

# Kalcitovo-dolomitová geotermometria aplikovaná na stanovenie podmienok metamorfózy karbonátov z lokality Pliešovce (Slovenská republika)

## Calcite-dolomite geothermometry applied to determination of metamorphic conditions of the carbonates from locality Pliešovce (Slovak Republic)

PETER RUŽIČKA

*Katedra mineralógie a petrológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Illkovičova 6, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, Slovenská republika; e-mail: peter.ruzicka@uniba.sk*

Ružička P (2018) Kalcitovo-dolomitová geotermometria aplikovaná na stanovenie podmienok metamorfózy karbonátov z lokality Pliešovce (Slovenská republika). Bull Mineral Petrolog 26(2): 188-195. ISSN 2570-7337

### Abstract

Application of the calcite-dolomite solvus geothermometry is focused on determination of the metamorphic conditions of the Middle Triassic carbonates from the locality Pliešovce (Slovak Republic). The metacarbonates represent a Mesozoic cover of the Southern Veporic. The temperature conditions of recrystallization have been calculated on the basis of the microprobe chemical analyses of the coexisting calcite and dolomite. The calcite-dolomite pairs were used for temperature calculation with respect to Mg-content in the calcite coexisting with the dolomite. Interpretation of the metamorphic evolution of the carbonates is based on the calcite-dolomite solvus geothermometry. The calculated average temperature of the regional Alpine metamorphism in the carbonates reached 361 °C and 395 - 403 °C according to various calibrations, respectively.

**Key words:** calcite-dolomite geothermometry, marble, Pliešovce, Slovak Republic

Obdrženo 11. 11. 2018; přijato 18. 12. 2018

### Úvod

V predloženom článku sú prezentované numerické výstupy z konvenčnej kalcitovo-dolomitovej solvusovej geotermometrie v ternárnom  $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-FeCO}_3$  systéme, ktorá bola aplikovaná na stanovenie podmienok alpínskej regionálnej metamorfózy karbonátov z lokality Pliešovce. Štúdie zamerané na geotermobarometriu metakarbonátov v slovenskej časti Západných Karpát sú pomerne zriedkavé, čo vyplýva z poznatku, že väčšina výskytov regionálne metamorfovaných mramorov vznikala v podmienkach fácie zelených bridlíc, čo sa odrazilo v ich nízkom zastúpení indexových silikátových minerálnych asociácií odhaľujúcich kľúčové udalosti metamorfnych procesov. Geotermometrické stanovenie podmienok metamorfózy karbonátových komplexov závisí od vzájomných vzťahov koexistujúcich fáz. Skúmané mramory doteraz neboli podrobne petrologicky spracované a získané informácie z mikrosondových analýz v kombinácii s výberom geotermometrických kalibračných rovníc sa dajú využiť pri interpretácii metamorfnej evolúcie.

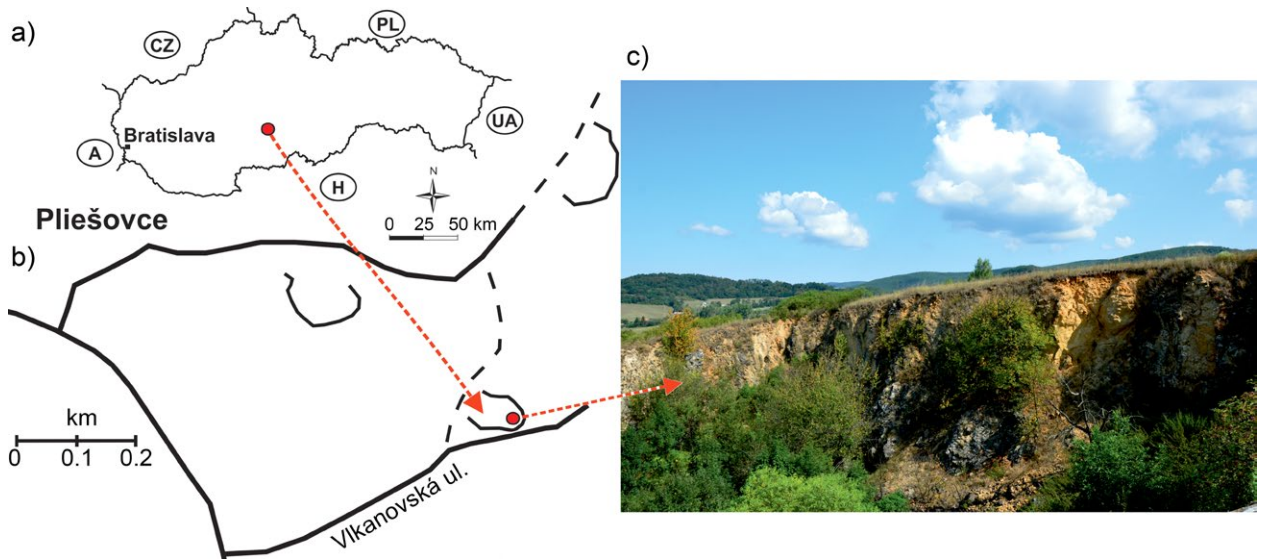
### Lokalizácia a geologická charakteristika

Podľa geomorfologického členenia Slovenskej republiky (Mazúr, Lukniš 1980) skúmané územie patrí do Pliešovskej kotliny, pričom obec Pliešovce leží v jej južnej časti. Na východe obec ohraničuje horský hrebeň stratovulkánu Javoria, na západe Štiavnické vrchy, na juhu Krupinská planina a na severe dolina Hrona. Poloha skú-

manej lokality zodpovedá 48°25.314' severnej šírky a 19°9.989' východnej dĺžky s nadmorskou výškou 430 m. Vzorky boli odoberané z opusteného stenového kameňolomu (obr. 1), ktorý je situovaný na konci Vlkanovskej ulice v katastri obce Pliešovce.

