiel od fialovomodrého amfibolu z metabazitov skupiny I, je prítomný len svetlomodrý až bezfarebný amfibol. Aktinolit tvorí drobné samostatné zrná, ktoré sa vyskytujú vedľa modrého amfibolu, alebo ho lemuje. Tento druh aktinolitu je interpretovaný ako Act<sub>2</sub>. Okrem paragenéz 1 a 2 (tab. 1), ktoré sú podobné ako v prípade metabazitov skupiny I, obsahuje niektoré vzorky tiež chloritoid. Obyčajne je prítomný v horninách bohatších na Al a Fe<sup>2+</sup> a chudobnejších na Ca. Niektoré modré amfiboly obsahujú inklúzie chloritoidu. Zelený až zelenohnedý biotit, ktorý nahrádza modrý amfibol bol zistený vo viacerých vzorkách. V niektorých vzorkách s aktinolitom je prítomný až do 5 obj. % biotitu.

Sludnaté bridlice skupiny II sa vyskytujú na styku s metabazitom a sú tvorené svetlou slúdou, modrým amfibolom, chloritom, kremeňom a zriedka aj chloritoidom. Veľké kryštály slúdy (veľkosti do 3 mm) sledujú spolu s predĺženými zrnami kremeňa smer bridličnatosti. Hoci modrý amfibol je obyčajne usmernený, pretína niektoré veľké kryštály slúdy a obsahuje uzavreniny chloritoidu. Okrem jemných ihličkovitých kryštálov tvorí rutil aj tabuľkovité zrnká, ktoré sú čiastočne lemované titanitom.

### Skupina III

Fylity spodného komplexu, ktoré vznikli z psamitov, kremitých zlepcov a zriedkavo aj pelitov sa vyskytujú medzi Jasovom a Šugovom. Okrem kremeňa a svetlej slúdy, niektoré typy obsahujú aj chloritoid. V týchto horninách nebol zistený modrý amfibol ani granát (tab. 2). Podobne ako fylity skupiny I sú zbridličnatené a prestúpené klivážou. Chloritoid tvorí radiálne agregáty alebo drobné porfyroblasty. Niekedy uzatvára paralelne orientované zrnká rutilu. Je čiastočne nahradený chloritom a miešaným vrstevným silikátom. Metamorfované zlepenice obsahujú klasty, resp. deformované valúny kremeňa (veľkosť klastov do 2 cm), ktoré majú ostrý styk s fylitickou základnou hmotou.

### Skupina IV

Tieto horniny vznikli z amfibolitov a granáticko-amfibolických rúl. Z minerálov vysokotlakovej metamorfózy obsahujú modrý amfibol a fengit. Hnedý až zelenohnedý hornblend je po okrajoch nahradený modrým amfibolom. Niektoré pseudomorfózy chloritu tabuľkovitého tvaru vznikli po biotite. Niektoré telesá amfibolitov obsahujú len sporadicky modrý amfibol. Reliktný granát je čiastočne nahradený chloritom. Minerály, tvorené v procesoch vysokotlakovej metamorfózy možno korelovať s asociáciou 1, ktorá sa vyskytuje v MFBM skupiny I a II (tab. 1).

### Chemické zloženie minerálov

Viac než 800 mikrosondových analýz minerálov z MFBM meliatskej jednotky bolo získaných na Mineralogickom ústave v Bochume. Spôsob analyzovania a výpočtu vzorcov je spolu s reprezentatívnymi analýzami minerálov uvedený v práci Faryad (1995a, 1995b). V tejto práci chcem len stručne priblížiť spôsob výskytu a zmeny v zložení jednotlivých minerálov.

### Reliktné minerály v MFBM

**Pyroxén** magmatického pôvodu bol zistený v niektorých metabazitoch z Hačavy a Šugova. Podľa zloženia odpovedá diopsidickému augitu. Čiastočne je nahradený metamorfným egirínom.

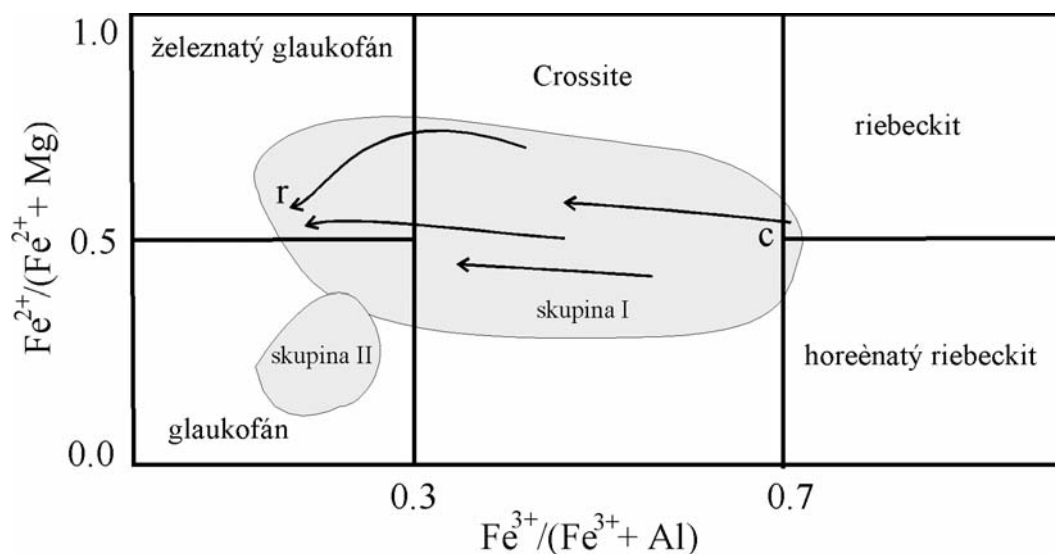
**Hornblend** sa vyskytuje v horninách amfibolitovej fácie pri Rudníku. Svojím zložením odpovedá horečnatému hornblendu s pomerom  $X_{Mg}=0.55$ , a obsahom  $Si=6.5$  a  $Na^{M4} = 0.35$  atómov vo vzorci (a/vz). Hornblend je čiastočne lemovaný, alebo topotakticky nahradený modrým amfibolom.

**Granát** ako reliktný minerál amfibolitovej fácie sa nachádza spolu s hornblendom v horninách IV skupiny pri Rudníku. Je bohatý na almandínovú molekulu ( $Alm_{61.4} Sps_{7.3} Prp_{14.5} Grs_{16}$ , Faryad, 1988). Niektoré porfýroblasty granátu sú slabo zonálne a vykazujú rast MnO (3-3.35 %) a pokles MgO (3.88-3.53 %) zo stredu ku okraju zŕn.

