

# Metamorfny vývoj tremolitových mramorov z Ostrej pri Hnúšti (Stolické vrchy, Slovensko)

## Metamorphic evolution of tremolitic marble from Ostrá near Hnúšťa (Stolické vrchy, Slovakia)

PETER RUŽIČKA\*, PETER BAČÍK A JURAJ MORAVČÍK

*Katedra mineralógie a petrológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava; \*e-mail: ruzicka@fns.uniba.sk*

RUŽIČKA P., BAČÍK P., MORAVČÍK J. (2015) Metamorfny vývoj tremolitových mramorov z Ostrej pri Hnúšti (Stolické vrchy, Slovensko). *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha) 23, 1, 46-59, ISSN 1211-0329.*

### Abstract

The prograde metamorphic stage of the Hnúšťa - Ostrá marbles is indicated by the phlogopite and the tremolite mineral assemblages. On the other hand talc, a muscovite and a clinocllore are characteristic for the retrograde mineral associations. Occurrences of a calcite and a dolomite in the marbles are represented by the two generations. First is determined by the main dolomite 1 and the calcite 1 grains in matrix. A presence of the dolomite 1 exsolution is typical for the calcite 1. Second generation is determined by calcite 2 and dolomite 2, which are part of the inclusions in tremolite. The calcite 2 is homogeneous and does not have any exsolution lamellae. The average P-T conditions of prograde metamorphic recrystallization are in the range of 240 - 330 MPa (P) and 528 - 543 ± 11 °C (T). The retrograde stage of metamorphic recrystallization is specified from the muscovite-chlorite pairs and clarified pressure of 300 MPa and temperature of 296 ± 12 °C. The studied tremolites are characteristic with tschermak substitution.

**Key words:** metamorphic conditions, tremolitic marble, Hnúšťa - Ostrá, Slovakia

Obdrženo: 31. 3. 2015; prijato: 22. 5. 2015

### Úvod

V článku sú prezentované výsledky štúdia minerálneho zloženia tremolitových mramorov z oblasti pod vrchom Ostrá (1011.4 m n. m.) pri Hnúšti v okolí opusteného Pb-Zn ložiska spolu s výskytom mramorovej šošovky, ktorá bola v minulosti overovaná za účelom pokusnej blokovej ťažby pre dekoratívne využitie. Dosiahnuté výsledky základného petrologického výskumu podporené numerickými výstupmi z geotermobarometrie dopĺňajú poznatky o metamorfnom vývoji karbonátov v skúmanej oblasti.

Tremolit  $\square\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  predstavuje typický indexový minerál v regionálne a kontaktne metamorfovaných karbonátových a vápenato-silikátových prípadne silikátovo-dolomitových horninách. Zo všeobecne akceptovaných poznatkov o stabilite tremolitu počas regionálnej metamorfózy je známe, že v rámci asociácie: Dol + Cal + Qtz + Tr je potrebná teplota okolo 470 °C a tlak 500 MPa pri  $X_{\text{CO}_2}$  0.20 (Bucher, Grapes 2011).

### Geologická charakteristika

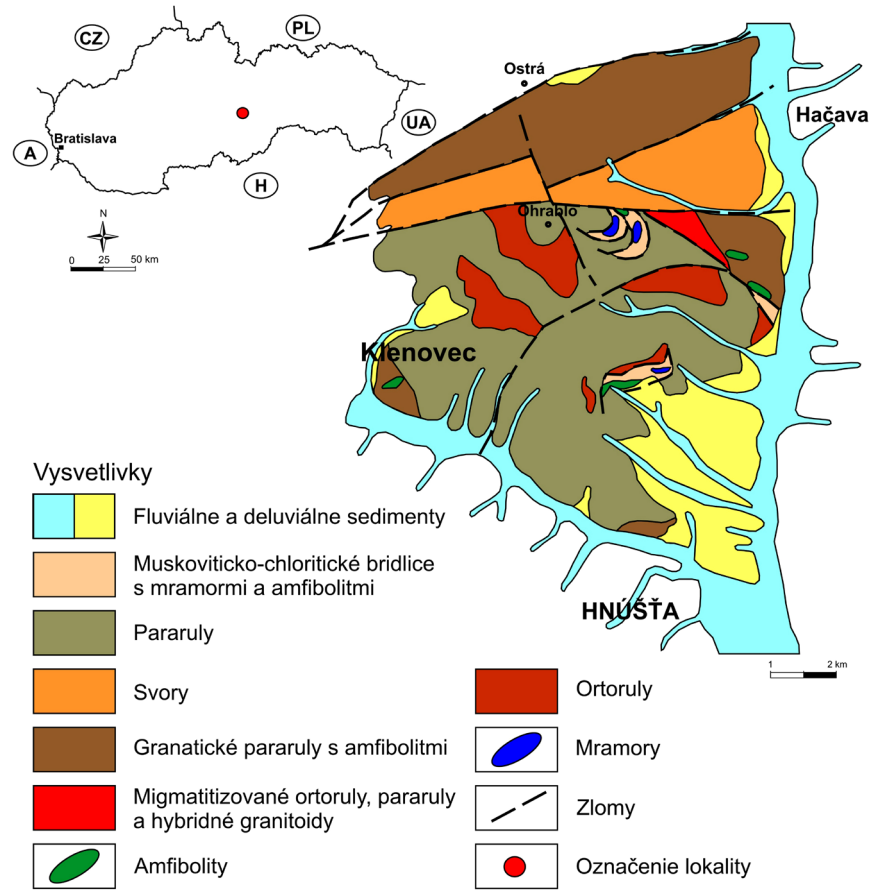
Skúmané územie tvorí súčasť tektonickej jednotky veporika vnútorných Západných Karpát. Veporikum pozostáva z kryštalinického fundamentu a obalových vrchnopaleozoických a mezozoických sekvencií. Pri severnom okraji je nasunuté na tatrikum (čertovická línia). Južným obmedzením sa ponára pod gemerikum (lubenícko-margecianska línia). Vertikálne členenie veporika od juhu na sever postupuje po zónach (kohútska, kráľovoholská, krakovská, ľubietovská), ktoré vyčlenil Zoubek (1957).

V kryštaliniku južného veporika, ktoré tvorí skúmané územie, sú zastúpené reliktly metamorfovaných staropaleozoických hornín v rámci sineckého komplexu, ktorý vyčlenil Bezák (1982). Okolité horniny reprezentujú granatické svory komplexu Ostrej. Sinecký komplex pozostáva z muskoviticko-chloritických bridlic so šošovkami dolomitov, magnezitov, mastencov a mramorov (obr. 1). V blízkosti Hnúšte je súčasťou sineckého komplexu magnezitovo-mastencové ložisko Mútnik. Muskoviticko-chloritické bridlice obsahujú aj polohy amfibolitov, ktoré sa vyskytujú v tektonických šupinách.

Zložitá geologická stavba južného veporika je výsledkom pôsobenia viacerých hercýnskych a alpínskych tektonometamorfnych a magmatických procesov (Bezák et al. 1999b; Ferenc et al. 2007). Tektonická superpozícia komplexov kryštalinika vo svojom základe vznikla už počas vývoja hercýnskeho orogénu, pričom vo veporiku je do značnej miery rejuvenizovaná alebo deštruovaná alpínskymi procesmi. Paleoalpínska kolízia kulminovala rýchlym výzdvihom južného veporika. Následné nastolenie extenzného režimu podmienilo tektonotermálnu aktivizáciu a ňou vyvolanú krustálnu cirkuláciu fluíd, ktorá sa spája s mladšími štádiami metamorfo-hydrotermálnych mineralizácií (Lexa et al. 2007).

### Metamorfny vývoj

Kryštalinikum veporika podľahlo najintenzívnejšiemu neohercýnskeму a alpínskeму tektonometamorfneému prepracovaniu (Bezák 2004). Kováčik in Slavkay et al. (2004) predpokladá, že alpínsku metamorfózu do značnej



**Obr. 1** Lokalizácia skúmaného územia v geologickej mape Slovenského rudohoria - západná časť 1 : 50 000 (Bezák et al. 1999a - modifikoval P. Ružička).



**Obr. 2** Terénna situácia na skúmaných lokalitách: a) pohľad na zarastené haldy Pb-Zn ložiska Ostrá; b) detail na mramorový odkryv. Foto P. Ružička, 2014.



miery stimuluje intenzívna fluidná infiltrácia spôsobená hlbinou reaktiváciou fundamentu.

Pri charakterizovaní poznatkov o metamorfóze sa sústreďujeme hlavne na horniny, ktoré bezprostredne súvisia so skúmanou časťou sineckého komplexu. Geotermobarometrické kalkúlácie z alpínskej minerálnej asociácie juhovýchodnej časti fundamentu veporika indikujú podmienky 600 - 620 °C a 1000 - 1200 MPa (Plašienka et al. 1999; Janák et al. 2001; Jeřábek et al. 2008). Alpínsky vek prográdnej metamorfózy podľa  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  datovania metapelitov komplexu Ostrá sa pohybuje v rozsahu 105 - 84 Ma (Maluski et al. 1993; Dallmeyer et al. 1996; Kováčik et al. 1997) respektíve 95 - 60 ± 10 Ma (Janák et al. 2001).

Kováčik (1996) poukazuje na lokálnu Mg-metasomatózu, ktorá vyvoláva špecifickú alteráciu hornín juhoveporického kryštalinika najmä v oblasti sineckej magnezitovo-mastencovej zóny s prejavom blastézy novotvoreného Mg-chloritu. Extrémnym prípadom je alpínska metamorfóza alumosilikátovej horniny (pravdepodobne granitu) na kyaniticko-Mg-chloritickú bridlicu s odhadovanou teplotou 350 - 420 °C pri tlakoch okolo 230 až 400 MPa. Metamorfóza pravdepodobne geneticke súvisí s alpínskou steatitizáciou magnezitových telies v centrálnej časti kohútskej zóny.

Na základe minerálnej asociácie amfibol + biotit + chlorit + dolomit + kalcit + kremeň v dolomiticko-amfibolitických bridliciach z ložiska Hnúšťa - Mútnik bol stanovený priemerný teplotný rozsah 550 - 600 °C pri tlakoch 700 až 900 MPa a tlaku fluidnej fázy  $X_{\text{CO}_2} = 0.4 - 0.5$  (Uher et al. 2002).

Prítomnosť skarnovej mineralizácie v rámci ložiska Hnúšťa - Mútnik opísali Turan a Vančová (1980), Vančová a Turan (1981) a Turanová et al. (1997). Šošovkovité telesá skarnov sú viazané na amfibolity. Minerálnu asociáciu skarnov tvorí diopsid, vesuvianit, grosulár, wollastonit a epidot-klinozoisit. Okrem kontaktné metamorfovanej minerálnej asociácie spomínaní autori uvádzajú aj tremolit, flogopit, almandín, hornblend, klinochlór a aktinolit ako produkty regionálnej metamorfózy.

Stabilita mastenca a tremolitu v Mg- alebo Mg-Ca mramoroch ložiska Mútnik je pri teplotách 520 - 525 °C a tlakoch 790 - 850 MPa (Korikovsky et al. 2002).

## Mineralizácia

Vo veporiku sú mineralizácie výsledkom viacerých na sebe naložených tektonotermálnych procesov, ktoré spôsobovali remobilizáciu kovov. Metamorfo-hydrotermálne a metasomatické mineralizácie sú viazané na strižné zóny. Svorový komplex a jeho pozícia v prostredí strižných zón má podstatnú úlohu pri alpínskej metalogenéze v strednej časti kohútskej zóny (Ferenc et al. 2007).