Z hľadiska geologického zaradenia v rámci Západných Karpát tvorí skúmaná lokalita súčasť tektonickej jednotky veporika. Označenie pliešovský ostrov (obr. 2), ktorý vystupuje aj v povrchových odkryvoch v rámci katastra obce Pliešovce, sa používa pre horninové komplexy veporika, ktoré sú súčasťou predterciérneho podložia neovulkanitov Javoria a tvoria vrcholové časti elevačných štruktúr obnažené denudačným zrezom. Kryštalinikum veporika s paleozoicko-mezozoickým obalom sa v smere na západ ponára pod neovulkanity a na povrch vychádza v podobe ostrovov okrem Pliešoviec aj v Lieskovci východne od Zvolena a v erozívnom záreze doliny potoka Madačka pri Ábelovej (Konečný et al. 1998b).

Metapelitey tvoriace súčasť kryštalinika veporika vystupujú v okolí kóty Hrádok (539.8) a pri sv. okraji obce Pliešovce. Fylity sú sivozelené až zelenohnedé, miestami kremité a tenkobridličnaté. Z vrty JŠ-1 boli zdokumentované karbonaticko-albiticko-chloritické bridlice, chloriticko-muskovitické fylity a muskoviticko-albiticko-kremenné fylity. Miko in Konečný et al. (1988) tvrdí, že rekryštalizácia prebiehala v chloritovej zóne fácie zelených bridlíc. Horniny sú intenzívne tektonodeformačne prepracované, kataklazované a zvrásnené. Pod horninami nízko metamorfovaného kryštalinika boli vo vrte JŠ-4 opäť zachytené mezozoické



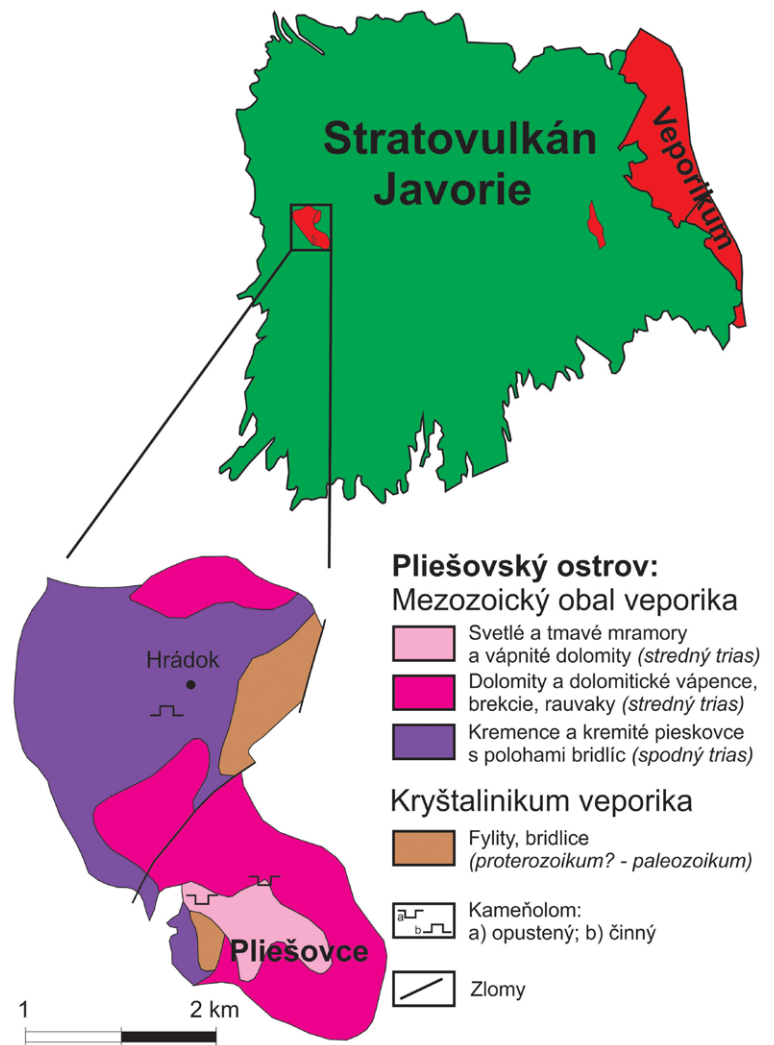
Obr. 1 Lokalizácia skúmaného územia: a) v mape SR; b) schéma s vyznačením miesta odberu vzoriek; c) pohľad na zarastenú lomovú stenu, foto P. Ružička 2018.

sekvencie. Z uvedených skutočností vyplýva, že pliešovský ostrov má šupinovitý charakter stavby. Dôsledkom tektonických porúch sa výrazne zredukovali súvrstvia a horniny sú často brekciovité (Konečný et al. 1998b).

Mezozoický obal kryštalinika južného veporika sa v skúmanej oblasti koreluje s fôderatskou skupinou, ktorá na rozdiel od typického tuhárskeho vývoja definovaného v oblasti Divína, Tuhára a Ružinej (Vass, Elečko et al. 1992) nemá kompletne zastúpenie litostratigrafických členov (tab. 1). Plašienka (1983, 1993) tuhársku sukcesiu považuje za najhlbokodnejšiu. Triasový vek metasedimentov fôderatskej skupiny bol stanovený biostratigrafickými datovaniami palynoflóry (Biely, Planderová 1975) a konodontovej fauny (Straka 1981). Tuhárske mramory sú ojedinele v priamom kontakte s kavernóznymi dolomitmi (Vass, Elečko et al. 1992).

V litológii pliešovského ostrova spodný trias zastupujú kremence a kremité pieskovce s polohami bridlic. Podľa Straku in Konečný et al. (1985) kremence predstavujú sedimenty typických plážových pieskov, ktoré postihla metamorfóza a vplyvom hydrotermálnych procesov sa ľahko rozpadávajú. Budujú prevažnú časť ostrova od severného okraja Pliešoviec až po Sásu a širšie okolie kóty Hrádok. Zároveň tvoria menší kopec pri jv. okraji Pliešoviec. Kremence sa ťažia v kameňolome, ktorý je situovaný severne od obce pod kótou Hrádok. Strednotriasové dolomity a dolomitické vápence s vložkami rauvakov a karbonátových brekcií tvoria nadložie kremencov na severnom svahu kopca Hrádok a jv. od obce Pliešovce sú odkryté vo viacerých opustených lomoch a ťažobných jamách.