**Svetlá sluda** staršia než minerály fácie modrých bridlíc bola zistená v niektorých hrubozrnitých sfudnatých bridliciach (skupina II) z lokality Zádiel. Má zloženie muskovitu s obsahom Si pohybujúce sa medzi 3.1-3.2 a./vz. Hrubšie zrná muskovitu sú čiastočne lemované fengitom s vysokým obsahom-Si, ktorý vznikol počas metamorfózy fácie modrých bridlíc.

### Minerály fácie modrých bridlíc

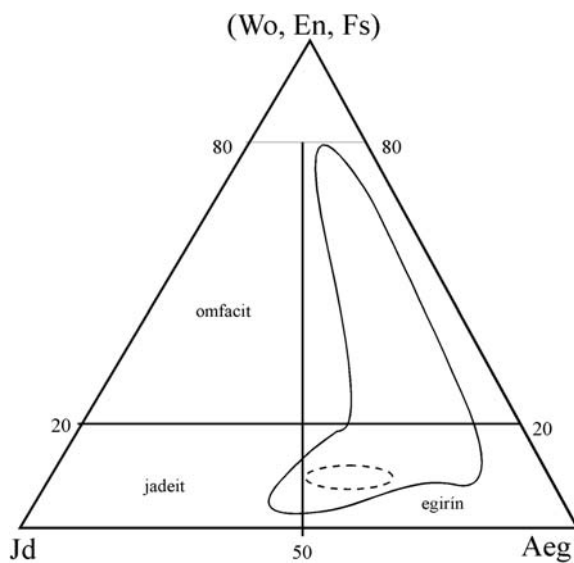
**Amfiboly:** Väčšina modrých amfibolov z metabazitov skupiny I sa koncentrujú do poľa crossitu (obr. 4). Obyčajne sú zonálne, kde stredná časť zŕn má vysoký obsah crossitu a na okrajoch pribúda podiel glaukofánu príp. feroglaukofánu. Zonálny amfibol so stredom bohatým na Fe s vysokým podielom Mg na okraji sa vyskytuje vo vzorkách, obsahujúcich granát. Modrý amfibol bohatý na crossit, ktorý svojím sa zložením blíži riebeckitu sa vyskytuje v modrých bridliciach s obsahom  $Act_1$ . Metabazity zo skupiny II obsahujú modrý amfibol zloženia glaukofánu. Ca-amfibol odpovedá aktinolitú s  $X_{Mg} = 0.53-0.80$ . Neboli pozorované žiadne systematické zmeny v zložení aktinolitú medzi rôznymi textúrnymi typmi. Aktinolit s vysokým pomerom  $X_{Mg}$  do 0.84 sa vyskytuje v horninách bohatých na MgO zo skupiny II.



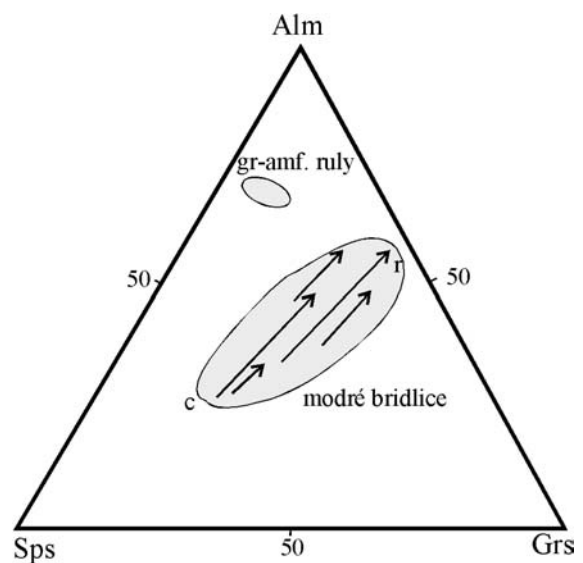
Obr.4. Chemické zloženie modrých amfibolov vysokotlakových/nízkoteplotných hornín meliatskej jednotky v diagrame pre alkalické amfiboly (Leake, 1978). Šípky ukazujú zonálnosť od stredu (c) ku okraju (r) zrn amfibolu.

Sodný amfibol z metapelitu má väčšinou zloženie glaukofánu. Niektoré horniny bez chloritoidu obsahujú modrý amfibol zloženia crossitu, ktorého podiel smerom ku okraju klesá, t.j. rastie pomer  $Al/(Fe^{3+} + Al)$  a  $X_{Mg}$ . Opačná zonálnosť bola pozorovaná v amfibole z hornín obsahujúcich akcesorický chloritoid.

**Pyroxén** zo stredozorných metabazitov má variabilné zloženie pohybujúce sa od jadeitu ( $Jd_{53}$ ) do egirínu ( $Jd_{13}$ ) (obr. 5). Jadeit sa vyskytuje na styku s albitom a egirín je prítomný vedľa kalcitu a chloritu v jemnozrnitej hmote. Egirínický augit, ktorý lemuje magmatický pyroxén, obsahuje 15 mol % jadeitu. Pyroxén z metapelitov možno charakterizovať ako zmes troch koncových členov: jadeitu, egirínu a augitu ( $Jd_{32-45}$ ,  $Aeg_{50-58}$  and  $Aug_{3-10}$ ). Ďalšie koncové členy ako je hedenbergit a Ca-tschermakit buď chýbajú, alebo sa vyskytujú v nepatrnom množstve. V analyzovaných pyroxénoch možno pozorovať slabý nárast obsahu jadeitu a pokles obsahu egirínu a diopsidu od stredu ku okraju zrn.



Obr.5. Chemické zloženie pyroxénu z metabazitov (pole vymedzené plnou čiarou) a metapelitov (pole vymedzené čiarkovanou čiarou) v trojuholníkovom diagrame Jd-Aeg-(Wo, En, Fs) (Morimoto, 1988).



Obr.6. Chemické zloženie granátu metabazitov skupiny I. Šípky ukazujú zonálnosť od stredu (c) ku okraju (r) zrn granátu.

**Granát** analyzovaný v rôznych vzorkách metabazitov má podobné zloženie a zrná sú výrazne zonálne: smerom k okraju zrn rastie obsah Fe na úkor Mn, pričom podiel Ca ostáva konštantný (obr. 6). Kompozičné zobrazovanie granátu ukázalo najprv slabý nárast Ca a potom jeho pokles od stredu ku okraju zrn.