S vývojom sineckej strižnej zóny vo veporiku sú spojené alpínske hydrotermálne rudné mineralizácie s čím úzko súvisia výskyt a ložiská mastenca spolu s magnezitmi. Metasomatický, žilnikový až impregnačný charakter má mineralizácia v karbonátových šošovkách na výskytoch Ostrá a v magnezite respektíve dolomite na mastencovo-magnezitových výskytoch. Metasomatická magnezitová mineralizácia vznikala pri teplotách 370 - 420 °C (Koděra, Radvanec 2002). Hornú hranicu vzniku magnezitu ohraničuje mladšia naložená mastencová a sulfidická mineralizácia (Ferenc et al. 2007).

Metasomatická mastencová mineralizácia s polohami magnezitu a dolomitu sa viaže na mylonitové a strižné zóny s prejavmi alpínskej retrográdnej metamorfózy (Németh et al. 2004). V menšej miere sa vyskytuje v tenkých

polohách aj priamo v magnezite respektíve v okolitých chloritických bridliciach. Steatitizácia je výsledkom reakcie magnezitu a dolomitu s fluidami obsahujúcimi  $\text{SiO}_2$  pri teplote okolo 350 - 400 °C (Hraško et al. 2005). Druhá etapa vzniku mastencov bola lokálna, bez ložiskotvorného významu. Steatitizácia bola sprevádzaná výraznou migráciou Mg do strižných zón v kryštaliniku za vzniku chloriticko-muskovitických bridlíc. Reaktivované strižné zóny v staropaleozoických metasedimentoch a metavulkanitoch južného veporika boli vhodným zdrojom kovov, ako aj prostredím na vznik hydrotermálnych mineralizácií. Po kryštalizácii regionálne rozšírených kremenných žíl, po maxime metamorfózy v transpresnom režime, vzniku mastencov metasomatózou magnezitov a dolomitov nastali v transtenznom režime vhodné podmienky na vývoj karbonátovej a sulfidickej mineralizácie. Priestorovo sa hydrotermálna Fe-karbonátová a sulfidická mineralizácia viaže najmä na mylonitové a tektonicky porušené zóny paralelné so strižnými zónami paleoalpínskeho orogénu. Mineralizácia vystupuje vo forme šošovkovitých žíl s prechodmi do žilníkov.

Príkladom alpínskej hydrotermálno-metasomatickej mineralizácie, ktorá impregnovala polohy v šošovkách mramorov je výskyt Hnúšťa - Ostrá. Biele kryštalické vápence sú prestúpené kremennými žilkami, ankeritizované, vo vrchných častiach limonitizované. Ložisko známe pod označením Ostrá-As je tvorené arzenopyritom, menej pyritom, lokálne galenitom, sfaleritom, chalkopyritom, zlatom a z nerudných minerálov kremeňom. Petro (1961) a Láznicka (1962) opísali mineralizáciu Pb-Zn ložiska Ostrá nasledovne: primárne minerály tvorí galenit, sfalerit, arzenopyrit, pyrit, chalkopyrit, siderit, ankerit, kremeň a kalcit. Sekundárne minerály tvorí smithsonit, ceruzit a goethit.

Prvú písomnú zmienku o Pb-Zn ložisku známu ako: „*Hnustiae in monte Ostra apertissime prestant sigma Plumbi ...*“ uviedol Kortek (1819 in Petro 1961). Indície galenitu boli objavené náhodne pri ťažbe mramoru v roku 1937 ing. Ráztockým, ktorý starou štôľňou otvoril ložisko blízko povrchu a potom sledoval ťačticou a úpadnicou nepravidelne uložené zrudnenie (Koutek 1948; Láznicka 1962). Kutacie práce boli zastavené v roku 1949 z dôvodu nerentability. Ložisko bolo otvorené dvomi štôľňami ležiacimi nad sebou. Z vrchnej štôľne bolo nafárané najväčšie zrudnenie.

## Lokalizácia

Z hľadiska geomorfologického členenia (Mazúr, Lukniš 1980) skúmané územie patrí k Stolickým vrchom a podcelku Klenovské vrchy. V zmysle regionálneho geologického členenia (Vass et al. 1988) územie južne od muránskej tektonickej línie po styk s príkrovom gemerika patrí do veporského pásma kohútskej zóny. Mramory tvoria vo svoroch niekoľko drobných izolovaných šošoviek maximálne desiatky metrov hrubé (Láznicka 1962, 1963).

Skúmané vzorky pochádzajú z dvoch lokalít. Svetlé stredne zrnité mramory s makroskopicky viditeľnými lineárne uloženými stebkami tremolitu, ktoré v minulosti dosahovali dĺžku až 2 cm (Láznicka 1962) pochádzajú z haldového materiálu spodnej štôľne Pb-Zn ložiska Ostrá (obr. 2a). Ložisko je situované na juhovýchodnom úbočí vrchu Ostrá (1011.4 m n. m.), 2.5 km juhozápadne od Hačavy. Poloha lokality zodpovedá 48° 36.723' severnej šírky a 19° 55.923' východnej dĺžky s nadmorskou výškou 736 m. Ložisko je s Klenovcom a s cestou Hnúšťa - Tisovec spojené prakticky nezjazdnými lesnými cestami so

strmým stúpaním. V teréne sú zachované stopy po starých banských prácach (pingy, kutacie ryhy, haldy). Asi 20 m pod cestou je úplne zavalená horná štôľňa. Spodná štôľňa s pomerne veľkou haldou je asi o 30 m nižšie na východ. Vchod do štôľne bol neprístupný, ale za čias Lázničku (1962) bol pomerne dobre zachovalý, pričom spomína, že asi po 4 m bola chodba zavalená.

Druhou skúmanou lokalitou je odkryv (obr. 2b) po pokusnej blokovej ťažbe mramoru na dekoračné účely. Opustený, malý lom sa nachádza na východnom svahu jv. hrebeňa kóty Ohrablo (887.8 m n. m.). Poloha lokality zodpovedá 48° 36.719' severnej šírky a 19° 56.059' východnej dĺžky s nadmorskou výškou 680 m. V minulosti sa surovina používala na pálenie vápna v menšom rozsahu (Macko, Lenárt 1971). Počas vyhľadávacieho prieskumu sa z malého lomu odobrali bloky bielych kryštalických vápencov, ktoré sa testovali na dekoračné využitie (Tomko et al. 1973).

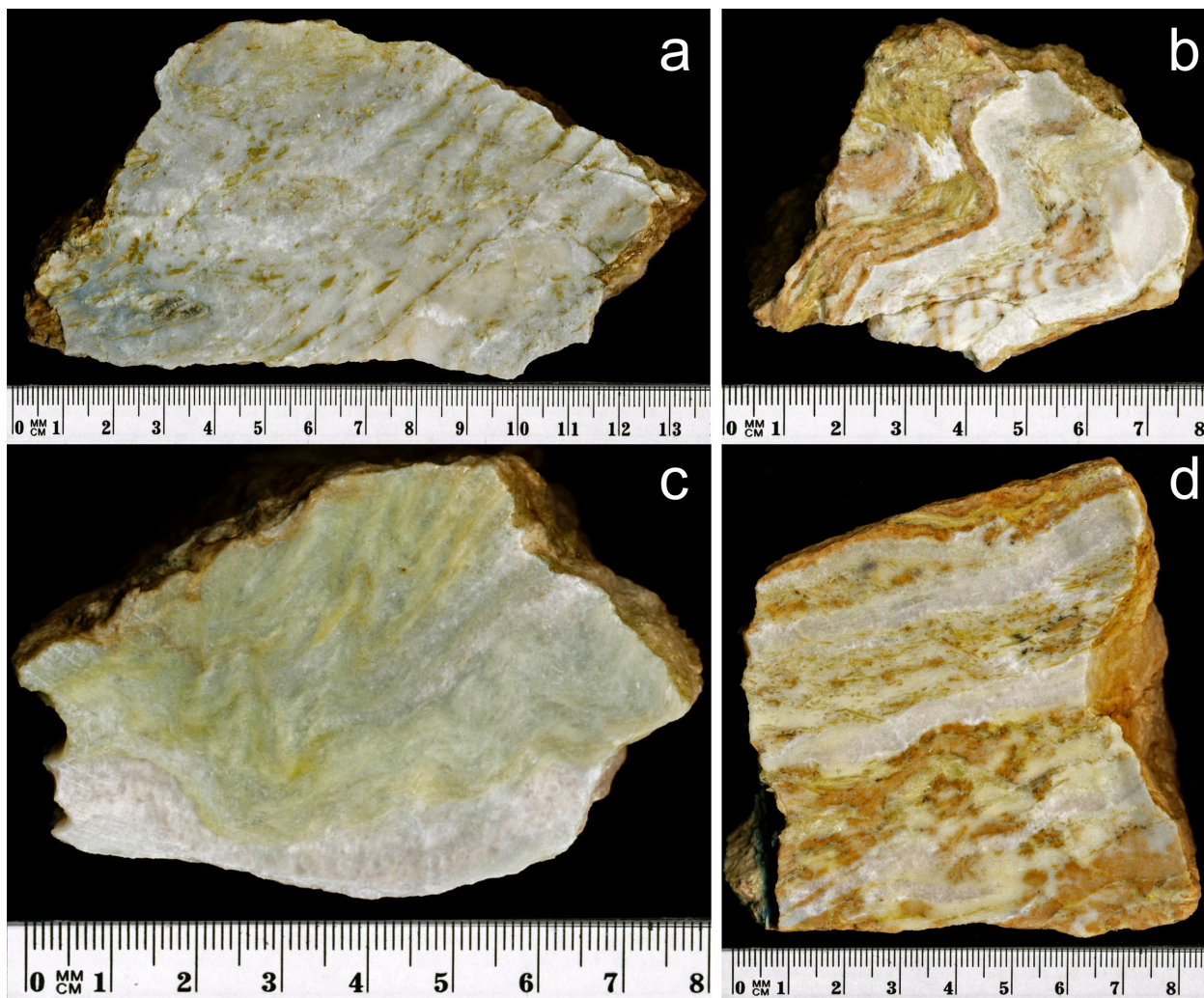
### Metodika

Zo vzoriek boli zhotovené leštené výbrusy, ktoré sme pozorovali v polarizačnom mikroskope Leica DM 2500 P na Katedre mineralógie a petrológie PriF UK v Bratislave. Predmetom mikroskopického pozorovania bolo zistenie štruktúrnych vzťahov a vyznačenie minerálov, ktoré boli následne študované elektrónovým mikroanalýzátorom. Súčasťou polarizačného mikroskopu je aj CCD kamera, ktorou boli výbrusy digitálne zdokumentované.

Leštené, uhlíkom naparené výbrusy vzoriek boli analyzované elektrónovým mikroanalýzátorom Cameca SX100 na Štátnom geologickom ústave Dionýza Štúra v Bratislave. Meranie bodových chemických analýz minerálov WDS spektrometrami prebiehalo pri urýchľovacom napätí 15 kV a prúde 20 nA. Priemer elektrónového lúča pri meraní silikátov bol 5  $\mu\text{m}$  a pri analyzovaní karbonátov 7  $\mu\text{m}$ . Mikroštruktúrne znaky fázových vzťahov jednotlivých minerálov sme pozorovali v späťne rozptýlených elektrónoch (BSE - back scattered electron). Na meranie silikátov boli použité štandardy: ortoklas (Si, K), wollastonit (Ca), albit (Na), forsterit (Mg),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Al), fayalit (Fe), rodonit (Mn), Cr (Cr), Ni (Ni). Kalibračné štandardy na meranie karbonátov boli: forsterit (Mg), wollastonit (Ca), fayalit (Fe),  $\text{SrTiO}_3$  (Sr) a rodonit (Mn).

