

# Topás-andaluzit-korundová varieta rodingitov(?) z Brezničky (Ochtinská skupina, Západné Karpaty, Slovensko)

## Topaz-andalusite-corundum variety of rodingites(?) from Breznička (Ochtiná Group, Western Carpathians, Slovakia)

JÁN SPIŠIAK<sup>1)\*</sup>, TOMÁŠ MIKUŠ<sup>2)</sup> A JURAJ BUTEK<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Fakulta prírodných vied, UMB, Tajovského 40, 974 00 Banská Bystrica; \*email: jan.spisiak@umb.sk

<sup>2)</sup>Ústav vied o Zemi SAV, Ďumbierska 1, 974 01 Banská Bystrica

SPIŠIAK J, MIKUŠ T, BUTEK J (2018) Topás-andaluzit-korundová varieta rodingitov(?) z Brezničky (Ochtinská skupina, Západné Karpaty, Slovensko). Bull Mineral Petrolog 26(1): 57-63. ISSN 2570-7337

### Abstract

In the study of rodingites occurring at the contact of the ultrabasic body in Breznička, we found a specific type of rocks rich in Al minerals in the blackwall zone. These rocks are likely to have originated during the rodingitization process. The mineral composition of corundum, topaz and andalusite points to the dominant role of Al in the metasomatic process. Corundum zoning (increased TiO<sub>2</sub> content) and increased Cr content in the rock as well as in the corundum indicate a close connection to the surrounding ultrabasic rocks.

**Key words:** topaz-andalusite-corundum rocks, blackwall, rodingites, ultramafite, Western Carpathians

Obdrženo: 1. 12. 2017; přijato: 10. 7. 2018

### Úvod

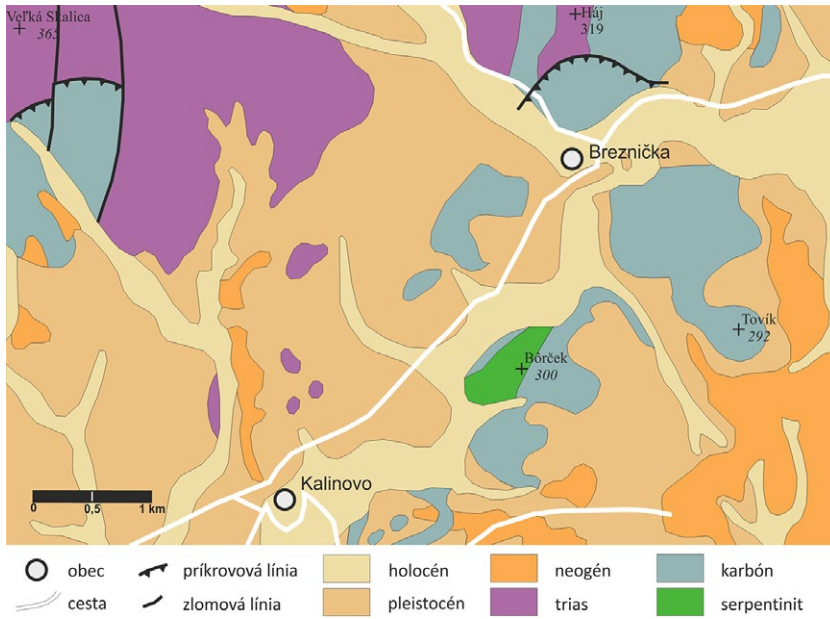
Pri štúdiu rodingitov pri ultrabázickom telese Breznička sme našli špecifický typ hornín s obsahom Al minerálov. Tieto horniny vznikli pravdepodobne počas procesov rodingitizácie. Označenie rodingit prvýkrát použili Bell et al. (1911) pre horniny, ktoré vystupovali v exokontakte serpentinizovaného peridotitového telesa. Najmä v minulosti existovali aj rôzne, v podstate synonymné označenia hornín, zahrňovaných do skupiny rodingitov. Najčastejšie sa používali označenia: granáticko-vesuvianitové rohovce, granátizované gabrá, ofiosferity, skarny, kontaktné-metasomatické silikátovo-vápenaté rohovce a podobne (Spišiak, Hovorka 2005). Základnou charakteristikou rodingitov je vysoký obsah Ca v hornine. Predstavy na genézu rodingitov (hlavne na zdroj Ca) sa rôznia. Pri serpentinizácii peridotitov dochádza k uvoľňovaniu, resp. prínosu niektorých katiónov. Migrujúce katióny (najmä Ca) spôsobujú vznik novej minerálnej asociácie (Ca-pyroxén, Ca-granát, vesuvianit, klinozoisit ai.) a to na úkor telies ultramafických hornín, ale aj sedimentov lokalizovaných na styku s ultrabázickým telesom. Mocnosť telies novovzniknutých hornín - rodingitov - je variabilná. Spravidla však nepresahuje niekoľko metrov (Hovorka et al. 1985). Intenzita metasomatickej premeny pôvodnej horniny (eduktu) rodingitu od okraja ich telies smerom do ich stredov často pozvoľne klesá. Často sa okolo alterovaných serpentinitov vytvára okrajová zóna (blackwall zone, Frost 1975; Takla et al. 2003 a ďalší) bohatá na klinochlór, flogopit a iné minerály. V takýchto zónach sa niekedy vyskytujú aj horniny s anomálne zvýšením obsahom Al, ktoré často obsahujú aj korund a ďalšie minerály (Jan et al. 1969; Rice 1983; Spišiak, Pitoňák 1992; Claesson 1999; Operta et al. 2003; Bucher et al. 2005; Li et al. 2014; Putiš et al. 2016; Yakymchuk, Szilas 2017 a ďalší).