Svetlé a tmavé mramory spolu s vápnitými dolomitmi stredného triasu sa vyskytujú pri východnom okraji Pliešoviec. Podložie mramorov tvoria dolomity. V spodnej časti majú mramory tmavšie farby, sú brekciovité



Obr. 2 Schematický pohľad na výskyt veporika v rámci stratovolcánu Javorie s detailom geologickej mapy skúmaného územia v mierke 1 : 50 000 (Konečný et al. 1998a).

a čiastočne dolomitické, smerom do nadložia prechádzajú do svetlejších až bielych lavicových mramorov.

Tmavé až svetlosivé vápence s polohami hnedých až čiernych bridlíc boli overené vrtom KJ-25 sz. od obce Sása a východne od obce Dobrá Niva v intervale 413 - 461 m, čím sa potvrdilo pokračovanie elevácie pliešovského ostrova v podloží neovulkanitov.

V tmavých bridličnatých a kalových, čiastočne rekrystalizovaných vápencoch bola prítomná zle zachovaná konodontová mikrofauna s identifikovaným jedincom *Gondolella cf. polygnathiformis* BUDUROV - STEFANOV, ktorý poukazuje na vrchnotriasový vek - karn (Straka in Konečný et al. 1985). Vývoj triasu pri Pliešovciach je geneticky spojený s obalovými sekvenciami juhovpeporické-ho kryštalinika, čo potvrdzujú výskyt föderatskej skupiny na východnom okraji neovulkanitov (tab. 1).

Pôvodná elevačná štruktúra, pochádzajúca z obdobia

spodného miocénu, bola v spodnom bádene rozdelená vznikom babinskej depresie na ladziansku a pliešovskú časť. Počas bádenu bola pliešovská časť deformovaná ako hrastová štruktúra. V oblasti pliešovského ostrova odкрýv podložie predstavuje vrchol hrastovej štruktúry sz. - jv. priebehu, ktorá je rozčlenená systémom priečných zlomov do čiastkových blokov. Na povrch vychádza stredný, maximálne vyzdvihnutý blok (Konečný et al. 1988). Klenbovú stavbu podložie v strednom bloku overili vrty KJ-29, KJ-30 a KJ-31, ktoré dosiahli podložie v hĺbke 200-350 m pod povrchom, tvorené horninami mezozoika. V severozápadnej časti hrasti v relatívne viac poklesnutom bloku overil vrt KJ-25 mezozoické podložie v hĺbke 420 m pod povrchom. Tektonické rozčlenenie elevácie pokračovalo pravdepodobne počas sarmatu, čo dokumentuje vrt KJ-25. V pliocéne sa eróziou obnažilo predterciérne podložie vo vrcholovej časti elevácie pri Plie-

**Tabuľka 1** Litostratigrafické porovnanie veporika vystupujúceho na východnom okraji neovulkanitov a v ich podloží (Konečný et al. 1998b). Zvýraznené je zastúpenie mramorov v rámci korelačnej schémy.

Stratigrafia		Veporikum					
		Východný okraj neovulkanitov			Podložie neovulkanitov Pliešovský a lieskovský ostrov		
		m	Litológia	Petrografia	m	Litológia	Petrografia
Mezozoikum	Jura	Lias		Föderatská skupina Tuhársky vývoj			
		Rét		Steblovité fylitické karbonáty, čierne a hnedé silicity			
	Trias	Norik		<b>Pestrosfarbené tuhárske mramory</b>		Tmavé a svetlosivé vápence s polohami hnedých a čiernych bridlíc (vrt KJ-25)	
		Karn	200-400	Masívne hnedé a ružovkasté dolomity a dolomit. vápence			
		Ladin		Tmavé doskovité a bridličnaté vápence, tmavé bridlice, rohovce		<b>Svetlé a tmavé mramory, vápenné dolomity</b>	
		Anis	30-100	Kavernózne dolomity lokálne prekremenené, rauvaky		Dolomity a dolomit. vápence, bridlice, rauvaky	
		Skýt	50-200	Kremenné metapieskovce, subarkózy a piesčité bridlice		Kremence a kremité pieskovce s polohami bridlíc	
Mladšie paleozoikum	Perm	>250		<i>Rimavské súvrstvie:</i> metapieskovce, polohy fylitov a acidných vulkanoklastík			
	Karbón	Visén- Namúr		Leukokrátne granitoidy (190) biotické tonality až granodiority (typ Sihla, 191), porfyrické granitoidy (192)			
Proterozoikum? paleozoikum		>1000		Hybridné granitoidy (193 a, b)		Fylity, bridlice (194)	



šovciach. V deltovom a príbrežnom prostredí sa začal sedimentačný cyklus uložením vytriedených a mineralogicky zreých sedimentov spodného triasu. Ukončenie sedimentačného režimu predstavuje lagunárno-deltová sedimentácia vrchnej časti spodného triasu s polohami bridlíc s prechodom do karbonátových facií. Mladšie triasové karbonáty vznikali v morskom prostredí, v ktorom podmienky plytšieho neritika (karbonátová platforma) vystriedala sedimentácia v hlbšom pelagickom prostredí (Konečný et al. 1998b).