Skratky minerálov použité v texte článku vychádzajú z publikácie Siivola, Schmid (2007). Mikrosondové analýzy tremolitu boli stechiometricky prepočítané použitím klasifikácie amfibolov (Leake et al. 1997; Hawthorne et al. 2012).

Na stanovenie pT podmienok metamorfózy sme aplikovali program XMapTools (Lanari et al. 2014) na základe identifikácie chloritov elektrónovým mikroanalýzátorom. V rámci programu XMapTools sú implementované empirické chloritové geotermometre (Inoue et al. 2009; Zang, Fyfe 1995; Jowett 1991; Hillier, Velde 1991; Cathelineau 1988; Kranidiotis, MacLean 1987; Cathelineau, Nieva 1985) a geobarometer (Massone, Schreyer 1987). Softvérové operácie pre chlority vychádzajú z práce Vidal et al. (2006), Lanari et al. (2014) a sludy z prác Parra



Obr. 3 Prierezy vzoriek tremolitických mramorov z haldového materiálu v okolí Pb-Zn ložiska Ostrá. Scan P. Ružička.



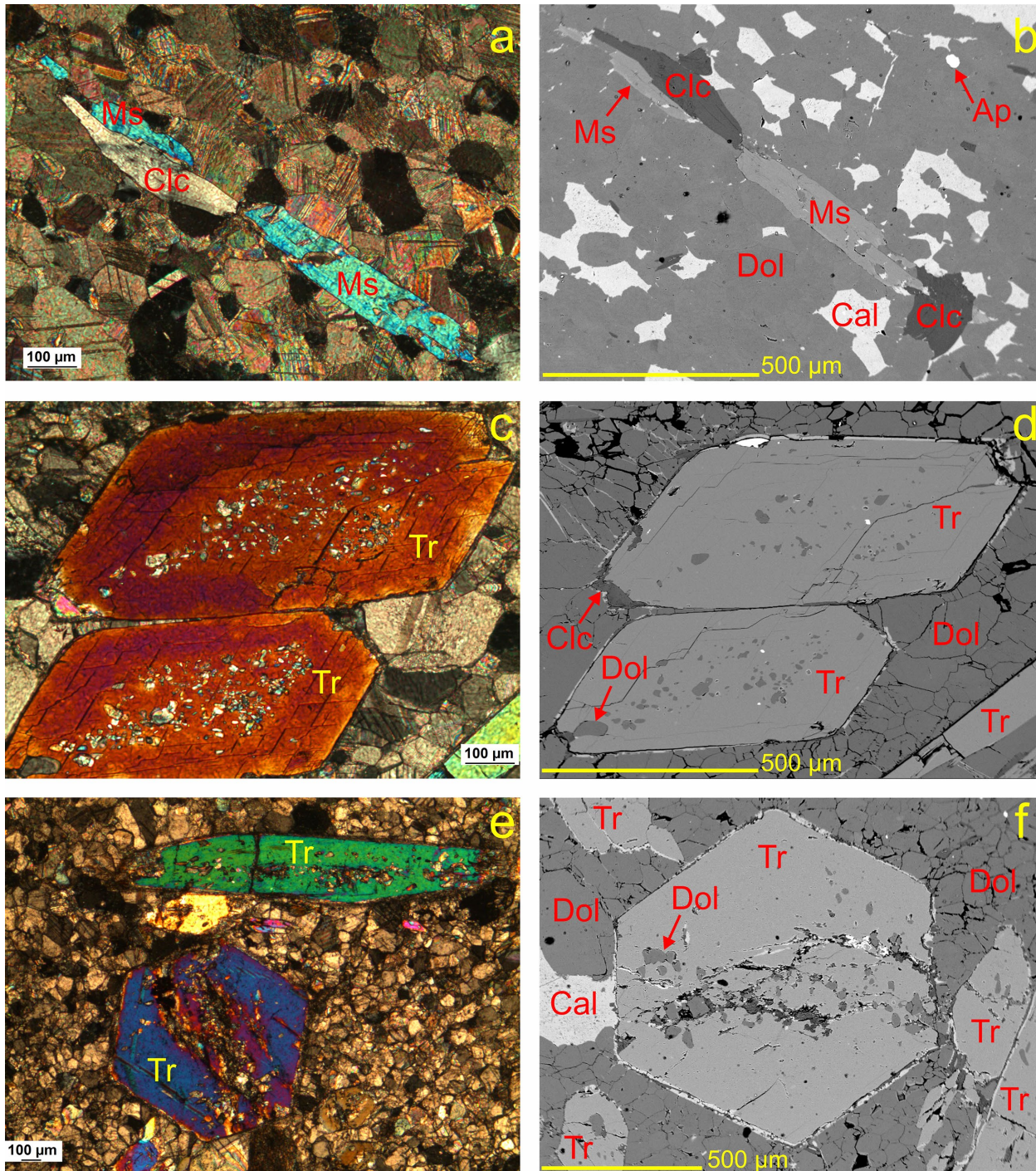
et al. (2002) a Dubacq et al. (2010). Teploty rekryštalizácie kalcitu boli vypočítané pomocou geotermometrických kalibrácií pre kalcitovo-dolomitový solvus podľa Anovitz, Essene (1987) a McSwiggen (1993).

## Výsledky

### Petrografický opis

Kryštalický dolomitický vápenec má svetlú, bielu farbu. Hornina je rovnomerne zrnitá, stredného až jemného zrna (0.5 - 1 mm). Tvoria 20 cm až 1 m hrubé lavice,

ktoré pri okrajoch prechádzajú do tenko bridličnatého, tektonicky prepracovaného karbonátu. Silikátmi obohatený karbonát je hornina tenko doskovito až lupeňovito odlučná, zložená z nepravidelných polôh karbonátu (0.5 - 3 m), ktoré sú prestúpené silikátmi. Karbonátové vrstvy sú obyčajne jemnozrnné až takmer celistvé, svetlých farieb s nerovnomernými odtieňmi do zelena až ružova, ktoré vytvárajú nevýrazný flakaty vzhľad. Vrstvy silikátov v karbonátoch majú hnedkastú až zelenkastú farbu. Najčastejšie sú tvorené flogopitom, muskovitom, chloritmi a ojedinále mastencom (talk).



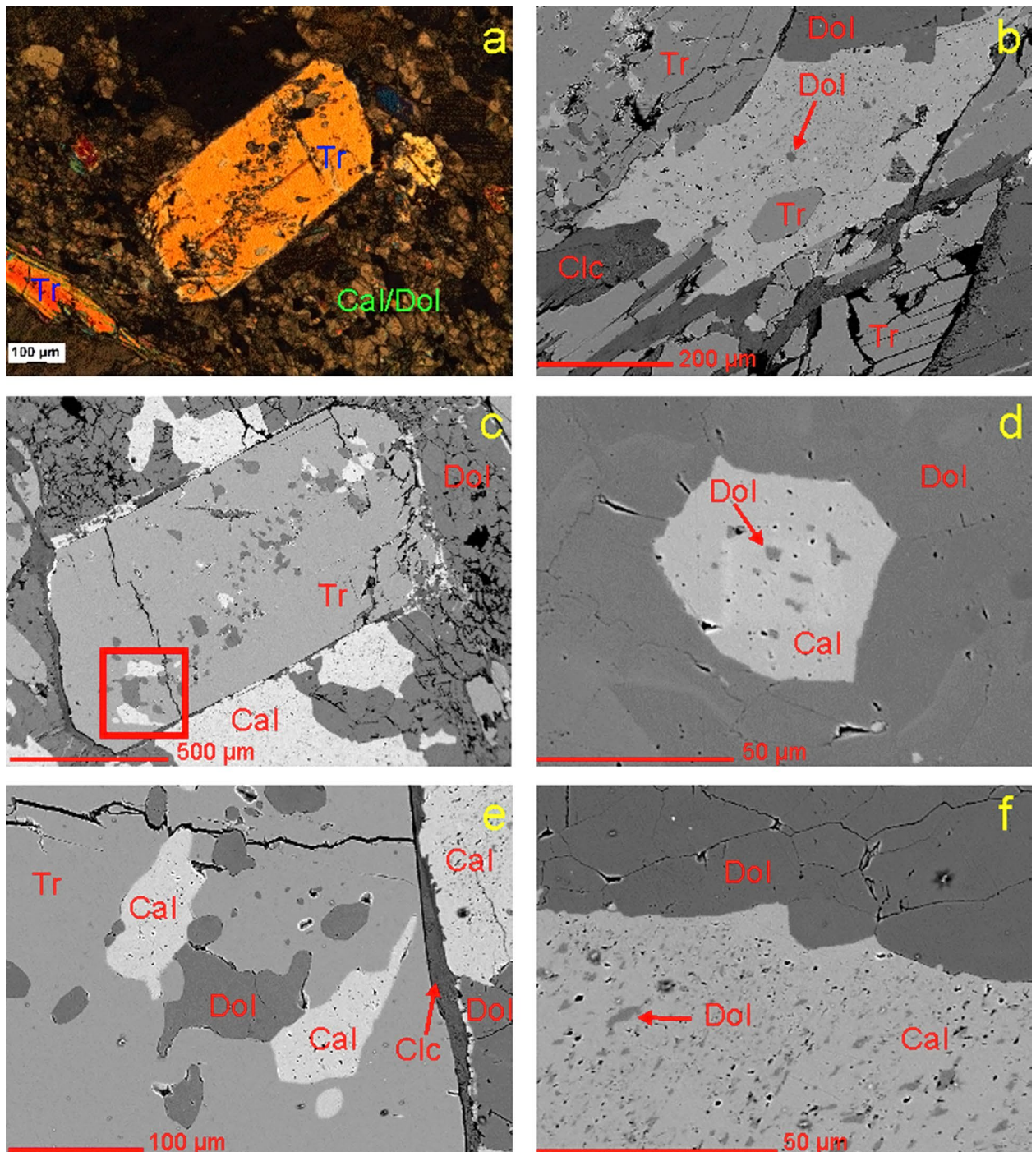
**Obr. 4** Granoblastická štruktúra a minerálne zloženie mramorov pozorované v prechádzajúcom polarizovanom svetle v skrížených nikoloch (a, c, e) a v režime BSE (b, d, f). Dokumentácia fázových vzťahov karbonátových (Cal - kalcit, Dol - dolomit) a silikátových (Tr - tremolít, Clc - klinochlór, Ms - muskovit) minerálov. V akcesorickom množstve bol zastúpený Ap - apatit. Dva systémy štiepných trhlín (c) sa pretínajú v typickom uhle 124°. Rez kolmý na kryštalografickú os c (e, f) vytvára hexagonálny tvar. Mikrofoto P. Ružička, BSE foto I. Holický.