Podobne ako v metabazitoch, sú všetky analyzované granáty z fylitu zonálne. V horninách bez chloritoidu granát vykazuje nárast obsahu FeO a MgO a pokles obsahu MnO od stredu ku okraju. Granát s opačnou zonálnosťou v hornine s chloritoidom má v porovnaní s horninou bez chloritoidu ( $Sps_{51-60}$ ,  $Alm_{24-33}$ ,  $Grs_{10-13}$ ,  $Ad_{0-3}$ ,  $Prp_{1-3}$ ) relatívne vysoký podiel grossularu a almandínu ( $Alm_{37-41}$ ,  $Grs_{14-21}$ ).

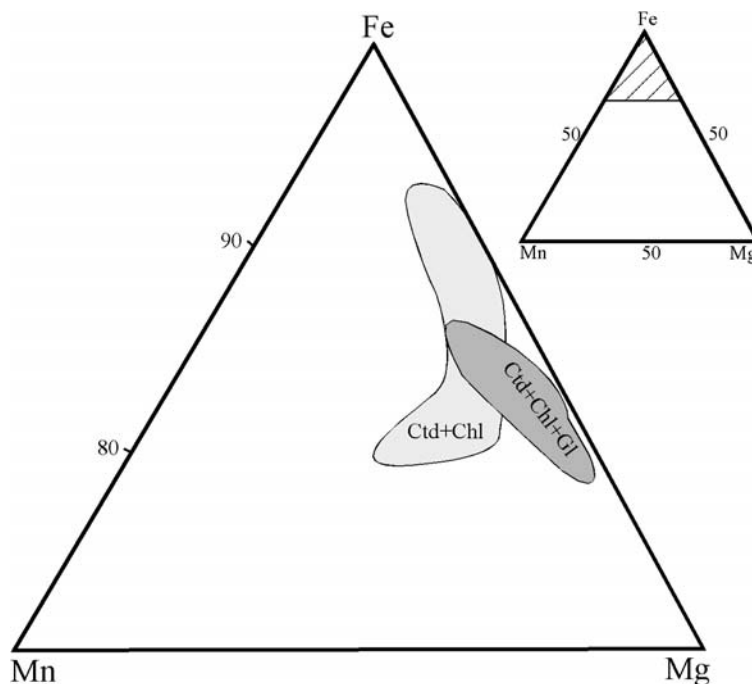
**Epidot** má veľmi rozmanité zloženie, v ktorom sa hodnota  $al = 100 \cdot Fe^{3+} / (Al + Fe^{3+})$  pohybuje medzi 26-33 mol %. Relatívne vysoký podiel Al ( $al = 7.5$  mol %) bol zistený v epidote z modrých bridlíc skupiny II, ktoré obsahujú  $Act_2$ . Obsah MnO v epidote je veľmi nízky a obyčajne sa pohybuje medzi 0.0 a 0.5 (maximálne 1.2 váh. %). Epidot z viacerých vzoriek, obsahujúcich aktinolit je slabozonálny, v ktorom obsah  $Fe^{3+}$  klesá od stredu ku okraju. Opačná zonálnosť epidotu bola sledovaná v niektorých vzorkách s granátom, kde stred má hodnotu  $al = 15$  mol % a okraj  $al = 27$  mol %. V malom množstve sa epidot s hodnotou  $al = 18-27$  % vyskytuje v metapelitoch, ktoré obsahujú glaukofán. Vo fylitoch s pyroxénom a glaukofánom bol zistený alanit bohatý na Mn s obsahom  $Mn_2O_3$  až 6.5 váh. %.

Svetlá slúda sa vyskytuje nielen vo fylitoch, ale v menšej miere je prítomná vo všetkých vzorkách metabazitov. Jedná sa prevažne o fengit s obsahom Si od 3.36-3.50 a./vz. Fengit nevykazuje pravidelnú zonálnosť, avšak obraz kompozície prvkov v niektorých kryštáloch fengitu s pyroxénom ukázali pokles Al a Si a nárast Fe od stredu ku okraju. Zriedka sa vyskytuje aj fengit, v ktorom obsah Si smerom ku okraju slabo klesá. Analyzovaný paragonit má zloženie blízko ideálneho paragonitu.

Sludnaté bridlice pri Zádieli (skupina II), obsahujú okrem jemnešupinkovitého fengitu aj hrubokryštalický muskovit Si = 3.15-3.20 a./vz. Je čiastočne lemovaný fengitom s Si = 3.40-3.45 a./f.u. Hrubošupinkovitá slúda je pomerne bohatá na Ti (do 0.059 Ti a./vz).

Chlorit je jeden z bežných minerálov metabazitov meliatskej skupiny. Obsahy Fe<sup>2+</sup>-Mg v chlorite podobne ako v glaukofáne sú závislé od celkového zloženia horniny. Chlorit bohatý na Fe ( $X_{Mg} = 0.32-0.46$ ) koexistuje s granátom a glaukofanom v metabazitoch s vysokým obsahom Fe zo skupiny I a naopak chlorit bohatý na Mg ( $X_{Mg} = 0.70-0.75$ ) sa vyskytuje na Mg-bohatých horninách skupiny II.

Chloritoid je prítomný v metapelitoch a bol zistený aj v niektorých vzorkách metabazitov pri Zádieli, ktoré sú bohaté na Al a Fe<sup>2+</sup> a chudobné na Ca. Obyčajne má relatívne vysoký podiel Fe<sup>2+</sup> ( $X_{Mg} = 0.16-0.20$ , obr. 7) s nárastom  $X_{Mg}$  zo stredu ku okraju zrn. Chloritoid s nízkym obsahom MgO sa vyskytuje v metapelitoch jasovskej formácie.



Obr.7. Chemické zloženie chloritoidov z vysokotlakových/nízkotepelných hornín meliatskej jednotky.

Titanit je často prítomným minerálom metabazitov skupiny I a má nízky obsah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1-2 váh. %). Niektoré zrná titanitu ukazujú nárast Al smerom ku okraju zrn. Tento trend naznačuje v súlade s údajmi Smitha (1981) nárast tlakových podmienok počas tvorby titanitu.

Ďalšie minerály: Albit tvorí tabuľkovité zrná, helicitické poikiloblasty alebo symplektitické agregáty s chloritom alebo aktinolitom. Kryštály rutilu, ktoré koexistujú s titanitom sú prítomné v MFBM skupiny II. Turmalín, analyzovaný z viacerých vzoriek má podobné zloženie s pomerom  $X_{Mg}$  okolo 0.5 a Na<sub>2</sub>O do 3.0 váh. %.