## Metodika

Minerálne zloženie a mikroštruktúra mramorov boli pozorované vo výbrusoch pomocou polarizačného mikroskopu Leica DM2500P na Katedre mineralógie a petrológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. Účelom mikroskopického pozorovania v prechádzajúcom svetle bolo zistenie štruktúrnych vzťahov a vyznačenie minerálnych párov pre identifikáciu pomocou elektrónového mikroanalýzátora. Leštené výbrusy, vákuovo naparené tenkou uhlíkovou vrstvou, boli analyzované na elektrónovom mikroanalýzátore JEOL JXA 8530FE na

Tabuľka 2 Kalibračné rovnice a koeficienty pre kalcitovo-dolomitové geotermometre

### Anovitz & Essene (1987)

Kalibračná rovnica [1]:

$$T^{\text{Mg}}(\text{K}) = A(X_{\text{Cal}}^{\text{MgCO}_3}) + \frac{B}{(X_{\text{Cal}}^{\text{MgCO}_3})^2} + C(X_{\text{Cal}}^{\text{MgCO}_3})^2 + D(X_{\text{Cal}}^{\text{MgCO}_3})^{0.5} + E$$

Koeficienty pre rovnica [1]:

$$\begin{aligned} A &= -2360 \\ B &= -0.01345 \\ C &= 2620 \\ D &= 2608 \\ E &= 334 \end{aligned}$$

Kalibračná rovnica [2]:

$$T^{\text{Fe, Mg}}(\text{K}) = T^{\text{Mg}} + a(X_{\text{Cal}}^{\text{FeCO}_3}) + b(X_{\text{Cal}}^{\text{FeCO}_3})^2 + c \left[ \frac{(X_{\text{Cal}}^{\text{FeCO}_3})}{(X_{\text{Cal}}^{\text{MgCO}_3})} \right] + d(X_{\text{Cal}}^{\text{FeCO}_3} \cdot X_{\text{Cal}}^{\text{MgCO}_3}) + e \left[ \frac{(X_{\text{Cal}}^{\text{FeCO}_3})}{(X_{\text{Cal}}^{\text{MgCO}_3})^2} \right] + f(X_{\text{Cal}}^{\text{FeCO}_3} \cdot X_{\text{Cal}}^{\text{MgCO}_3})^2$$

Koeficienty pre rovnica [2]:

$$\begin{aligned} a &= 1718 \\ b &= -10\,610 \\ c &= 22.49 \\ d &= -26\,260 \\ e &= 1.333 \\ f &= 0.32837 \times 10^7 \end{aligned}$$

### McSwiggen (1993)

Kalibračná rovnica [1]:

$$\begin{aligned} X_{\text{Mg}}^* &= X_{\text{Cal}}^{\text{Mg}} + C_1(X_{\text{Cal}}^{\text{Fe}}) + C_2(X_{\text{Cal}}^{\text{Fe}}) \cdot (X_{\text{Cal}}^{\text{Ca}}) + C_3(X_{\text{Cal}}^{\text{Fe}}) \cdot (X_{\text{Cal}}^{\text{Ca}})^2 \\ &+ C_4(X_{\text{Cal}}^{\text{Fe}})^2 + C_5(X_{\text{Cal}}^{\text{Fe}})^2 \cdot (X_{\text{Cal}}^{\text{Ca}}) + C_6(X_{\text{Cal}}^{\text{Fe}})^2 \cdot (X_{\text{Cal}}^{\text{Ca}})^2 \\ &+ C_7(X_{\text{Cal}}^{\text{Fe}})^3 + C_8(X_{\text{Cal}}^{\text{Fe}})^3 \cdot (X_{\text{Cal}}^{\text{Ca}}) + C_9(X_{\text{Cal}}^{\text{Fe}})^3 \cdot (X_{\text{Cal}}^{\text{Ca}})^2 \end{aligned}$$

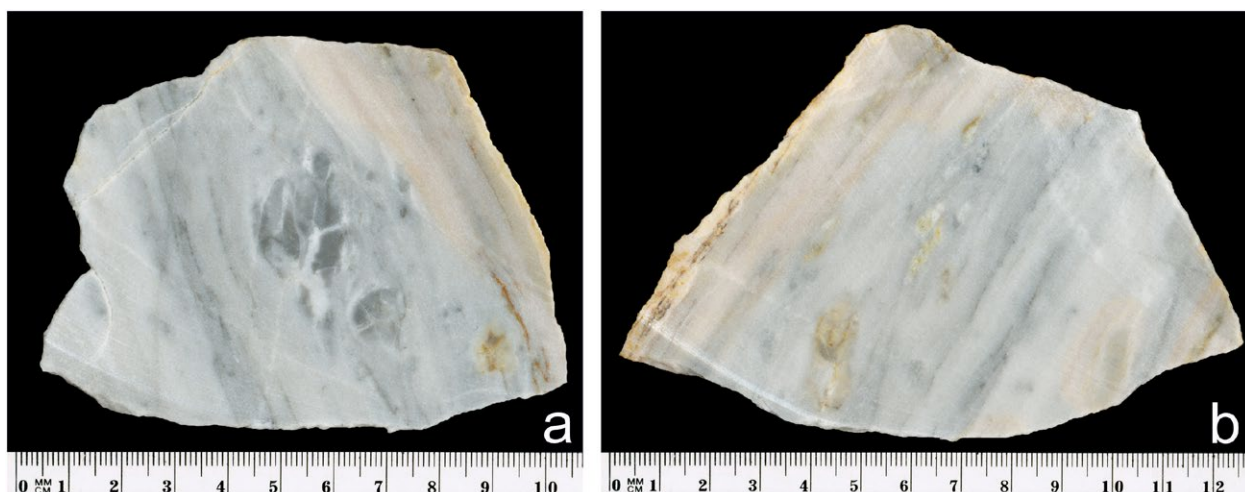
Koeficienty pre rovnica [1]:

$$\begin{aligned} C_1 &= -33.593 \\ C_2 &= 77.356 \\ C_3 &= -42.882 \\ C_4 &= 262.05 \\ C_5 &= -449.38 \\ C_6 &= 160.95 \\ C_7 &= 135.31 \\ C_8 &= -917.71 \\ C_9 &= 861.25 \end{aligned}$$

Kalibračná rovnica [2]:

$$T(\text{K}) = 1753(X_{\text{Mg}}^*)^{0.27} - 8.26 \times 10^{-3} P + 2.39 \times 10^{-2} P(X_{\text{Mg}}^*)$$

P (bar)