Tremolitové mramory (obr. 3) sú svetlohnedé, stredne zrnité (priemerná veľkosť zrna 1 mm), nepravidelne bridličnaté. Plochy bridličnatosti sú zvlnené. Na lomovej ploche je hornina zložená z cca 1 - 2 mm hrubých vrstvičiek tvorených jemnou zmesou svetlého tremolitu a sivohnedej sľudy. Kalcit a dolomit tvoria základnú hmotu horniny, tremolit spolu so sľudami (flogopit, muskovit) a chloritmi sa často koncentrujú do nepravidelných vrstiev. Kalcitové a dolomitové alotriomorfné kryštály do 0.5 mm veľké, bývajú priehľadné a tlakové lamelovanie je pozorovateľné len lokálne. Vo vrstvách s tremolitom a sľudami tvorí kalcit spolu s dolomitom nepravidelné fragmenty, pričom karbonáty niekedy vyplňajú priečne rozpukané tremolitové

kryštály. Tremolit má dokonalú štiepateľnosť, často tvorí agregáty. Dosahuje maximálnu dĺžku až 1.5 mm, v priemere 0.2 - 0.5 mm. Uhol zrháňania  $n_g/c$  je  $17^\circ$ . Flogopit s veľmi slabým pleochroizmom je prítomný len v akcesorickom množstve s maximálnou veľkosťou 0.5 mm (priemerne 0.2 mm). Muskovit a flogopit dosahujú priemernú veľkosť 0.1 - 0.2 mm. Kremeň tvorí akcesorické zrná s veľkosťou pod 0.1 mm hlavne v blízkosti trhlín. Prejavuje undulózne zrháňanie. Dokumentácia fázových vzťahov karbonátových a silikátových minerálov je zachytená na obrázkoch 4 a 5.

Metasomatická aktivita sa v poruchových zónach prejavila účinkami hydrotermálnych premien, ktoré sú zapísané v horninovom zázname mramorov v podobe chloritizácie a steatitizácie.

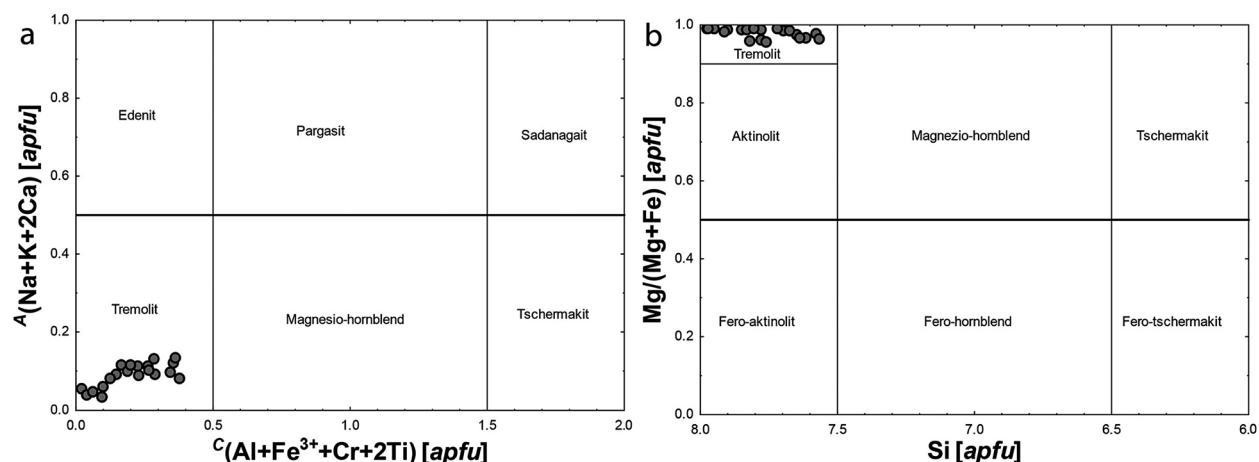


**Obr. 5** Tremolit a) v skřížených nikoloch polarizačného mikroskopu (foto P. Ružička) verus c) v BSE režime s dokumentáciou rôznych foriem kalcitu (Cal) a dolomitu (Dol); b, d, f) matrixový Cal s exsolúciami Dol; e) detail Cal a Dol inklúzií v Tr (foto I. Holický).

**Chemické zloženie minerálnej asociácie**

Amfibol má v študovaných vzorkách zloženie tremolitu s nízkym obsahom železa.  $X_{Mg}$  sa pohybuje medzi 0.95 a 0.99 (obr. 6, tab. 1). Dominantnou substitúciou je pri

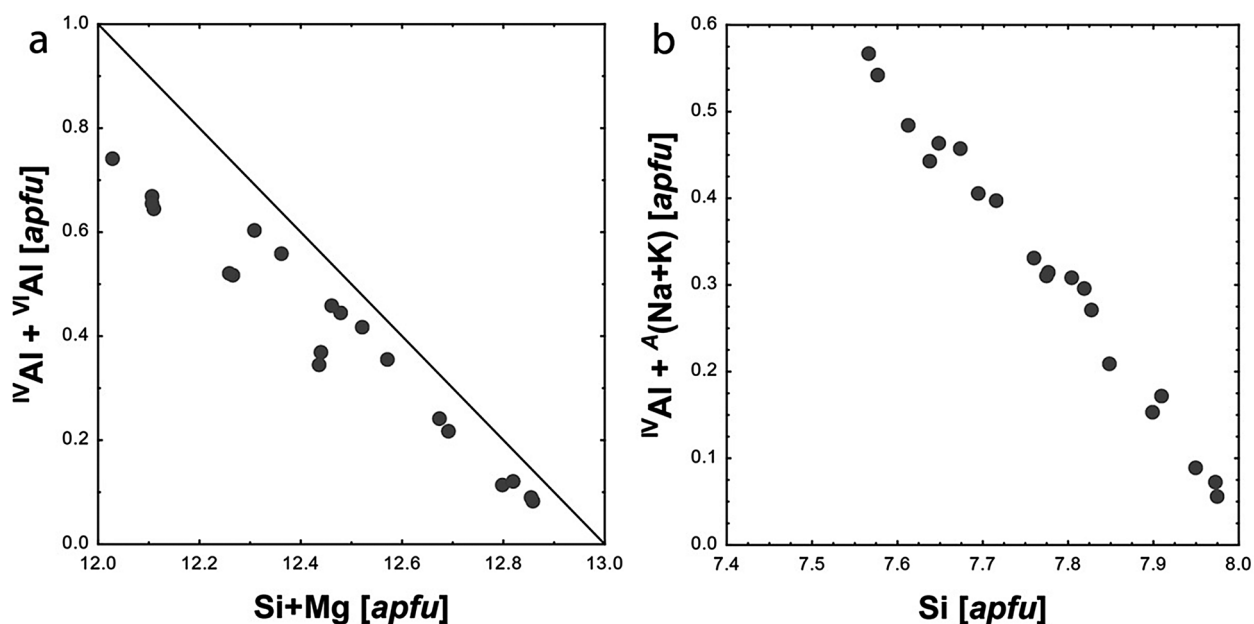
nízkej variabilite obsahov Fe a Mg tschermakitová  ${}^{IV}Al^{VI}Al(SiMg)_1$  substitúcia (obr. 7a). Stúpajúci obsah tetraédrického Al môže byť kompenzovaný aj vstupom alkálií do pozície A (obr. 7b).



Obr. 6 Klasifikačné diagramy Ca-Fe-Mg amfibolov vyjadrujúce zloženie analyzovaných tremolitov podľa a) Hawthorne et al. (2012); b) Leake et al. (1997).

Tabuľka 1 Reprezentatívne mikrosondové analýzy tremolitu v mramoroch. Prepočet na báze 13 katiónov

hm. %	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	55.24	55.00	57.87	57.96	57.56	59.34	56.25	57.91
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.06	0.04	0.00	0.03	0.00	0.05	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.98	4.13	1.51	0.71	2.21	0.76	2.84	1.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.70	0.94	0.00	0.08	0.00	0.00	0.16	0.00
FeO	1.37	0.99	0.62	0.63	0.59	0.51	0.46	0.79
MnO	0.02	0.03	0.09	0.06	0.03	0.02	0.04	0.01
MgO	21.90	22.06	23.86	24.11	23.39	24.18	23.20	23.49
CaO	13.18	13.19	13.74	13.86	13.64	13.79	13.39	13.44
Na <sub>2</sub> O	0.52	0.59	0.18	0.09	0.39	0.16	0.50	0.39
K <sub>2</sub> O	0.06	0.08	0.09	0.03	0.04	0.03	0.07	0.06
H <sub>2</sub> O*	1.88	1.89	1.92	1.91	1.91	1.93	1.89	1.90
suma	98.91	98.96	99.92	99.44	99.79	100.72	98.85	99.33
Si <sup>4+</sup>	7.612	7.577	7.849	7.900	7.827	7.976	7.717	7.909
Al <sup>3+</sup>	0.388	0.423	0.151	0.100	0.173	0.024	0.283	0.091
T-sum.	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Ti <sup>4+</sup>	0.006	0.006	0.004	0.000	0.004	0.000	0.005	0.000
Al <sup>3+</sup>	0.259	0.248	0.091	0.013	0.182	0.096	0.176	0.125
Fe <sup>3+</sup>	0.072	0.098	0.000	0.008	0.000	0.000	0.016	0.000
Mg <sup>2+</sup>	4.498	4.531	4.825	4.899	4.742	4.844	4.745	4.783
Mn <sup>2+</sup>	0.003	0.003	0.010	0.007	0.004	0.003	0.005	0.001
Fe <sup>2+</sup>	0.158	0.114	0.070	0.071	0.067	0.057	0.053	0.091
C-sum.	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Mg <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca <sup>2+</sup>	1.946	1.947	1.997	2.000	1.988	1.985	1.968	1.966
Na <sup>+</sup>	0.054	0.053	0.003	0.000	0.012	0.015	0.032	0.034
B-sum.	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Ca <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000
Na <sup>+</sup>	0.085	0.105	0.044	0.024	0.092	0.027	0.101	0.070
K <sup>+</sup>	0.011	0.014	0.015	0.006	0.006	0.005	0.012	0.011
A-sum.	0.097	0.119	0.059	0.054	0.098	0.032	0.113	0.080
OH <sup>-</sup>	1.998	2.000	2.000	2.000	2.000	1.999	2.000	2.000



Obr. 7 Substitučné diagramy pre tremolitu: a) tschermakitova  ${}^{\text{IV}}\text{Al}^{\text{VI}}\text{Al}(\text{SiMg})_{-1}$  substitúcia; b)  ${}^{\text{IV}}\text{Al}^{\text{A}}(\text{Na,K})(\text{Si}\square)_{-1}$  substitúcia.