### Minerály tvorené počas retrográdneho štádia

Chlorit nahradzujúci tmavé minerály sa vyskytuje v metabazitoch a fylitoch. V porovnaní s prográdnym chloritom, ktorý koexistuje s chloritoidom alebo glaukofanom je relatívne bohatší na Fe. Obsahy  $X_{Mg}$  v retrográdnom chlorite závisia od zloženia minerálu, z ktorého chlorit vzniká. Chlorit bohatý na Fe je prítomný v podobe žiliek v granáte a chlorit bohatý na Mg vznikol premenou glaukofánu.

Albit. Okrem albitu, ktorý koexistuje s modrým amfibolom, časť albitu vznikla retrográdnou premenou po modrom amfibole. Jeho retrográdný pôvod je zrejmy zo štruktúrnych vzťahov, ktoré sme opísali v petrografickej časti.

**Biotit.** Akcesorický biotit ktorý vznikol po modrom amfibole bol zistený vo viacerých vzorkách MFBM skupiny I a II. Má pomerne stále zloženie s pomerom  $X_{Mg}$  od 0.52-0.56. Biotit s relatívne vysokým pomerom  $X_{Mg}$  (0.66-0.67) je prítomný vo vzorkách bohatších na Mg zo skupiny II. Biotit s relatívne vysokým obsahom Fe s  $X_{Mg} = 0.39$  koexistuje s chloritom v žilkách granátu.

**Fylosilikát s miešanou vrstevnou stavbou** sa vyskytuje v metapelitoch s chloritoidom. Má podobné zloženie ako fylislicate chlorite/biotite s miešanou vrstevnou stavbou, študovaný Mareschom et al. (1985) alebo metamorfný vermikulit (Franceschelli et al., 1986). Tvorí buď samostatné tabuľkovité kryštály, alebo pseudomorfózy po chloritoide. V porovnaní s chloritom, má relatívne vysoký obsah  $K_2O$ , ktorý sa pohybuje medzi 3.2-3.4 váh. %.

### Metamorfné reakcie

Ako sme uviedli v predchádzajúcej kapitole, modrý amfibol, albit a epidot sú často prítomnými minerálmi metabazitov, avšak chloritoid, pyroxén a granát sa vyskytujú len sporadicky. Prítomnosť posledných troch fáz je výsledkom rozmanitosti v zložení horniny, alebo rozdielneho stupňa metamorfózy. S cieľom stanoviť vzájomné vzťahy medzi celkovým zložením hornín boli študované asociácie minerálov zhodnotené na základe fázových diagramov (Faryad, 1995a, 1995b). Vzhľadom na obmedzený rozsah článku uvádzam len niektoré reakcie, ktoré možno vyvodit' na základe textúrnych vzťahov minerálov.

### Progradné reakcie

Niektoré textúrne vzťahy a zonálna stavba minerálov v metabazitoch a metapelitoch poukazuje na progradný charakter P-T podmienok metamorfózy. Prítomnosť Act<sub>1</sub>, ktorý je lemovaný fialovo-modrým amfibolom v metabazite svedčí o jeho možnom vzniku podľa reakcií (1) alebo (2, tab. 3). Pretože aktinolit je zriedkavým minerálom prítomným len v metabazitoch, hlavná reakcia tvorby glaukofánu v horninách, vrátane v metapelitoch a metapsamitoch je reakcia (3), ktorú už navrhol Ernst (1963). Zonálny modrý amfibol s fialovo-modrým stredom crossit-riebeckit a svetlomodrým okrajom glaukofánu svedčí o raste tlaku a teplôt počas metamorfózy. Prítomnosť granátu v metabazitoch, bohatých na Fe<sup>2+</sup> a Mn, ale aj uzavrenín modrého amfibolu v granáte svedčí o jeho vzniku podľa dvoch rozdielných reakcií (4 a 5). Nárast teplôt počas tvorby granátu možno predpokladať podľa rastu obsahu Mg v granáte smerom ku okraju zrn. Slabý nárast Ca smerom ku okraju v niektorých porfýroblastoch granátu svedčí o raste tlaku počas tvorby granátu. Nárast tlaku možno predpokladať aj na základe zvýšenia obsahu Si smerom ku okraju zrn fengitu.

Tab.3. Reakcie rovnováhy medzi minerálmi.



Prítomnosť chloritoidu v metapelitoch a metapsamitoch možno vysvetliť na základe dehydratačnej reakcie (6), ktorú navrhli Zen (1960), Hoschek (1969) a Frey (1978). Neprítomnosť pyrofylitu v študovaných horninách určuje minimálne teploty metamorfózy. Tvorba chloritoidu, ktorý asocjuje s glaukofánom sa obyčajne predpokladá podľa reakcie (7) (El Shazly et al., 1991). Okrem tejto reakcie, ktorá je závislá na tlaku a teplote, všetky ostatné reakcie ukazujú závislosť na tlaku a svedčia o náraste tlaku počas metamorfózy. Glaukofán, uzatvárajúci chloritoid, ktorý je čiastočne rezorbovaný poukazuje na vznik chloritoidu pred glaukofánom podľa reakcie (8). Táto reakcia má kladný priebeh v P-T diagrame a ukazuje nárast tlaku počas metamorfózy.