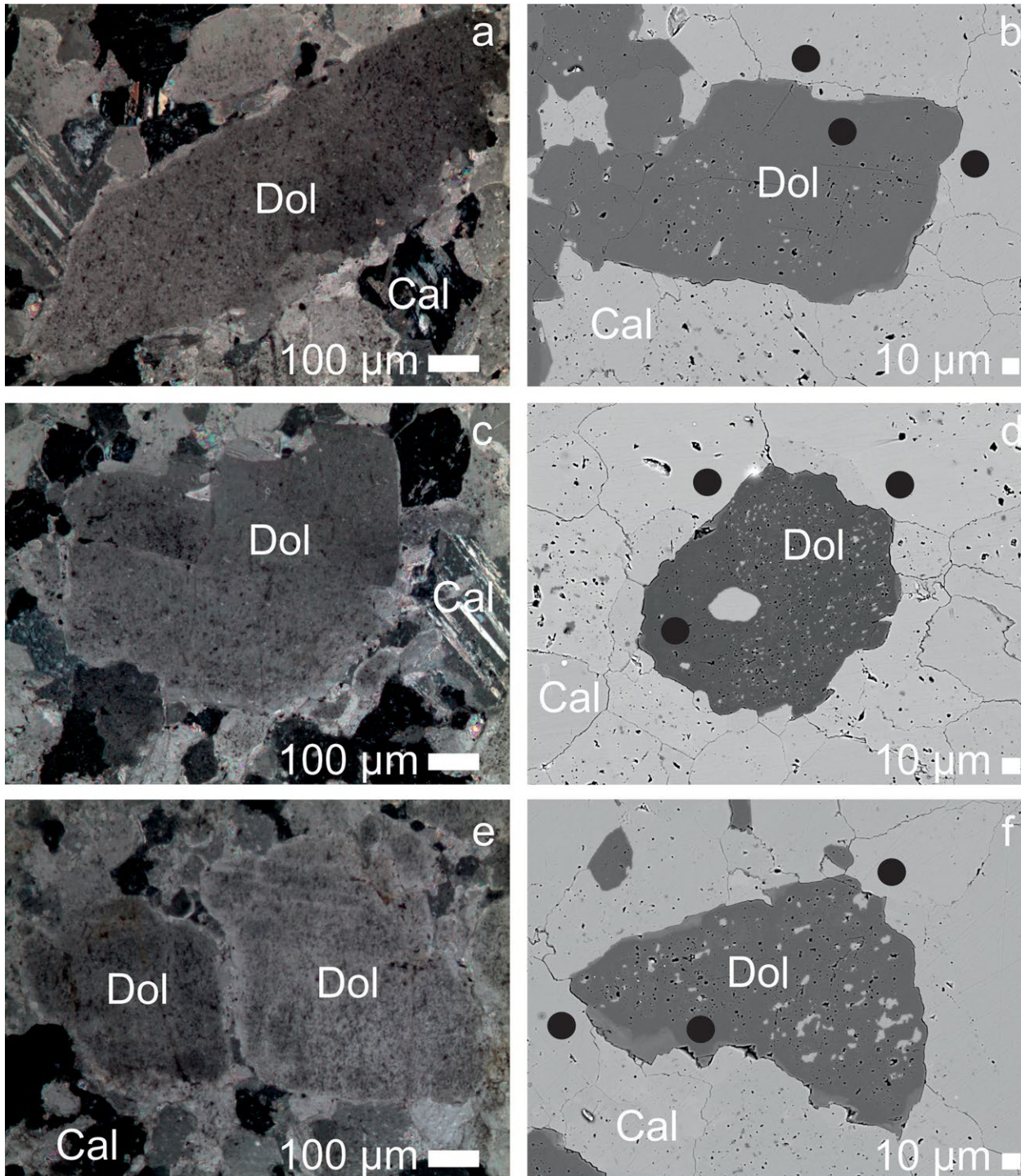


Obr. 3 Prierezy skúmaných mramorov z lokality Pliešovce. Foto P. Ružička.

Ústave vied o Zemi Slovenskej akadémie vied v Banskej Bystrici. Vzorky boli analyzované pri urýchľovacom napätí 15 kV a prúde 20 nA. Priemer elektrónového lúča sa prispôboval počas merania v rozsahu 5 - 10  $\mu\text{m}$ , pretože karbonáty sú pod elektrónovým lúčom často prchavé, čo sa prejavuje reakciou jednotlivých minerálnych zŕn na šírku zvoleného elektrónového lúča. Chemické zloženie fáz sa meralo WDS spektrometrami. Mikroštruktúrne znaky fázových vzťahov a distribúcia minerálnych fáz sa pozorovali v spätne rozptýlených elektrónoch (BSE - back scattered electron). Na meranie karbonátov boli použité

štandardy (rtg. línie a detekčné limity v ppm): Ca(K $\alpha$ , 25) - diopsid, Mn(K $\alpha$ , 70) - rodonit, Mg(K $\alpha$ , 27) - olivín, Sr(K $\alpha$ , 112) - celestín, Fe(K $\alpha$ , 89) - hematit.

Teploty rekryštalizácie kalcitu boli vypočítané z mikrosondových analýz pomocou geotermometrických kalibračných rovníc (tab. 2) pre kalcitovo-dolomitový solvus (Anovitz, Essene 1987; McSwiggen 1993). Kalcitovo-dolomitová solvusová geotermometria je založená na distribučnej výmene iónov  $\text{Mg}^{2+}$  v štruktúre medzi koexistujúcim kalcitom a dolomitom, pričom rozsah substitúcie  $\text{Mg}^{2+}$  za  $\text{Ca}^{2+}$  v kalcite je obmedzený v závislosti od teploty.



**Obr. 4** Kalcit (Cal) a dolomit (Dol) pozorované v skřížených nikoloch prechádzajúceho polarizovaného svetla (a, c, e) a v režime BSE (b, d, f), pričom analyzované miesta sú vyznačené čiernymi bodmi. Mikrofoto P. Ružička, BSE foto Sergiy Kurylo.



## Výsledky

Masívne mramory majú svetlé biele až sivobiele farby s občasným železitým sfarbením vplyvom zvetrávania. V priereze niektorých vzoriek (obr. 3) sú viditeľné brekciovitité fragmenty sivých dolomitov obkolesené bielym kalcitom. Dolomity tvoria jemné sivé pruhy makroskopicky pozorovateľné vo svetlých mramoroch cukrového vzhľadu.