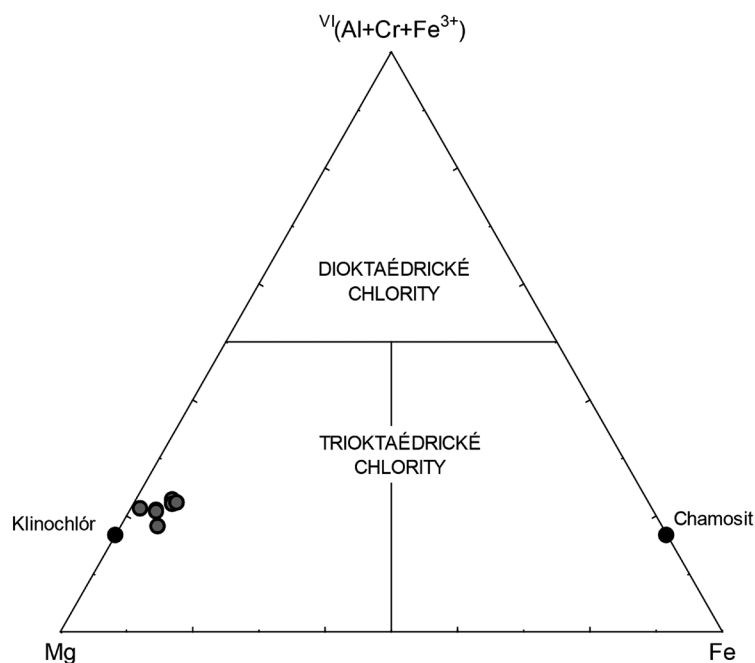
Tabuľka 2 Reprezentatívne mikrosondové analýzy flogopitu v mramoroch. Prepočet na báze 11 kyslíkov

hm. %	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	40.34	40.59	42.37	40.77	40.98	40.45
TiO <sub>2</sub>	0.44	0.63	0.42	0.53	0.66	0.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.13	17.00	15.87	16.54	16.51	16.61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	3.81	4.39	0.84	4.11	3.44	3.29
MnO	0.03	0.03	0.03	0.00	0.00	0.03
MgO	21.92	21.01	24.24	21.87	22.09	22.55
CaO	0.07	0.05	0.12	0.11	0.05	0.12
Na <sub>2</sub> O	0.19	0.07	0.34	0.09	0.14	0.16
K <sub>2</sub> O	9.38	9.63	9.05	9.46	9.36	9.44
H <sub>2</sub> O*	4.19	4.18	4.26	4.19	4.20	4.19
suma	97.48	97.56	97.54	97.68	97.42	97.47
Si <sup>4+</sup>	2.886	2.909	2.977	2.914	2.925	2.891
<sup>IV</sup> Al <sup>3+</sup>	1.114	1.091	1.023	1.086	1.075	1.109
T-sum.	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Mg <sup>2+</sup>	0.921	0.891	0.905	0.914	0.906	0.925
Fe <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
□	0.079	0.109	0.095	0.086	0.094	0.075
Ti <sup>4+</sup>	0.024	0.034	0.022	0.029	0.035	0.034
<sup>VI</sup> Al <sup>3+</sup>	0.331	0.344	0.291	0.307	0.314	0.290
Fe <sup>2+</sup>	0.228	0.263	0.049	0.246	0.205	0.196
Mn <sup>2+</sup>	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.002
Mg <sup>2+</sup>	1.416	1.353	1.633	1.416	1.445	1.478
M-sum.	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Ca <sup>2+</sup>	0.005	0.003	0.009	0.008	0.004	0.009
Na <sup>+</sup>	0.026	0.009	0.047	0.013	0.019	0.022
K <sup>+</sup>	0.856	0.880	0.811	0.863	0.852	0.860
□	0.112	0.107	0.133	0.116	0.125	0.108
I-sum.	0.888	0.893	0.867	0.884	0.875	0.892
OH <sup>-</sup>	1.999	1.996	1.999	1.999	1.999	1.998

Tabuľka 3 Reprezentatívne mikrosondové analýzy muskovitu v mramoroch. Prepočet na báze 11 kyslíkov

hm. %	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	47.83	47.15	48.09	47.89	48.67	48.33
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.32	0.17	0.26	0.26	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.40	32.71	31.64	31.25	31.18	31.26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.37	0.33	0.31	0.25	0.23	0.33
MnO	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00
MgO	2.34	2.02	2.74	2.48	2.61	2.57
CaO	0.04	0.10	0.01	0.05	0.05	0.10
Na <sub>2</sub> O	0.65	1.30	0.74	1.07	0.94	0.84
K <sub>2</sub> O	10.13	9.36	10.15	9.75	9.77	10.13
H <sub>2</sub> O*	4.47	4.45	4.47	4.43	4.47	4.46
suma	98.43	97.76	98.32	97.43	98.18	98.30
Si <sup>4+</sup>	3.205	3.176	3.227	3.239	3.262	3.247
<sup>IV</sup> Al <sup>3+</sup>	0.795	0.824	0.773	0.761	0.738	0.753
T-sum.	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Mg <sup>2+</sup>	0.028	0.014	0.030	0.008	0.012	0.012
Fe <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
r <sup>+</sup>	0.972	0.986	0.970	0.992	0.988	0.988
Ti <sup>4+</sup>	0.009	0.016	0.009	0.013	0.013	0.014
<sup>VI</sup> Al <sup>3+</sup>	1.763	1.773	1.729	1.729	1.725	1.722
Fe <sup>2+</sup>	0.021	0.019	0.017	0.014	0.013	0.018
Mn <sup>2+</sup>	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg <sup>2+</sup>	0.205	0.188	0.244	0.243	0.249	0.246
M-sum.	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Ca <sup>2+</sup>	0.003	0.007	0.001	0.004	0.003	0.001
Na <sup>+</sup>	0.085	0.169	0.096	0.140	0.122	0.110
K <sup>+</sup>	0.866	0.804	0.869	0.841	0.836	0.868
r <sup>+</sup>	0.046	0.019	0.034	0.015	0.039	0.021
I-sum.	0.954	0.981	0.966	0.985	0.961	0.979
OH <sup>-</sup>	1.999	2.000	2.000	1.999	2.000	2.000





Obr. 8 Analyzované chlority zobrazené v klasifikačnom diagrame (Zane, Weiss 1998).

Chlorit má zloženie vysoko horečnatého klinochlóru s  $X_{Mg}$  medzi 0.91 a 0.98 (obr. 8., tab. 4). Obyčajne je mierne obohatený o oktaédrický Al, ktorý je nábojovo vyrovnaný prebytkom tetraédrického Al. Ostatné kationy sú v obsahoch na hranici detekčného limitu.

Mastenec má zloženie blízke koncovému členu (tab. 5), len s lokálne mierne zvýšenými obsahmi Al (do 0.17 *apfu*) a  $Fe^{2+}$  (do 0.12 *apfu*).

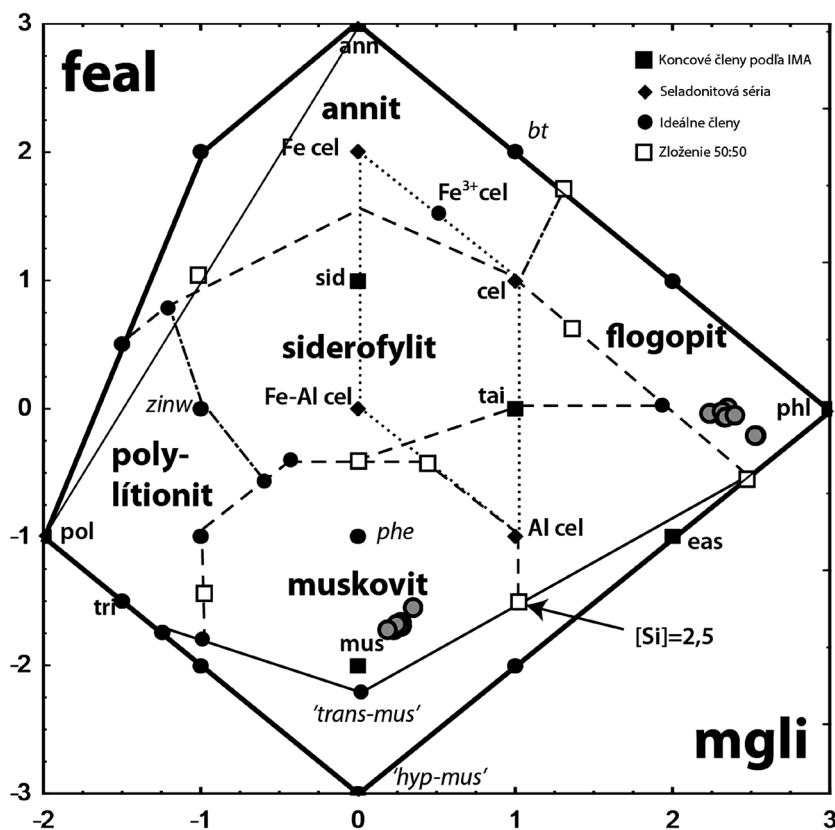
Prítomné sú draselné sludy muskovit a flogopit (tab. 2 a 3; obr. 9). Muskovit je mierne obohatený o aluminoseladonitovú zložku (do 0.28 *apfu* Mg a do 0.02 *apfu*  $Fe^{2+}$ ), na čo poukazuje posun zloženia od ideálneho zloženia muskovitu k aluminoseladonitu (obr. 9). Obsah ostatných kationov okrem Na je nízky, dosahuje 0.14 *apfu* (tab. 3). Flogopit je vysoko horečnatý (tab. 2),  $X_{Mg}$  sa pohybuje medzi 0.90 až 0.98, má nižší obsah Na (do 0.05 *apfu*) ako muskovit, naopak má vyšší obsah Ti (do 0.04 *apfu*, muskovit má max. 0.03 *apfu*). Dolomitové exsolúcie v kalcite zvyšujú obsahy Mg (tab. 6). Zloženie dolomitu v mramoroch je takmer konštantné (tab. 7).

Tabuľka 4 Reprezentatívne mikrosondové analýzy klinochlóru v mramoroch. Prepočet na báze 14 aniónov

hm. %	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	29.10	28.92	32.47	29.47	30.57	30.42
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.02	0.01	0.04	0.01	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.79	22.04	17.82	22.07	21.06	21.23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	4.20	4.41	4.29	4.89	3.09	1.16
MnO	0.00	0.04	0.05	0.04	0.00	0.01
MgO	29.69	29.68	31.86	29.48	31.41	32.23
CaO	0.06	0.05	0.20	0.21	0.11	0.26
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04
K <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.02	0.11	0.01	0.03
H <sub>2</sub> O*	12.54	12.41	12.66	12.54	12.68	12.66
suma	98.44	97.59	99.38	98.85	98.94	98.06
Si <sup>4+</sup>	2.783	2.795	3.075	2.818	2.893	2.882
<sup>IV</sup> Al <sup>3+</sup>	1.217	1.205	0.925	1.182	1.107	1.118
T-sum.	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ti <sup>4+</sup>	0.002	0.002	0.001	0.003	0.001	0.001
<sup>VI</sup> Al <sup>3+</sup>	1.352	1.304	1.065	1.305	1.241	1.253
Fe <sup>2+</sup>	0.336	0.356	0.340	0.391	0.244	0.092
Mn <sup>2+</sup>	0.000	0.003	0.004	0.003	0.000	0.001
Mg <sup>2+</sup>	4.233	4.276	4.499	4.202	4.431	4.551
Ca <sup>2+</sup>	0.006	0.005	0.020	0.022	0.011	0.027
Na <sup>+</sup>	0.003	0.004	0.000	0.000	0.000	0.007
K <sup>+</sup>	0.001	0.000	0.002	0.013	0.001	0.003
M-sum.	5.933	5.951	5.930	5.938	5.930	5.935
OH <sup>-</sup>	7.999	7.999	7.999	7.999	8.000	7.999

Tabuľka 5 Reprezentatívne mikrosondové analýzy mastenca v mramoroch. Prepočet na báze 11 kyslíkov

hm. %	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	63.44	62.80	59.38	61.56	61.67	62.21
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.39	0.41	2.28	0.76	0.48	0.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.62	0.53	2.23	0.70	1.28	1.35
MnO	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00
MgO	31.11	30.74	30.07	30.11	30.03	30.25
CaO	0.10	0.06	0.06	0.08	0.06	0.06
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.09	0.06	0.10	0.05	0.06
K <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.06	0.03	0.01	0.00
H <sub>2</sub> O*	4.76	4.70	4.62	4.63	4.64	4.68
suma	100.47	99.37	98.82	98.00	98.26	99.19
Si <sup>4+</sup>	3.996	3.998	3.849	3.979	3.985	3.983
<sup>IV</sup> Al <sup>3+</sup>	0.004	0.002	0.151	0.021	0.015	0.017
T-sum.	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ti <sup>4+</sup>	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000
<sup>VI</sup> Al <sup>3+</sup>	0.024	0.029	0.023	0.037	0.022	0.027
Fe <sup>2+</sup>	0.032	0.028	0.121	0.038	0.069	0.072
Mn <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.000
Mg <sup>2+</sup>	2.921	2.917	2.905	2.901	2.893	2.888
Ca <sup>2+</sup>	0.006	0.004	0.004	0.006	0.004	0.004
Na <sup>+</sup>	0.007	0.011	0.008	0.013	0.006	0.007
K <sup>+</sup>	0.000	0.001	0.005	0.003	0.001	0.000
M-sum.	2.991	2.992	3.069	2.998	2.998	2.998
OH <sup>-</sup>	1.999	1.998	1.998	1.998	2.000	2.000



Obr. 9 Klasifikačný diagram *mgli* vs. *feal* pre analyzované K sludy (Tischendorf et al. 2004; 2007). Prerušované čiary ohraničujú zloženie minerálnych druhov, bodkované čiary vymedzujú zloženie slúd seladonitovej série. Plná tenká čiara vyjadruje izolínu pre  $[Si] = 2,5$ , alebo  $Si/Al = 1,67$ .