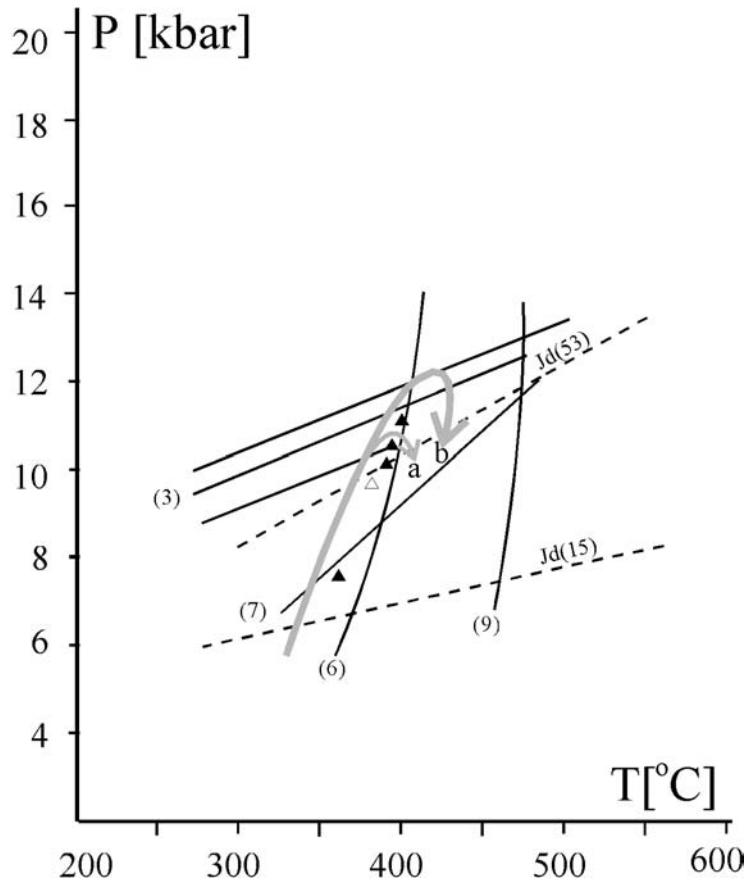
## Retrográdne reakcie

Väčšina študovaných hornín fácie modrých bridlíc sú charakterizované prejavmi duktilnej deformácie, ktorá bola sprevádzaná rozkladom glaukofánu, chloritoidu, granátu, pyroxénu a vznikom chloritu, albitu a kalcitu. Častá je premena glaukofánu na chlorit a albit v metapelitoch. Metapelity obsahujú väčšinou len pseudomorfozy chloritu a albitu po glaukofáne. V rámci metabazitov, sme zaznamenali relatívne pokročilejšie štádium retrográdnej premeny v horninách z Bôrky. Niektoré štruktúrne vzťahy, hlavne prítomnosť Act<sub>2</sub> a biotitu svedčia o retrográdnych reakciách pri relatívne vysokých teplotách a tlakoch. Aktinolit, lemujúci glaukofán poukazuje na spätný priebeh reakcie (1) a (2). Väčšina biotitu vzniká premenou glaukofánu, avšak niektoré šupinky biotitu majúce ostrý styk s glaukofánom ukazujú na ich možnú rovnovahu po kolminácii tlakových podmienok metamorfózy podľa reakcie (9). Obidve reakcie tvorby aktinolitu a biotitu poukazujú na pokles tlaku počas metamorfózy.

## P-T podmienky metamorfózy

Podrobná petrologická analýza metabazitov a metapelitov poukazuje na metamorfózu hornín meliatskej jednotky vo fácii modrých bridlíc. Hoci minerálne asociácie všetkých lokalít sú podobné, pre možný rozdiel v P-T podmienkach bola spracovaná každá lokalita samostatne. Minimálne tlaky sú predpokladané podľa reakcie tvorby modrého amfibolu, ktorú experimentálne študoval Maruyama et al. (1986), ale aj podľa izoplety Si (3.46 a./vz.) vo fengite (Massonne, 1991). Vzhľadom na obsah minerálov v metabazite (zriedkava prítomnosť sludy a Ca-amfibolu) a štruktúrnych a fázových vzťahov boli získané relatívne nízke P-T podmienky pre metabazity skupiny I s aktinolitom (Act<sub>1</sub>) a egirínom. Invariantný bod reakcií (1-5) s reakciou (10) dáva tlaky 8 kbarov pri 340 °C. Reakcia (10) bola vypočítaná podľa maximálneho obsahu Jd v analyzovanom pyroxéne (13 %).

Invariantné body reakcií (3-5) pre metabazity skupiny I bez aktinolitu dávajú tlak 10 - 11 kbarov pri 370-400 °C (obr.8). Nižšie hodnoty tlaku boli vypočítané pre stred a vyššie pre okraj granátu a chloritu. Pretože hlavné fázy metabazitov sú glaukofán, epidot a albit, reakcia (5) sa zdá byť najpravde-podobnejšia pre tvorbu glaukofánu v metabazite, ale aj metapelite. Rovnovážna krivka tejto reakcie potom dáva tlak 9-12 kbarov pri 350-460 °C. Ak predpokladáme teploty 400-460 °C pre asociácie s pyroxénom, potom je možné, použitím maximálneho obsahu jadeitu v pyroxéne (Jd<sub>53</sub>), získať tlak 10-12 kbarov. Teplota 420-490 a 360-460 °C pre horniny skupiny I s glaukofánom-pyroxénom a glaukofán - chloritoidom boli získané pomocou granát-fengitového geotermometra (Krogh & Raheim, 1978; Green & Hellman, 1982; Hynes & Forest, 1988). V prvých dvoch prípadoch boli výpočty realizované pri konštantnom tlaku 12 kbarov. Maximálny tlak 12-12.5 kbar bol získaný pre metabazity skupiny II pri Zádieli. Ako sme spomenuli v petrografickej a mineralogickej časti, tieto metabazity obsahujú svetlomodrý amfibol, zloženia glaukofánu.