Mramory sú mikroskopicky usporiadané do typickej granoblastickej štruktúry pozostávajúcej prevažne zo strednozrných agregátov dvojčatne lamelovaných kalcitov, ktoré dopĺňajú dolomitové zrná, zachovávajúce si klencový vývoj (obr. 4). Dominantne je vytvorený jeden systém lamelovania kalcitových zrn. Dolomit spolu s kalcitom tvoria hlavné fázy a prítomnosť iných minerálov nebola potvrdená.

### Dolomit

V rámci pozorovania koexistenčných vzťahov medzi dolomitom a kalcitom boli identifikované v dolomitových porfyroblastoch nepravidelne zastúpené inklúzie kalcitov rôznej veľkosti (obr. 4b, d, f). Štatisticky objektívny počet mikrosondových analýz kalcitových inklúzií v dolomitoch vzhľadom na ich malú veľkosť nebolo možné získať. Exsolučné lamely v karbonátových fázach neboli pozorova-

né. Mikrosondové analýzy dolomitu (tab. 3) boli prepočítané na dva kyslíky. Analyzované dolomity z hľadiska chemického zloženia majú takmer konštantné hodnoty s minimálnymi rozdielmi v distribúcii prvkov (tab. 3).

### Kalcit

V kompozícii mramorov tvorí kalcit základnú rekryštalizovanú hmotu (matrix). Rekryštalizačné účinky kalcitu sú dobre viditeľné v BSE a prejavujú sa zvýrazneným mozaikovým prerastaním sa jednotlivých agregátov (obr. 4b, d, f). Prítomnosť inklúzií dolomitov bola pozorovaná len v niektorých kalcitových agregátoch, pričom väčšina je homogénna, bez inklúzií. Mikrosondové analýzy kalcitu (tab. 4) boli prepočítané na jeden kyslík. V rámci chemického zloženia sa hodnoty  $Mg^{2+}$  v kalcite pohybujú v intervale od 0.021 do 0.030 *apfu* (tab. 4).

### Geotermometria

Koexistenčné vzťahy medzi kalcitom a dolomitom boli základom pre geotermometrické kalkulácie. Pri výpočte sa vychádzalo z hodnôt molárnych frakcií koncových karbonátových zložiek v analyzovaných kalcitoch. Molárna frakcia  $X_{MgCO_3}$  v kalcite sa pohybuje v intervale 0.018 - 0.026 (tab. 5). Priemerná teplota rekryštalizácie kalcitu vypočítaná podľa kalibrácie Anovitz, Essene (1987) dosa-

**Tabuľka 3** Reprezentatívne mikrosondové analýzy dolomitu (hm. %) v pliešovských mramoroch. Symbol \* vyjadruje dopočítanie  $CO_2$ .

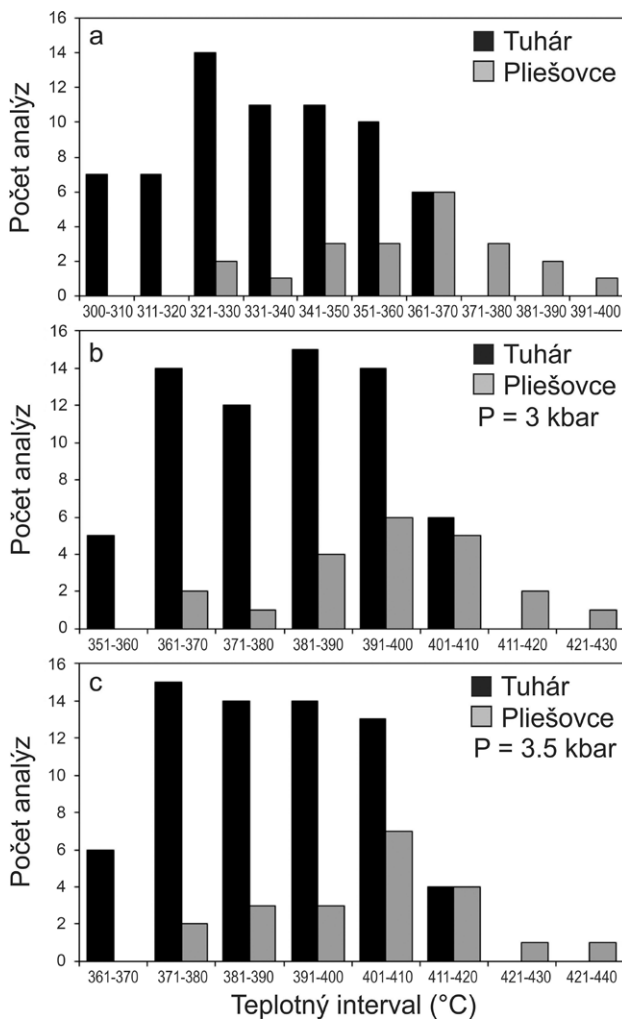
Analýza	FeO	MnO	MgO	CaO	$CO_2^*$	Suma	$Fe^{2+}$	$Mn^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$	Suma
1	0.04	0.02	21.49	30.71	47.61	99.86	0.001	0.001	0.986	1.013	2.001
2	0.01	0	21.70	30.44	47.60	99.74	0	0	0.996	1.004	2.000
3	0	0.01	21.75	30.24	47.52	100.00	0	0	1.000	1.000	2.000
4	0	0	21.97	30.48	47.91	100.00	0	0	1.001	0.999	2.000
5	0.06	0	21.93	30.50	47.92	100.40	0.002	0	0.999	0.999	2.000
6	0.01	0	21.82	30.53	47.79	100.15	0	0	0.997	1.003	2.000
7	0	0.02	21.81	30.47	47.78	100.00	0	0.001	0.998	1.002	2.001
8	0	0.01	21.95	30.56	47.96	100.00	0	0	1.000	1.000	2.000

**Tabuľka 4** Reprezentatívne mikrosondové analýzy kalcitu (hm. %) v pliešovských mramoroch. Symbol \* vyjadruje dopočítanie  $CO_2$ .