Tabuľka 6 Reprezentatívne mikrosondové analýzy kalcitu v mramoroch. Prepočet na báze 6 kyslíkov

hm. %	1	2	3	4	5	6	7
FeO	0.23	0.25	0.18	0.22	0.12	0.06	0.21
MnO	0.14	0.12	0.17	0.16	0.10	0.07	0.17
MgO	1.92	2.12	1.96	2.03	1.94	2.28	2.15
CaO	52.66	52.09	52.09	52.07	52.86	52.23	53.88
SrO	0.04	0.05	0.03	0.02	0.02	0.05	0.06
Total	54.99	54.63	54.43	54.50	55.04	54.69	56.47
Fe	0.18	0.19	0.14	0.17	0.09	0.05	0.16
Mn	0.11	0.09	0.13	0.12	0.08	0.05	0.13
Mg	1.16	1.28	1.18	1.22	1.17	1.37	1.30
Ca	37.64	37.23	37.23	37.21	37.78	37.33	38.51
Sr	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.05
Total	39.12	38.83	38.71	38.74	39.14	38.84	40.15
FeCO <sub>3</sub>	0.37	0.40	0.29	0.35	0.19	0.10	0.34
MnCO <sub>3</sub>	0.23	0.19	0.28	0.26	0.16	0.11	0.28
MgCO <sub>3</sub>	4.02	4.43	4.10	4.25	4.06	4.77	4.50
CaCO <sub>3</sub>	93.99	92.97	92.97	92.93	94.34	93.22	96.16
SrCO <sub>3</sub>	0.06	0.07	0.04	0.03	0.03	0.07	0.09
Total	98.67	98.06	97.68	97.82	98.78	98.27	101.37

### Geotermobarometria

Po prepočítaní mikrosondových chemických analýz minerálnych párov kalcitu a dolomitu identifikovaných v mramoroch sme vypočítali hodnoty minimálnych, maximálnych a priemerných teplôt spolu so smerodajnými odchýlkami, ktoré sú uvedené v tabuľke 8. Priemerná teplota rekryštalizácie kalcitu vypočítaná podľa kalibrácie Anovitz, Essene (1987) dosahuje  $504 \pm 11^\circ\text{C}$ . V prípade použitej kalibrácie McSwiggen (1993) bola hodnota tlaku v intervale 240 - 330 MPa použitá zo štúdie Koděra a Radvanec (2002). Priemerné teploty rekryštalizácie kalcitu sa pohybujú v intervale  $528 - 543 \pm 11^\circ\text{C}$ . Molárna frakcia  $X_{\text{MgCO}_3}$  v kalcite je od 0.041 do 0.049 (tab. 8).

Na základe výberu reprezentatívnych retrográdných párov chloritu a muskovitu sa interval priemernej teploty vypočítaný rôznymi geotermobarometrami pohybuje od  $293^\circ\text{C}$  do  $316^\circ\text{C}$  pri tlaku 300 MPa (tab. 9). V programe XMapTools (Lanari et al. 2014) bola graficky spracovaná najreprezentatívnejšia dvojica chloritu a muskovitu (obr. 10).

### Diskusia

Širšiu oblasť mastencovo-magnezitových ložísk pri Hnúšti podrobne geologicky zmapoval Šuf (1938), ktorý metamorfované horniny považoval za staropaleozoické. Karbonátové telesá nachádzajúce sa v prostredí metamorfovaného južného veporika interpretoval Kužvart (1955) ako synsedimentárne rifové formácie. Mineralogické pomery skúmanej oblasti opísali viacerí autori (Sombathy 1950; Petro 1961; Láznicka 1962, 1963; Ragan 1989; Horal 1997; Maťová et al. 2005; Ferenc 2008). Zlato v sulfidickej mineralizácii na lokalite Hnúšťa - Ostrá študovali Horal a Hvoždara (1999). Ca skarny z ložiska Mútnik opísali Turan a Vančová (1980), Vančová a Turan (1981) a Turanová et al. (1997). Hydrotermálno-metasomatickému zrudneniu na Ostrej pripisujú Slavkay et al. (2004) vrchnokriedový alpínsky vek. Vypočítané hodnoty teplôt vzniku galenitu a sfaleritu z lokality Ostrá dosahujú  $357^\circ\text{C}$  (Ferenc et al. 2007).

Chemické zloženie karbonátov, výsledky geotermometrie a štúdia mikrotermometrie fluidných inklúzií z ložiska Hnúšťa - Mútnik zosummarizovali Koděra a Radvanec (2002). V dolomite s mastencom na ložis-



**Tabuľka 7** Reprezentatívne mikrosondové analýzy dolomitu v mramoroch. Prepočet na báze 6 kyslíkov

hm. %	1	2	3	4	5	6
FeO	1.85	1.39	0.52	0.42	0.52	0.52
MnO	0.18	0.15	0.16	0.10	0.18	0.17
MgO	20.88	21.34	22.09	22.07	21.54	21.75
CaO	30.20	30.15	30.32	30.42	30.21	30.25
SrO	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0
Total	53.12	53.04	53.12	53.03	52.46	52.69
Fe	1.44	1.08	0.40	0.33	0.40	0.40
Mn	0.14	0.12	0.12	0.08	0.14	0.13
Mg	12.59	12.87	13.32	13.31	12.99	13.12
Ca	21.58	21.55	21.67	21.74	21.59	21.62
Sr	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0
Total	35.76	35.62	35.54	35.47	35.13	35.27
FeCO <sub>3</sub>	2.98	2.24	0.84	0.68	0.84	0.84
MnCO <sub>3</sub>	0.29	0.24	0.26	0.16	0.29	0.28
MgCO <sub>3</sub>	43.68	44.64	46.21	46.17	45.06	45.50
CaCO <sub>3</sub>	53.90	53.81	54.12	54.29	53.92	53.99
SrCO <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0
Total	100.87	100.95	101.45	101.33	100.12	100.60

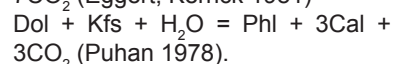
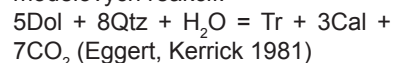
**Tabuľka 8** Vypočítané teploty rekryštalizácie kalcitu v mramoroch

Kalcit Analýza	X <sub>CaCO<sub>3</sub></sub>	X <sub>MgCO<sub>3</sub></sub>	X <sub>FeCO<sub>3</sub></sub>	Anovitz, Essene (1987)	McSwiggen (1993) T (°C)	
				T (°C)	p=240 MPa	p=330 MPa
1	0.955	0.041	0.004	492	519	534
2	0.951	0.045	0.004	512	540	554
3	0.955	0.042	0.003	497	519	534
4	0.953	0.044	0.004	504	529	543
5	0.957	0.041	0.002	492	512	526
6	0.950	0.049	0.001	523	540	554
7	0.952	0.045	0.003	508	539	553
T min.				492	512	526
T max.				523	540	554
T priemer				504	528	543
Smerodajná odchýlka (±)				11	11	11

**Tabuľka 9** Vypočítané teploty vzniku retrográdneho chloritu v mramoroch

Chlorit Analýza	Cathelineau (1988)	Jowett (1991)	Zang, Fyfe (1995)	Lanari et al. (2014)
				XMapTools p=300 MPa
1	333	324	303	292
2	328	320	300	312
3	321	313	294	296
4	297	288	282	275
5	301	291	287	291
T min.	297	288	282	275
T max.	333	324	303	312
T priemer	316	307	293	293
Smerodajná odchýlka (±)	14	15	8	12

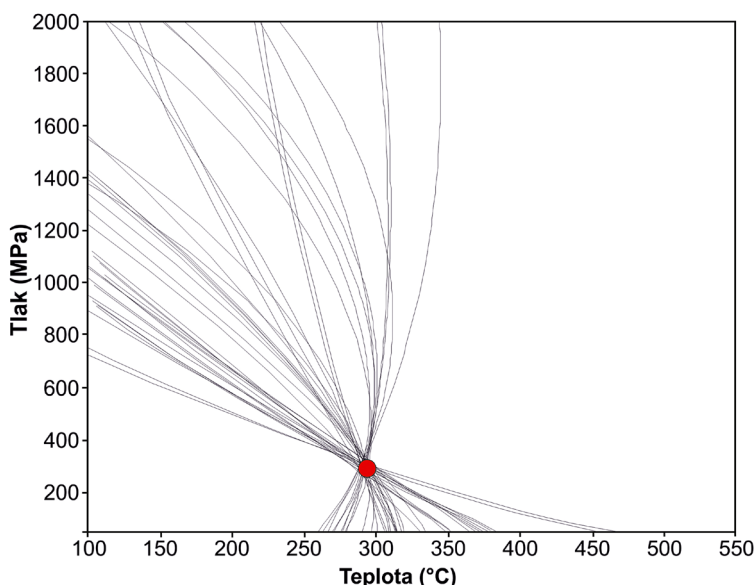
ku Hnúšťa - Mútnik zistili Radvanec et al. (2010) lokálnu prítomnosť do 10 cm hrubých a niekoľko metrov dlhých pruhov s minerálnou asociáciou klinozoisit, zoisit, flogopit, tremolit, dolomit a kalcit. Na spomínanom ložisku vzniklo teleso Mg karbonátov prevažne z prvej generácie dolomitu ± kalcitu 1 a z magnezitu pri staršej variskej metamorfóze M1. Druhá generácia dolomitu 2 a kalcitu 2, Fe-magnezitu, mastenca, chloritu 2 spolu s tremolitom, flogopitom a ďalšími minerálmi patrí do skupiny, ktorá vznikla v časovo oddelenej, mladšej alpínskej metamorfnej udalosti M2 (Koděra, Radvanec 2002). Tremolit a flogopit vznikali v prográdnom štádiu a mastenec s chloritom v retrográdnom štádiu metamorfózy M2. Vplyv mladšej metamorfózy M2 bol pre mastenec ekonomicky významný (Radvanec et al. 2010). Tremolit a flogopit sa vyskytuje v dolomite 1 spolu s kalcitom 2. Koděra a Radvanec (2002) ich vznik odvodili podľa modelových reakcií:



Reakcie prebiehajú pri teplotách 490 - 540 °C, pričom hodnota X<sub>CO<sub>2</sub></sub> sa podľa uvedených modelových reakcií pohybuje v intervale 0.20 - 0.60, pri ktorých z dolomitu 1 vznikol tremolit, flogopit a kalcit 2. V kalcite 2 je uzavretá chemicky homogénna zmes kalcitu a dolomitu. V dolomitovo-magnezitovom telese ložiska sa flogopit a tremolit vyskytujú ojedinele v blízkosti tektonických porúch s polohami mastenca a chloritu 2.