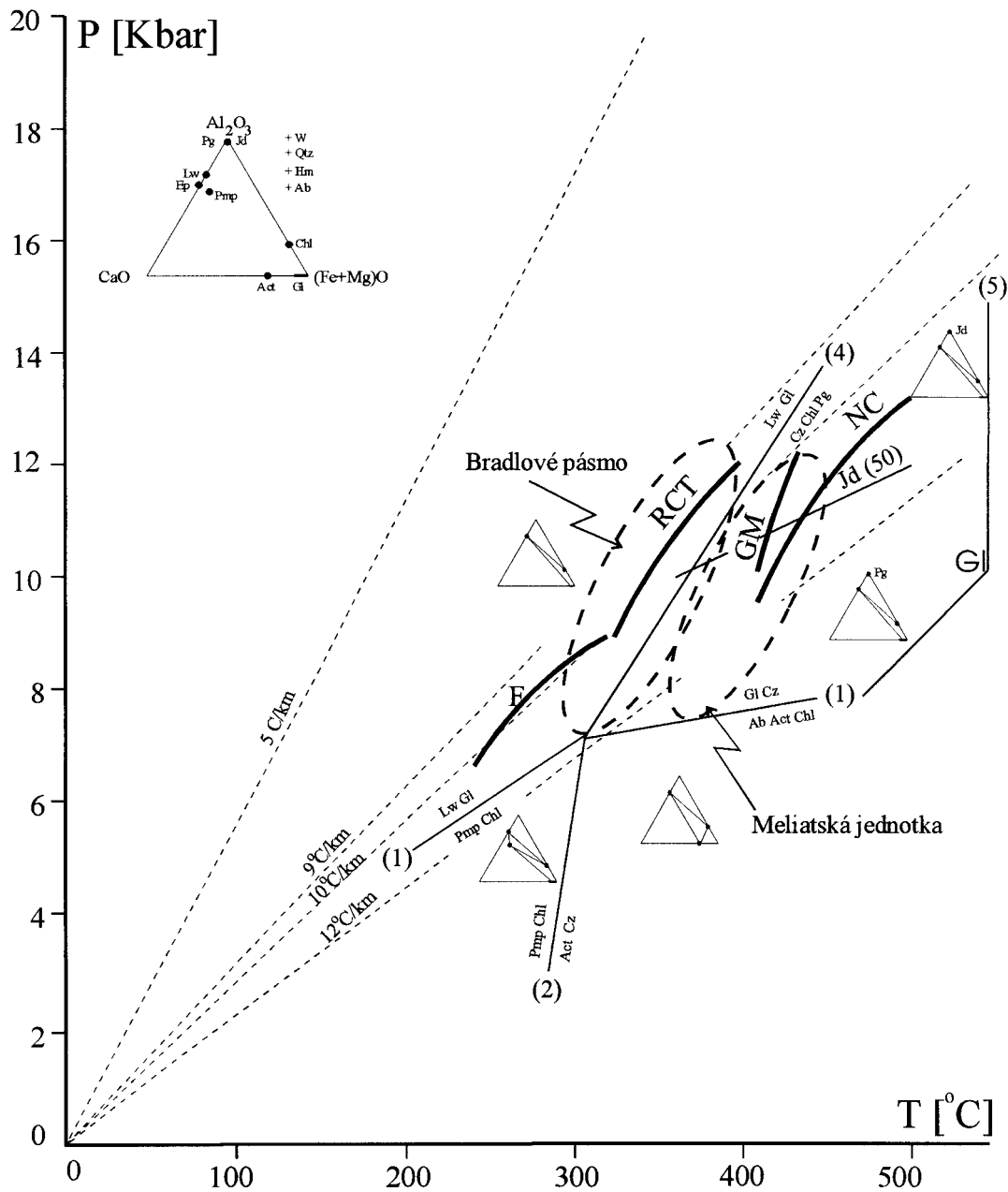


Obr.8. Rovnovážné krivky niektorých reakcií (uvedených v texte) z modrých bridlíc meliatskej jednotky sú vypočítané na základe termodynamických údajov Berman (1988) a Brown et al. (1989). Izoplety  $Ab = Jd + Qtz$  sú od Hollanda (1983). Trojuholníky reprezentujú invariantné body reakcií 3-5 pre stred (prázdne) a okraj (plné) granátu. Šípky ukazujú P-T podmienky a ich pravdepodobný priebeh pre metamorfity fácie modrých bridlíc skupiny I, II, IV (a) a III (b).

Metamorné podmienky 8- 10 kbar pri 350 °C sú predpokladané pre niektoré asociácie s chloritoidom, ale bez glaukofánu vo fylitoch skupiny II (Faryad, 1995a) a to podľa reakcie (6) a (11). Tieto hodnoty P-T podmienok sú porovnateľné s hodnotami, získanými pre metabazity skupiny I s  $Act_1$ .

Vzhľadom na druhotný pôvod chloritu, neboli analyzované P-T podmienky modrých bridlíc skupiny IV. Avšak prítomnosť fengitu a glaukofánu podobného zloženia ako sa vyskytuje v horninách skupiny I, svedčí o analogických P-T podmienkach metamorfózy.

Progresívny nárast tlaku a teploty počas metamorfózy možno predpokladať na základe prítomnosti zonálneho amfibolu, granátu, chloritoidu, pyroxénu a niekedy aj fengitu, titanitu a epidotu v metabazitoch. Hodnoty tlaku a teploty 7-9 kbar a 350-380 °C boli odhadované pre metabazity s  $Act_1$  a fylity bez glaukofánu. Zloženie a fázové vzťahy medzi minerálmi, hlavne medzi  $Act_1$  a modrým amfibolom svedčí o progresívnom raste tlaku od hranice fácie zelených a modrých bridlíc po vlastnú fáciu modrých bridlíc. Maximálne P-T podmienky 11.5 kbarov pri 450 °C sú odhadované pre MFBM skupiny I a okolo 12 kbar pri 460 °C pre MFBM skupiny II. Rozdiel tlaku okolo 1 kbar pri 15 °C v pozícii invariantných bodov, ktorý bol vypočítaný pre zloženie stred-stred a okraj-okraj granátu, modrého amfibolu a chloritu, svedčí o relatívne strmom progadnom priebehu tejto vysokotlakovej metamorfózy.



Obr. 9. P-T podmienky mafických modrých bridlíc Západných Karpát, znázornených v petrogenetickej mriežke v systéme NCMASH. Reakcie (1-4) vymedzujú pole stability lawsonitických a epidotických modrých bridlíc a sú vypočítané podľa termodynamických údajov Berman (1988) a priemerným zložením minerálov (Faryad, 1996 5b,c). Gl - pole stability glaukofánu (Maresch, 1977). P-T trendy niektorých vybraných terénov modrých bridlíc. F- Franciscan (Liou and Maruyama, 1987), GM-Gneiss-minuti v Západných Alpách (Pognante, 1989), NC- Nová Kaledonia (Ghent et al., 1987), RCT-Roca Canavese Thrust schists (Sesia zona, Západné Alpy, Pognante, 1989), WP-Západný Piemont (Západné Alpy, Desmons, 1977).

Retrográdne štádium metamorfózy MFBM je dokumentované zánikom aktinolitu ( $Act_2$ ), ktorý lemuje modrý amfibol. Ten pravdepodobne vznikol v dôsledku poklesu tlaku po kulminácii metamorfných podmienok. Hodnoty tlaku blízko reakcie bez aktinolitu (1) boli získané pre asociácie s  $Act_2$  v modrých bridliciach skupiny I. Súhlasne so štruktúrnymi vzťahmi, biotit predstavuje retrográdnú fázu, ktorá vznikla po vyvrcholení tlakových podmienok. Ak predpokladáme jeho rovnováhu s glauko-fánom, potom vznikol podľa reakcie (9) pri 10 kbar a 450 °C. Zachovanie asociácie fácie modrých bridlíc vo viacerých vzorkách metabazitov svedčí o rýchlom výzdvihu meliatských vysokotlakových hornín.