Analýza	FeO	MnO	MgO	CaO	$CO_2^*$	Suma	$Fe^{2+}$	$Mn^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$	Suma
1	0.02	0.01	0.84	54.99	44.12	99.98	0	0	0.021	0.979	1.000
2	0.01	0.02	1.05	54.83	44.21	100.12	0	0	0.026	0.974	1.000
3	0.04	0.02	0.99	55.42	44.63	101.11	0.001	0	0.024	0.975	1.000
4	0.03	0	1.06	55.51	44.76	101.35	0	0	0.026	0.974	1.000
5	0	0	1.02	54.11	43.61	98.74	0	0	0.026	0.974	1.000
6	0.04	0	0.92	55.20	44.35	100.52	0.001	0	0.023	0.977	1.001
7	0.03	0	1.14	54.93	44.43	100.54	0	0	0.028	0.972	1.000
8	0.01	0	1.07	54.12	43.69	98.90	0	0	0.027	0.973	1.000
9	0.04	0.04	0.85	54.71	43.95	99.58	0.001	0.001	0.021	0.978	1.001
10	0.01	0.03	1.02	54.76	44.14	99.97	0	0	0.025	0.974	0.999
11	0.04	0.01	0.89	55.35	44.44	100.74	0.001	0	0.022	0.977	1.000
12	0.01	0	1.06	54.36	43.88	99.31	0	0	0.026	0.973	0.999
13	0.01	0.01	0.94	54.36	43.73	99.05	0	0	0.023	0.976	0.999
14	0.06	0	1.02	54.53	43.98	99.60	0.001	0	0.025	0.974	1.000
15	0.05	0	1.10	54.44	44.00	99.59	0.001	0	0.027	0.972	1.000
16	0.04	0.02	1.05	54.16	43.73	98.99	0.001	0	0.026	0.973	1.000
17	0.02	0.01	0.98	55.50	44.67	101.16	0	0	0.024	0.976	1.000
18	0	0.01	1.05	54.50	43.98	99.54	0	0	0.026	0.974	1.000
19	0.06	0.02	0.91	54.00	43.44	98.42	0.001	0	0.023	0.976	1.000
20	0.02	0	1.22	54.52	44.13	99.90	0	0	0.030	0.970	1.000
21	0.01	0.03	1.00	55.32	44.58	100.95	0	0	0.025	0.975	1.000

**Tabuľka 5** Teploty rekryštalizácie kalcitu v pliešovských mramoroch. Hodnoty  $T_1$  sú vypočítané podľa kalibrácie Anovitz, Essene (1987) a hodnoty  $T_2$  podľa kalibrácie McSwiggen (1993).

Analýza	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	FeCO <sub>3</sub>	Suma	X <sub>CaCO<sub>3</sub></sub>	X <sub>MgCO<sub>3</sub></sub>	X <sub>FeCO<sub>3</sub></sub>	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	
									P 3 kbar	P 3.5 kbar
1	98.14	1.76	0.04	99.94	0.982	0.018	0	324	366	374
2	97.86	2.20	0.01	100.07	0.978	0.022	0	369	400	407
3	98.92	2.80	0.07	101.07	0.979	0.021	0.001	357	395	403
4	99.07	2.22	0.04	101.33	0.978	0.022	0	369	403	411
5	96.58	2.13	0	98.71	0.978	0.022	0	365	393	401
6	98.53	1.92	0.07	100.52	0.980	0.019	0.001	342	382	390
7	98.05	2.39	0.05	100.49	0.976	0.024	0	386	417	424
8	96.59	2.24	0.02	98.85	0.977	0.023	0	376	403	411
9	97.65	1.78	0.06	99.49	0.982	0.018	0.001	328	369	377
10	97.74	2.13	0.02	99.89	0.978	0.021	0	363	395	403
11	98.79	1.87	0.07	100.73	0.981	0.019	0.001	336	378	386
12	97.02	2.21	0.02	99.25	0.978	0.022	0	372	401	409
13	97.02	1.97	0.02	99.01	0.980	0.020	0	349	382	390
14	97.33	2.13	0.10	99.56	0.978	0.021	0.001	366	401	409
15	97.17	2.30	0.08	99.55	0.976	0.023	0.001	381	412	420
16	96.67	2.19	0.06	98.92	0.977	0.022	0.001	372	403	411
17	99.05	2.04	0.02	101.11	0.980	0.020	0	352	388	396
18	97.27	2.19	0	99.46	0.978	0.022	0	369	398	406
19	96.37	1.91	0.10	98.38	0.980	0.019	0.001	346	384	392
20	97.30	2.56	0.04	99.90	0.974	0.026	0	400	428	436
21	98.74	2.09	0.02	100.85	0.979	0.021	0	358	392	400
T(°C)min.								324	366	374
T(°C)max.								400	428	436
T(°C)priemer								361	395	403
Smerodajná odchýlka								18	15	15



huje 361 °C. Hodnota tlaku 3 až 3.5 kbar použitá vo výpočte podľa kalibrácie McSwiggen (1993) bola aproximovaná zo štúdie Ružička, Vozárová (2009) s prihliadnutím na deficit indexových silikátových minerálov. Priemerné teploty rekryštalizácie kalcitu podľa kalibrácie McSwiggen (1993) sa pohybujú v rozsahu 395 - 403 °C (tab. 5).

#### Diskusia a záver

Na základe geologickej afinity pliešovských mramorov s tuhárskymi mramormi, bolo vytvorené grafické zobrazenie vzájomného porovnania teplôt rekryštalizácie kalcitov (obr. 5). Z grafov vyplýva, okrem zobrazených teplotných posunov vychádzajúcich z použitia rôznych kalcitovo-dolomitových geotermometrov, že pliešovské mramory dosahujú vyššie teploty rekryštalizácie kalcitu na rozdiel od tuhárskych mramorov. Priemerná teplota rekryštalizácie kalcitu v pliešovských mramoroch dosahuje 361 °C, respektíve sa pohybuje v intervale 395 - 403 °C pri tlakoch 3 až 3.5 kbar. Na porovnanie v práci Ružička, Vozárová (2009) priemerná teplota rekryštalizácie kalcitu v tuhárskych mramoroch dosahuje 335 °C, respektíve sa pohybuje v rozsahu 381 - 389 °C pri tlakoch 3 až 3.5 kbar.