Retrográdny proces M2 formoval polohy chemicky homogénneho mastenca. Mastenec vyplňa trhliny, zlomy a dutiny v Mg karbonátoch, kde kryštalizoval spolu s chloritom 2, Fe-magnezitom, kremeňom a pyritom (Koděra, Radvanec 2002).

Aplikáciou geotermometrie získali Koděra a Radvanec (2002) teplotu vrcholu metamorfózy 490 - 540 °C, kedy vznikla prográdna minerálna asociácia tremolit + flogopit. Odhadovaný tlak sa pohybuje v rozsahu 240 - 330 MPa. Pri chladnutí počas retrográdnej metamorfózy vznikol dolomit 2 + kalcit 2 + mastenec + Mg chlorit. Metamorfny a fluidný proces M2 prebiehal v krehkom režime pozdĺž trhlín, puklín a zlomov (Németh et al. 2004). Koreláciou mikrotermomet-



Obr. 10 P-T diagram s univariantnými krivkami a bodom pretínajúci muskovitovo-chloritový pár v rovnovážnych podmienkach pri teplote 296 °C a tlaku 300 MPa vytvorený softvérovým programom XMapTools.

rických údajov fluidných inklúzií s geotermometrickými údajmi stanovili Radvanec et al. (2010) pT podmienky pre vznik asociácie kalcit 2 + dolomit 2 + flogopit + tremolit v rozsahu 450 - 650 °C pri 200 - 430 MPa. Steatitizácia magnezitu, ktorej výsledkom bolo generovanie mastenca sa vzťahuje na alpsku tektonometamorfnú reaktiváciu veporického fundamentu vo vrchnej kriede.

V snahe získať informácie o rekryštalizácii karbonátov v širšom okolí sineckej strižnej zóny skúmali Radvanec et al. (2010) chemické zloženie fluidných inklúzií (výluhy) z mramorových výskytov pri Klenoveckej priehrade a na kótach Ostrá a Ohrablo. Rozšírený výskum mal prispieť do diskusie o období sedimentácie litotypov s polohami karbonátov. Nejednotné názory boli v tom, či sa jedná o spodnopaleozoickú suitu fundamentu alebo o spodnokarbónske horniny. Šošovky vápenca postihnuté Mg-metasomatózou prejavujú výnos extrahovateľných fluíd vyšší ako vzorky, ktoré metasomatický prepis nepostihol. Vzorka z Klenovca s veľmi nízkym výnosom fluíd má charakter spodnopaleozoického mramoru bez hydrotermálneho ovplyvnenia. Pomer Na/Br (Ostrá 50 - 73 mol., Ohrablo 60 - 160 mol) a Cl/Br (Ostrá 76 - 100 mol., Ohrablo 134 - 481 mol) je v prípade mramoru rozptýlený v širšom rozsahu. Zloženie je pravdepodobne výsledkom interakcie fluíd a horniny pri metamorfóze M2 (steatitizácia) a neodráža pôvodné fluidné charakteristiky, ktoré boli pri vzniku Mg karbonátov. V mramoroch z Ostrej a Ohrabla majú fluidné inklúzie rovnaký trend, ako hydrotermálno-metamorfná udalosť M1. Hlavným rozdielom mramoru v porovnaní s magnezitom je nižší obsah prvkov. Trend evaporitizácie indikuje možnosť korelácie s hositeľskou litológiou magnezitových výskytov. Korelácia karbonátov z Ostrej a Ohrabla s výskytmi v sineckej zóne potvrdzuje prítomnosť muskoviticko-chloritických bridlíc a zeleného tufitického pieskovca v susedstve šošoviek mramoru (Radvanec et al. 2010).

V pestrej litológii širšieho okolia magnezitových telies a pozdĺž sineckej strižnej zóny je jej špecifickým prejavom kryštalizácia novotvarov Mg chloritu na úkor predalpínskeho muskovitu (Kováčik 1996). Podmienky metamorfózy kyanitovo-Mg-chloritových bridlíc z juhozápadného seg-

mentu sineckej strižnej zóny a jej susedstva boli určené na základe zloženia Mg chloritu a výskytu kyanitu v rozsahu 360 - 440 °C pri tlaku 300 ± 100 MPa (Kováčik 1996). Rekryštalizačný proces sprevádzala hydrolyza magnezitu a steatitizácia pozdĺž zlomov.

Vo vrchnom perme pri interakcii mramoru s hlboko cirkulujúcimi Mg soľankami evaporitového pôvodu prebiehala hlavná premena mramoru na dolomit 1 a magnezit. Tento proces nastal v gemeriku a južnom veporiku približne v rovnakej hĺbke pri mierne odlišnej teplote v oblasti podmienok retrográdnej metamorfózy chloritovej zóny a v dosahu cirkulujúcich soľanek bohatých na Mg postihol pôvodné spodnopaleozoické alebo spodnokarbónske šelfové vápence (Radvanec et al. 2010). Podmienky alpínskej metamorfózy M2 v južnom veporiku na základe minerálnych asociácií boli stanovené na 350 - 500 °C pri tlaku okolo 200 - 400 MPa (Kováčik 1996; Németh et al. 2004), čo je v súlade s podmienkami vrcholu metamorfózy 490 - 540 °C pri 230 - 320 MPa stanovenej na lokalite Hnúšťa - Mútnik.

## Záver

Geotermobarometrickými kalkuláciami boli objasnené podmienky regionálnej metamorfózy tremolitového mramoru z okolia Ostrej pri Hnúšti. Vo vzorkách mramoru sú zaznamenané dve vývojové etapy. Prográdnou metamorfnú minerálnu asociáciu reprezentuje tremolit a flogopit. Retrográdnou asociáciu tvorí mastenec, muskovit a klinochlór. Karbonáty zastúpené kalcitom a dolomitom tvoria v mramoroch dve štádiá. Prvé štádium predstavuje dominantne zastúpený dolomit a kalcit obsahujúci exsolúcie dolomitu. Druhé štádium je viazané na tvorbu kalcitovo-dolomitových inklúzií v tremolitoch (obr. 5), pričom na rozdiel od hlavného kalcitu vzniká homogénny kalcit bez dolomitových exsolúcií.

Tlakovo-teplotné podmienky prográdnej etapy metamorfózy boli stanovené na základe prítomnosti kalcitu s dolomitovými exsolúciami. Priemerná teplota rekryštalizácie kalcitu vypočítaná kalibračnými rovnicami podľa Anovitz, Essene (1987) dosiahla 504 ± 11 °C a pri kalibrácii podľa McSwiggen (1993) v tlakovom rozsahu 240 - 330 MPa na základe komparatívnej štúdie (Koděra, Radvanec 2002) sa pohybovala v intervale 528 - 543 ± 11 °C.

Retrográdna etapa metamorfózy bola stanovená na základe geotermometrických kalkulácií chloritov, respektíve muskoviticko-chloritových párov. Priemerný teplotný interval získaný vzájomnou aplikáciou konvenčnej geotermometrie so softvérovou geotermobarometriou prostredníctvom programu XMapTools dosiahol 293 až 316 °C pri tlaku 300 MPa.

## Podakovanie

Vyslovujeme poďakovanie RNDr. Ivanovi Holickému, z oddelenia elektrónovej mikroanalýzy ŠGÚDŠ v Bratislave za vyhotovenie mikrosondových analýz a BSE obrázkov. Naša vďaka za ochotu patrí Mgr. Martinovi Števkovi, PhD., a Bc. Marošovi Ondrejovi, ktorí nám pomohli v teréne. Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV LPP-0109-09, APVV-0081-10, APVV-0546-11 a APVV-0375-12.