MFBM meliatika možno v súlade s petrogenetickou mriežkou (Evans, 1991) klasifikovať ako epidotické modré bridlice, ktoré vznikli mimo poľa stability lawsonitu (obr.9). Podľa minerálnych asociácií a fáciovej série možno ich korelovať s modrými bridlicami Omanu (El-Shazly et al., 1991), východného Piemontu (Sesia zone; Desmons, 1977) alebo Gneiss-Minute z Álp (Pognante, 1989). Metamorfné minerálne asociácie vysokotlakových metasedimentov meliatika sú podobné horninám Novej Kaledónie (Gehnt et al 1987) alebo Omanu (El-Shazly & Liou, 1991). Obr.9 ukazuje fáciové série vysokotlakových terénov, definované prítomnosťou, alebo chýbaním lawsonitu. V súlade s poľami stability lawsonitu, neprítomnosť tohto minerálu v metabazitoch meliatika svedčí o vysokoteplotnom charaktere metamorfózy týchto modrých bridlíc s geotermálnym gradientom okolo 12 °C/km.

## Záver

Získané geochemické a petrogenetické údaje umožňujú niektoré závery, týkajúce sa paleogeografického a metamorfného vývoja meliatskej jednotky, ktoré možno zhrnúť do nasledovných bodov:

1. Geochemická charakteristika metabazitov skupiny I vykazuje podobnosť s bazaltami typu oblúk-MORB. Metabazity a mramory sú doprevádzané metamorfovanými sedimentárnymi horninami (metapelity, metadroby a metapieskovce s vysokotlakovými minerálmi), ktoré majú charakter uloženín kontinentálneho okraja.
2. Na rozdiel od skupiny I, horniny skupiny II pri Zádieli sa nevyskytujú spolu s mramormi a fylitmi a metabazity majú zloženie porovnateľné s medziplatňovými bazaltmi. Okrem fengitu s vysokým podielom Si obsahujú tieto horniny muskovit, staropaleozoického veku (370 Ma) (Faryad & Henjes-Kunst, 1995c). Podľa barometrie muskovit-rutil (Massonne et al., 1991), táto slúda reprezentuje strednotlakové podmienky amfibolitovej fácie. Teda okrem klastického pôvodu ju možno interpretovať ako slúdu pochádzajúcu zo staropaleozoického podkladu, ktorý bol postihnutý alpínskou vysokotlakovo-strednoteplotnou metamorfózou.
3. Vedľa pieskocov a zlepcov bohatých na kremeň od Jasova, dobrým príkladom hornín kontinentálnej kôry, ktoré podľahli metamorfóze fácie modrých bridlíc sú amfibolity a granát-amfibolické ruly pri Rudníku. Podľa zhodnotenia geochemickej a petrogenetickej charakteristiky, protolitom meliatskych MFBM boli horniny oceánskej a kontinentálnej kôry a to vrátane kryštalinika.
4. Metamorfný vývoj meliatskych MFBM svedčí o subdukcii a vysokotlakovej metamorfóze kôrových šupín kontinentálnej a oceánskej kôry. V regionálnom meradle, tento proces odpovedá ponáraníu hornín meliatského oceánskeho bazénu do hĺbky, zodpovedajúcej podmienkam tvorby MFBM. Zonálne minerály v niektorých metabazitoch indikujú progradnú metamorfózu od hranice fácie zelených a modrých bridlíc až po dosiahnutie P-T podmienok 12 kbar pri 400-460 °C. Študované horniny fácie modrých bridlíc možno klasifikovať ako epidotické modré bridlice, ktoré prekonalí metamorfózu mimo poľa stability lawsonitu. Zachovanie asociácie modrých bridlíc svedčí o rýchlom výzdvihu vysokotlakových hornín, ktorý sa odohral počas kôrového skrátania.
5. Predpokladané uvedené štyri skupiny MFBM naznačujú, že meliatska jednotka je súbor tektonických šupín, ktorý vznikol subdukciou hornín, ktoré pôvodne patrili rozdielnym jednotkám, t.j. nevznikli metamorfózou jednej litostratigrafickej skupiny. Ich pričleneniu k slabo- až nemetamorfovaným horninám sa odohralo počas ich výzdvihu a kolízie v akrečnej prizme.

### Pod'akovanie

*Predložená práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠ SR. Za cenné pripomienky k rukopisu tejto práce ďakujem Prof. S. Jackovi a Dr. P. Pitoňákovi.*

## References

- Bacsó, Z.: Záverečná správa a výpočet zásob Jasov, Rudník, VP azbest. *Manuscript, GS SR, Spišská N. Ves, 1980, 155 pp.*
- Berman, R.G.: Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-CaO-MgO-FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>. *Journal of Petrology, 1988, 29, 445-522.*