Poznatky o metamorfóze föderatskej skupiny južného veporika, ktorej litologickou súčasťou sú tuhárske a pliešovské mramory, boli komplexne spracované v prácach Plašienka (1983); Plašienka et al. (1989); Plašienka

**Obr. 5** Porovnanie teplôt rekryštalizácie kalcitov z tuhárskych a pliešovských mramorov: a - kalibrácia Anovitz, Essene (1987); b, c - kalibrácia McSwiggen (1993). Zdrojové údaje o teplotách rekryštalizácie tuhárskych mramorov pochádzajú z práce Ružička a Vozárová (2009).

(1993); Korikovsky et al. (1997); Plašienka (1999); Lupták et al. (2003); Ružička, Vozárová (2009); Ružička et al. (2011). V publikovaných prácach je všeobecná zhoda, že triasové litologické členy föderatskej skupiny prekonalí nízkostupňovú alpínsku regionálnu metamorfózu v podmienkach fácie zelených bridlíc. K tomuto záveru prispieva aj táto práca, v ktorej sa prvýkrát numericky spracovali teplotné podmienky rekryštalizácie karbonátov v Pliešovciach.

#### PodĎakovanie

*Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-15-0050 a grantom VEGA 1/0079/15. Vyslovujem poďakovanie analytikovi Sergij Kurylovi zo SAV za vyhotovenie mikrosondových analýz a BSE obrázkov. Zároveň vyjadrujem poďakovanie recenzentom článku za podnetné pripomienky, ktoré prispeli k skvalitneniu rukopisu.*

#### Literatúra

- ANOVIČ 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
- BIELY A, PLANDEROVÁ E (1975) O triasovom veku vápencov obalovej série veporíd (oblasť Struženíka). *Geol Práce Spr* 63: 91-93
- KONEČNÝ V, MIHALIKOVÁ A, DOVINA V, ŠTOHL J, MARSINA K, STANKOVIČ J, PLANDEROVÁ E, PANÁČEK A, ŠEFARA J, STRAKA P (1985) Vysvetlivky k listom geologickej mapy 1: 25 000 Krupina. MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 148 s.
- KONEČNÝ V, MIKO O, STRAKA P, PANÁČEK A, ŠEFARA J (1988) Geologická stavba a morfoštruktúry podložia východnej časti stredoslovenských neovulkanitov (Krupinská planina - Javorie) v mierke 1: 100 000. MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 54 s.
- KONEČNÝ V (ed), BEZÁK V, HALOUZKA R, STOLÁR M, DUBLAN L (1998a) Geologická mapa Javoria 1: 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava
- KONEČNÝ V (ed), BEZÁK V, HALOUZKA R, KONEČNÝ P, MIHALIKOVÁ A, MARCIN D, IGLÁROVÁ Ľ, PANÁČEK A, ŠTOHL J, ŽÁKOVÁ E, GALKO I, ROJKOVIČOVÁ Ľ, ONAČILA D (1998b) Vysvetlivky ku geologickej mape Javoria 1: 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 304 s.
- KORIKOVSKÝ S P, PUTIŠ M, PLAŠIENKA D (1997) Cretaceous low-grade metamorphism of the Veporic and North-Gemeric zones: A result of collisional tectonics in the central Western Carpathians. In: GRECUŁA P, HOVORKA D, PUTIŠ M (eds): Geological evolution of the Western Carpathians. *Miner Slov Monograph*: 107-130
- LUPTÁK B, JANÁK M, PLAŠIENKA D, SCHMIDT S TH (2003) Alpine low-grade metamorphism of the Permian-Triassic sedimentary rocks from the Veporic Superunit, Western Carpathians: Phyllosilicate composition and "crystallinity" data. *Geol Carpath* 54(6): 367-375
- MAZÚR E, LUKNIŠ M (1980) Geomorfologické jednotky (mapa 1: 500 000). 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 Miner* 20: 42-55
- PLAŠIENKA D (1983) Geologická stavba tuhárskeho mezozoika. *Miner Slov* 15: 49-58
- PLAŠIENKA D (1993) Structural pattern and partitioning of deformation in the Veporic Foederata cover unit (Central Western Carpathians). *Geodynamický vývoj a hlbinná stavba Západných Karpát*. ŠGÚDŠ, Bratislava: 269-277
- PLAŠIENKA D (1999) Tektonochronológia a paleotektonický model jursko-kriedového vývoja centrálnych Západných Karpát. Bratislava, Veda, Vyd. SAV, 125 s.
- PLAŠIENKA D, JANÁK M, HACURA A, VRBATOVIČ P (1989) Prvé údaje o kryštalinite illitu z alpínskych metamorfovaných hornín veporika. *Miner Slov* 21: 43-51
- RUŽIČKA P, VOZÁROVÁ A (2009) Aplikácia kalcitovo-dolomitovej solvusovej geotermometrie na stanovenie stupňa metamorfnej rekryštalizácie tuhárskych mramorov. *Miner Slov* 41: 31-44
- RUŽIČKA P, VOZÁROVÁ A, MICHÁLEK M, DYDA M (2011) Alpine regional metamorphism of Foederata Group metacarbonates (southern Veporicum, Western Carpathians, Slovakia): P-T conditions of recrystallization. *Geol Quart* 55: 9-26
- STRAKA P (1981) O veku série foederata. *Geol Práce Spr* 75: 57-62
- VASS D, ELEČKO M (eds), BEZÁK V, BODNÁR J, KONEČNÝ V, LEXA J, MOLÁK B, STRAKA P, STANKOVIČ J, STOLÁR M, ŠKVARKA L, VOZÁR J, VOZÁROVÁ A (1992) Vysvetlivky ku geologickej mape Lučenskej kotliny a Cerovej vrchoviny 1: 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 196 s.