## Literatúra

- Anovitz L. M., Essene E. J. (1987) Phase equilibria in the system  $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-FeCO}_3$ . *J. Petrol.* 28, 2, 389-414.
- Bezák V. (1982) Komplexy metamorfítov a granitoidov v kohútskom pásme veporíd, Západné Karpaty. *Geol. Práce. Spr.* 78, 65-70.
- Bezák V. (2004) Metalogenéza a tektonometamorfný vývoj veporika. *Miner. Slov.* 36, 1, 17-22.
- Bezák V. (ed.), Dublan L., Hraško L., Konečný V., Kováčik M., Madarás J., Plašienka D., Pristaš J. (1999a) Geologická mapa Slovenského rudohoria - západná časť 1: 50 000. *ŠGÚDŠ, Bratislava*.
- Bezák V. (ed.), Hraško L., Kováčik M., Madarás J., Siman P., Pristaš J., Dublan L., Konečný V., Plašienka D., Vozárová A., Kubeš P., Švasta J., Slavkay M., Liščák P. (1999b) Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského rudohoria - západná časť 1: 50 000. *ŠGÚDŠ, Bratislava*, 178 s.
- Bucher K., Grapes R. (2011) Petrogenesis of Metamorphic Rocks. *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg*, 8<sup>th</sup> ed., 428 pp.
- Cathelineau M. (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as function of temperature. *Clay Minerals* 23, 471-485.
- Cathelineau M., Nieva D. (1985) A chlorite solid solution geothermometer the Los Azufres (Mexico) geothermal system. *Contrib. Mineral. Petrol.* 91, 235-244.
- Dallmeyer R. D., Neubauer F., Handler R., Fritz H., Müller W., Pana D., Putiš M. (1996) Tectonothermal evolution of the internal Alps and Carpathians: Evidence from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  mineral and whole-rock data. *Eclogae geol. Helv.* 89, 203-227.
- Dubacq B., Vidal O., Andrade V. (2010) Dehydration of dioctahedral aluminous phyllosilicates: thermodynamic modelling and implications for thermobarometric estimates. *Contrib. Mineral. Petrol.* 159, 159-174.
- Eggert R. G., Kerrick D. M. (1981) Metamorphic equilibria in the siliceous dolomite system: 6 kbar experimental data and geologic implications. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 45, 1039-1049.
- Ferenc Š. (2008) Metalogenetické aspekty kolízno-ekteznej zóny veporika (JZ časť). *MS, Dizertačná práca, Katedra ložiskovej geológie PriF UK, Bratislava*, 306 s.
- Ferenc Š., Hraško L., Bakos F., Kováčik M., Hurai V., Čech P., Gregáňová G., Harčová E., Huraiová M., Konečný P. (2007) Zdroje fluid a genéza mineralizácií južného veporika. Čiastková záverečná správa geologickej úlohy: Zdroje rudonosných fluid v metalogenéze Západných Karpát. *MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 169 s.
- Hawthorne F. C., Oberti R., Harlow G. E., Maresch W. V., Martin R. F., Schumacher J. C., Welch M. D. (2012) Nomenclature of the amphibole supergroup. *Am. Mineral.* 97, 2031-2048.
- Hillier S., Velde B. (1991) Octahedral occupancy and chemical composition of diagenetic (low-temperature) chlorites. *Clay Minerals* 26, 149.
- Horal M. (1997) Mineralogický výskum v JZ veporiku s ohľadom na výskyt zlata. *MS, Diplom. práca, Katedra mineralógie a petrológie, Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava*, 114 s.
- Horal M., Hvoždžďara P. (1999) Zlato v sulfidickej mineralizácii lokality Hnúšťa - Ostrá (veporikum). *Miner. Slov.* 31, 3-4, 233-238.
- Hraško L., Kucharič L., Maťo L., Ferenc Š., Németh Z., Cicmanová S. (2005) Hodnotenie geologicko-surovinového potenciálu oblasti Slovenské rudohorie - západ a možnosti jeho využitia pre rozvoj regiónu. *MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 130 s.
- Inoue A., Meunier A., Patrier-Mas P., Rigault C., Beaufort D., Vieillard P. (2009) Application of chemical geothermometry to low-temperature trioctahedral chlorites. *Clays and Clay Minerals* 57, 371-382.
- Janák M., Plašienka D., Frey M., Cosca M., Schmidt S. Th., Lupták B., Méres Š. (2001) Cretaceous evolution of a metamorphic core complex, the Veporic unit, Western Carpathians (Slovakia): P-T conditions and in situ  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  UV laser probe dating of metapelites. *J. Metam. Geol.* 19, 197-216.
- Jeřábek P., Faryad S. W., Schulmann K., Lexa O., Tajčmanová L. (2008) Alpine burial and heterogeneous exhumation of Variscan crust in the West Carpathians: insight from thermodynamic and argon diffusion modelling. *J. Czech Geol. Soc.* 165, 479-498.
- Jowett E. (1991) Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer: GAC/MAC/SEG. *Presented at the Joint Annual Meeting. Toronto, May 27-29. Program with Abstracts.*
- Koděra P., Radvanec M. (2002) Comparative mineralogical and fluid inclusion study of the Hnúšťa - Mútnik talc-magnesite and Miková - Jedľovec magnesite deposit (Western Carpathians, Slovakia). *Bol. Paranaense Geocienc.* 50, 131-150.
- Korikovský S. P., Putiš M., Turanová L. (2002) Phase relations and metamorphic P-T conditions of intercalating silicate-bearing magnesites and calc-silicate rocks (marbles), amphibolites, and schists from the Mútnik deposit, southern Veporic (W. Carpathians). *Geol. Carpath.* 53, special issue 17 CBGA - Symposium IV. 166-168.
- Koutek J. (1948) Zpráva o prohlídce kutište na olověnou rudu na vrchu Ostrá u Hnúšťa (Slovensko). *MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 2 s.
- Kováčik M. (1996) Kyanite-magnesian chlorite schist and its petrogenetic significance (The Sinec Massif, Southern Veporic Unit, Western Carpathians). *Geol. Carpath.* 47, 4, 245-255.
- Kováčik M., Král J., Maluski H. (1997) Alpine reactivation of the southern Veporicum basement: metamorphism,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating, geodynamic model and correlation aspects with the Eastern Alps. In: Grečula P., Hovorka D., Putiš M. (eds.): Geological evolution of the Western Carpathians. *Monograph., Miner. Slov.*, 163-174.
- Kranidiotis P., MacLean W. (1987) Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit. Matagami. Quebec. *Economic Geology and the Bulletin of Society of Economic Geologists* 82, 1898-1911.
- Kužvart M. (1955) Geologické a petrografické poměry maskových ložisek a jejich okolí u Hnúšťa na Slovensku. *Sbor. Ústř. Úst. geol.* 22, 145-195.
- Lanari P., Vidal O., Andrade V. D., Dubacq B., Lewin E., Grosch E. G., Schwartz S. (2014) XMapTools: A MATLAB - based program for electron microprobe X-ray image processing and geothermobarometry. *Computers & Geosciences* 62, 227-240.
- Láznička P. (1962) Příspěvky k poznání drobných rudních výskytů v okolí Tisovce, Hnúšťa, Klenovce a Kokavy nad Rimavicou (veporidy). *MS, Diplom. práca., Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 233 s.

- Láznička P. (1963) Metasomatické ložisko pod Medeným u Klenovce a geologie jeho okolí. *Sbor. Nár. muz. Praha*, 19, 1, 1-52.
- Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H. J., Krivovichev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J. A., Maresch W. V., Nickel E. H., Schumacher J. C., Smith D. C., Stephenson N. C. N., Ungaretti L., Whittaker E. J. W., Youzhi G. (1997) Nomenclature of Amphiboles. *Can. Mineral.* 35, 219-246.
- Lexa J. (ed.), Bačo P., Hurai V., Chovan M., Koděra P., Petro M., Rojkovič I., Tréger M. (2007) Vysvetlivky k metalogenetickej mape Slovenskej republiky 1 : 500 000. *ŠGÚDŠ, Bratislava*, 178 s.
- Macko J., Lenárt J. (1971) Inventarizácia ložísk stavebných nerastných surovín ČSSR - Hnúšťa. *MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 7 s.
- Maluski H., Rajlich P., Matte P. (1993)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the Inner Carpathian Variscan Basement and Alpine mylonitic overprinting. *Tectonophysics* 223, 313-337.
- Massone H., Schreyer W. (1987) Phengite geobarometry based on the limiting assemblage with K-feldspar, phlogopite and quartz. *Contrib. Mineral. Petrol.* 96, 212-224.
- Maťová V., Kusein M., Ballová L., Helma J., Komoň J. (2005) Zlatonosné štruktúry v metamorfitech kryštalinika juhozápadnej časti Slovenského rudohoria - Au rudy. Záverečná správa. *MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 86 s.
- Mazúr E., Lukniš M. (1980) Geomorfologické jednotky (mapa 1: 500 000). In: Mazúr E., Jakál J. (eds.): Atlas SSR. SAV a Slov. úrad geod. a kart., Bratislava, 54-55.
- McSwiggen P. L. (1993) Alternative Solution Model for the Ternary Carbonate System  $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-FeCO}_3$ . II. Calibration of a Combined Ordering Model and Mixing Model. *Phys. Chem. Minerals* 20, 42-55.
- Németh Z., Prochaska W., Radvanec M., Kováčik M., Madarás J., Koděra P., Hraško Ľ. (2004) Magnesite and talc origin in the sequence of geodynamic events in Veporicum, Inner Western Carpathians, Slovakia. *Acta Petrologica Sinica* 20, 4, 837-854.
- Parra T., Vidal O., Agard P. (2002) A thermodynamic model for Fe-Mg dioctahedral K white micas using data from phase-equilibrium experiments and natural pelitic assemblages. *Contrib. Mineral. Petrol.* 143, 706-732.
- Petro M. (1961) Geologické a mineralogické pomery rudných ložísk v oblasti Klenovec - Ratkovské Bystré. *MS, Diplom. práca, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 105 s.
- Plašienka D., Janák M., Lupták B., Milovský R., Frey M. (1999) Kinematics and Metamorphism of a Cretaceous Core Complex: the Veporic Unit of the Western Carpathians. *Phys. Chem. Earth (A)*, 24, 8, 651-658.
- Puhan D. (1978) Experimental study of the reaction: dolomite + K-feldspar +  $\text{H}_2\text{O}$  = phlogopite + calcite +  $\text{CO}_2$  at the total gas pressure of 4000 and 6000 bars. *N. Jb. Miner.* 3, 110-127.
- Radvanec M., Németh Z., Bajtoš P. (eds.), Koděra P., Prochaska W., Roda Š., Tréger M., Baláž P., Grecula P., Cicmanová S., Kráľ J., Žák K. (2010) Magnezit a talk na Slovensku - genetický a geoenvironmentálny model. *ŠGÚDŠ, Bratislava*, 189 s.
- Ragan M. (1989) Mineralogická, geochemická a paragenetická charakteristika sulfidickej mineralizácie v oblasti Hnúšťa (veporikum). *MS, Dizertačná práca, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 199 s.
- Siivola J., Schmid R. (2007) List of mineral abbreviations. In: Fettes D. & Desmons J. (eds.): *Metamorphic Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences. Cambridge University Press*, 93-110.
- Slavkay M. (ed.), Beňka J., Bezák V., Gagrulák M., Hraško Ľ., Kováčik M., Petro M., Vozárová A., Hruškovič S., Knésel J., Knéslová A., Kusein M., Maťová V., Tulis J. (2004) Ložiská nerastných surovín Slovenského rudohoria. Zväzok 2. *ŠGÚDŠ, Bratislava*, 286 s.
- Sombathy L. (1950) Zpráva o zastavení kutacích prác v Klenovci a na Ostrej. *MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 9 s.
- Šuf J. (1938) Zpráva o geologických poměrech a o ložiskách užitečných nerostů v okolí Kokavy na Slovensku. *Věst. St. geol. Úst.* 14, 4, 91-109.
- Tischendorf G., Förster H.-J., Gottesmann B., Rieder M. (2007) True and brittle micas: composition and solid-solution series. *Mineral. Mag.* 71, 285-320.
- Tischendorf G., Rieder M., Förster H.-J., Gottesmann B., Guidotti C. V. (2004) A new graphical presentation and subdivision of potassium micas. *Mineral. Mag.* 68, 649-667.
- Tomko I., Abonyi A., Bacsó Z. (1973) Slovensko - dekoratívny kameň. surovinová štúdia. oblasť Tisovec - Dobšiná. *MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 62 s.
- Turan J., Vančová L. (1980) Die metamorphen Minerale von Karbonatkörpern des Kristallinikums der Klenovec - Subzone der Veporiden. *Geol. Zbor. Geol. Carpath.* 31, 3, 343-357.
- Turanová L., Turan J., Stankovič J. (1997) Skarnoidná mineralizácia v ložisku Hnúšťa - Mútnik. *Miner. Slov.* 29, 6, 417-426.
- Uher P., Janák M., Ozdín D. (2002) Calcian dravite from metacarbonate rocks of the Mútnik magnesite - talc deposit, Hnúšťa, Slovakia. *N. Jb. Miner. Mh.* 2, 68-84.
- Vančová L., Turan J. (1981) Prejavy skarnoidnej mineralizácie v ložisku Mútnik. *Miner. Slov.* 13, 1, 69-74.
- Vass D. (ed.), Began A., Gross P., Kahan Š., Köhler E., Krystek I., Lexa J., Nemčok J., Růžička M., Vaškovič I. (1988) Regionálne geologické členenie Západných Karpát a severných výbežkov Panónskej panvy na území ČSSR 1: 500 000. *ŠGÚDŠ, Bratislava*.
- Vidal O., De Andrade V., Lewin E., Munoz M., Parra T., Pascarelli S. (2006) P-T-deformation- $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  mapping at the thin section scale and comparison with XANES mapping: application to a garnet-bearing metapelite from the Sambagawa metamorphic belt (Japan). *J. Metamorph. Geol.* 24, 7, 669-683.
- Zane A., Weiss Z. (1998) A procedure for classifying rock-forming chlorites based on microprobe data. *Rend. Fis. Acc. Lincei* 9, 1, 51-56.
- Zang W., Fyfe W. S. (1995) Chloritization of the hydrothermally altered bedrock at the Igarapé Bahia gold deposit, Carajás, Brazil. *Mineral. Deposita* 30, 30-38.
- Zoubek V. (1957) Hranice gemeríd a veporid. *Geol. Práce, Zošit* 46, 38-50.