- Brown, T.H., Berman, R.G. & Perkins, E.H.: PTA-system: A GeO-Calc software package for the calculation and display of activity-temperature-pressure phase diagram. *American Mineralogist*, 74, 1989, 485-487.
- Desmons, J.: Mineralogical and petrological investigations of the Alpine metamorphism in the Western Alps. *Amer.J.Sci.*, 283-A, 1977, 438-458.
- El-Shazly, A.K., Coleman, R.G. & Liou, J.G.: Eclogites and Blueschists from Northern Oman: Petrology and P-T evolution. *Journal of Petrology*, 31, 1990, 629-666.
- El-Shazly, A.K. & Liou, J.G.: Glaucophane chloritoid-bearing assemblages from N.E. Oman: Petrologic significance and petrogenetic grid for high P/T metapelites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 107, 1991, 180-201.
- Ernst, W.G.: Petrogenesis of glaucophane schists. *Journal of Petrology*, 4, 1963, 1-30.
- Evans, B.W.: Phase relations of epidote-blueschists. *Lithos*, 25, 1990, 3-23.
- Faryad, S.W.: Glaucophanized amphibolites and gneisses near Rudník (Gemericum). *Geologický Zborník Geologica carpathica*, 39, 6, 1988, 747-763.
- Faryad, S.W.: Petrology and phase relations of low-grade high-pressure metasediments from the Meliata unit, West Carpathians, Slovakia. *European Journal of Mineralogy*, 7, 1995, 71-87.
- Faryad, S.W.: Phase petrology of mafic blueschists of the Meliata Unit (West Carpathians)-Slovakia. *J. metamorphic Geol.*, 13, 1995b, 432-448.
- Faryad, S.W. & F. Henjes-Kunst, F.: Metamorphism of the Meliata high-pressure rocks (West Carpathians, Slovakia). *Terra abstract, Terra nova*, 7, EUG 8, Strasbourg, 1995c.
- Franceschelli, M., Mellini, M., Memmi, I. & Ricci, C.A.: Fine-scale chlorite-muscovite association in low-grade metapelites from Nurra (NW Sardinia), and the possible misidentification of metamorphic vermiculite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 93, 1986, 137-143.
- Frey, M.: Progressive low-grade metamorphism of a black shale formation. Central Swiss Alps, with a special reference to pyrophyllite and margarite-bearing assemblages. *J.Petrol.*, 9, 1978, 95-135.
- Ghent, E.D., Stout, M.Z., Black, P.M. & Brothers, R.N.: Chloritoid-bearing rocks associated with blueschists and eclogites, northern New Caledonia. *J. Metamorphic Geol.*, 5, 1987, 239-254.
- Greenwood, H.J.: Thermodynamically valid projections of extensive phase relationships. *American Mineralogist*, 60, 1975, 1-8.
- Green, T.H. & Hellman, P.L.: Fe-Mg partitioning between coexisting garnet and phengite at high-pressure, and comments on a garnet-phengite geothermometer. *Lithos*, 15, 1982, 253-266.
- Holland, T.J.B.: The experimental determination of activities in disordered and short-range ordered jadeitic pyroxene. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 82, 1983, 214-220.
- Hoschek, G.: The stability of staurolite and chloritoid and their significance in metamorphism of pelitic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 22, 1969, 208-232.
- Hynes, A. & Forest, R.C.: Empirical garnet-muscovite geothermometry in low-grade metapelites, Selwyn Range (Canadian Rockies). *J. Metamorphic Geol.*, 6, 1988, 297-309.
- Ivan, I. a Kronome, B.: Predmetamorfny charakter a geodynamické prostredie vzniku vysokotlakovo metamorfovaných bazitov meliatskej jednotky na lokalitách Radzim, Bôrka, Hačava a Rudník. *Mineralia Slovaca*, 28, 1996, 26-37.
- Kamenický, J.: Triassic Serpentinites, diabases and glaucophanic rocks from Spišsko-gemerske rudohorie. *Geologické práce, Zošit 45*, Geol. Inst. D. Štúr, Bratislava, 1957, 1-57.
- Kretz, R.: Symbols for Rock-forming minerals. *Amer. mineralogist*, 68, 1983, 277-279.
- Krogh, E.J. & Raheim, A.: Temperature and pressure dependence of Fe-Mg partitioning between garnet and phengite, with particular reference to eclogites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 66, 1978, 75-80.
- Leake, B.E.: Nomenclature of amphiboles. *Canadian Mineralogist*, 16, 1978, 501-520.
- Liou, J.G. Maruyama, S. & Cho, M.: Very low-grade metamorphism of volcanic and volcanoclastic rocks-mineral assemblages and mineral facies. In: (Frey, M. ed.): *Low-temperature metamorphism*. Blackie, 1987, 59-113.
- Mahel, M.: Geological structure of the Czechoslovak Carpathians. Palealpine units. *Veda, Bratislava*, 1986, 496 pp.
- Maluski, H., Rajlich, P. & Matte, Ph.:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the Inner Carpathian Variscan Basement and Alpine mylonitic overprinting. *Tectonophysics*, 223, 1993, 313-337.
- Maresch, W.V., Massonne, H.J. & Czank, M.: Ordered and disordered chlorite/ biotite interstratifications as alteration products of chlorite. *N. Jb. Mineral. Abh.* 152, 1985, 79-100.
- Maruyama, S., Cho, M. & Liou, J.G.: Experimental investigations of blueschist- greenschist transition equilibria: Pressure dependence of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  contents in sodic amphiboles- A new geobarometer. In: *Blueschists and eclogites* (ed. Evans, B.W. & Brown, E.H.) *Geological Society of America, Memoir 164*, 1986, 1-16.

- Massonne, H.J.: High-pressure, low-temperature metamorphism of pelitic and other protoliths based on experiments in the system  $K_2O$ - $MgO$ - $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$ . *Habilitationsschrift Ruhr-Univ. Bochum*, 1991, 172 pp.
- Meschede, M.: A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology* 56, 1986, 207-218.
- Mock, R.: Some new knowledges about southern part of the West Carpathians. In: *Paleogeographic development of the West Carpathians* (ed. Vozár, J.), 322-341. Morimoto, N., 1988. *Nomenclature of pyroxenes. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 68, 1978, 95-111.
- Okay, A.: Mineralogy, petrology and phase relations of glaucophane-lawsonite zone blueschists from the Tavsanli region, northwest Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.* 72, 1980, 243-255.
- Pearce, J.A. & Norry, M.J.: Petrogenetic implication of Ti, Zr, Y and Nb variation in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69, 1979, 33-47.
- Pognante, U.: Lawsonite blueschist and eclogite formation in the southern Sesia zone (Western Alps, Italy). *European Journal of Mineralogy*, 1, 1989, 89-104.
- Pognante, U & Kienast, J.R.: Blueschist and eclogite transformation in Fe-Ti gabbros: a case from the western Alps ophiolites. *Journal of Petrology*, 28, 1987, 271-292.
- Reichwalder, P.: Geologische Verhältnisse des jüngeren Palläozoikums im Süd Teil des Zips-Gemerer Erzgebirges. *Západné Karpaty*, 18, , *Geol.Inst. D. Štur, Bratislava*, 1973, 99-139.
- Rozložník, L.: Petrography of granitized rocks from the Rakovec Group, near Dobšina. *Západné Karpaty*, 4, 1965, 95-145.
- Smith, D.C.: The pressure and temperature dependence of Al-solubility in titanite in the system Ti-Al-Ca-Si-O-F. *Progress in Experimental Petrology N.E Publication Ser. D-18*, 1981, 193-197.
- Symmes, G.H. & Ferry, J.M.: The effect of whole-rock MnO content on the stability of garnet in pelitic schists during metamorphism. *Journal of Metamorphic Geology*, 10, 1992, 221-237.
- Thompson, J B.: The graphical analysis of mineral assemblages in pelitic schists. *American Mineralogist*, 42, 1957, 842-858.
- Theye, T. & Seidel, E.: Petrology of low-grade high-pressure metapelites from the External Hellenides (Crete, Peloponnese). A case study with attention to sodic minerals. *European Journal of Mineralogy*, 3, 1991, 343-366.
- Vidal, O., Goffe, B. and Theye, T.: Experimental study of the stability of sudoite and magnesiocarpholite and calculation of new petrogenetic grid for the system  $FeO$ - $MgO$ - $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$ . *J.metamorphic Geol.*, 10, 1992, 603-614.
- Zen, E-An.: Metamorphism of Lower Paleozoic rocks in the vicinity of the Taconic range in west central Vermont. *Am. Mineral.*, 45, 1960, 129-175.