### Geologická pozícia

Rodingity sú známe aj zo Západných Karpát. Zmienky o nich sú v prácach Hábera, Hovorku (1981) a Hovorku et al. (1985). Telesá rodingitov z Kalinova/Brezničky (obr. 1), vystupujú v antigoritických serpentinitoch v nadloží metasedimentov a metaeruptív karbónu (Zlocha et al. 1980). Teleso samotného metalultrabázika je prikrývané sedimentami transgresívneho neogénu. Pre serpentinitové teleso je charakteristická vedúca úloha antigoritu (ako protiklad dominujúceho lizarditu a chryzotilu v telesách v gemeriku) s premenlivým zastúpením mastenca, klinochlóru a tremolitu (Zlocha et al. 1980; Hovorka et al. 1993). Rodingity s objemom niekoľkých m<sup>3</sup> tvoria uzavreté bloky v serpentinite. Ich kontakt so serpentinitom je ostrý, často tektonický a pozorovaná bola aj 1 - 5 cm hrubá okrajová zóna bohatá na chlorit (Hovorka et al. 1985). Okrem typických rodingitov zložených hlavne z klinopyroxénu, vesuvianitu, chloritu, serpentínových minerálov, karbonátov a rôznych typov hydratovaných almandínových a grosulárových granátov (často so zvýšenými obsahmi TiO<sub>2</sub>; do 15 hm. %), sme našli aj horniny špecifického chemického zloženia s vysokým obsahom Al a tomu odpovedajúcim minerálnym zložením (korund, andaluzit, topás).

### Metodika

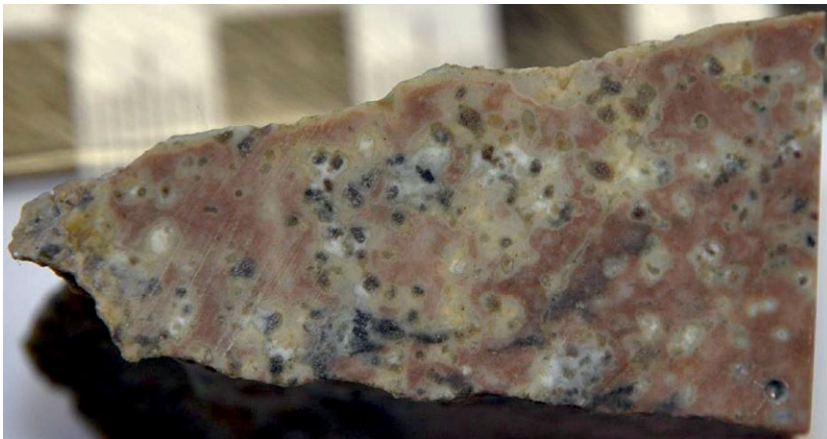
Chemické zloženie Al fáz sa študovalo na elektrónovom mikroanalýzátore JEOL JXA 8530FE na Ústave vied o Zemi SAV v Banskej Bystrici. Vzorky sa študovali pri urýchľovacom napätí 15 kV a prúde 20 nA. Priemer elektrónového lúča sa pohyboval v rozsahu 2 - 5 µm. Použila sa ZAF korekcia. Pre meranie boli použité nasledovné štandardy (rtg. línie) : Ca(Kα) - diopsid, K (Kα) - ortoklas, F (Kα) - fluorit, Na (Kα) - albit, Mg (Kα) - diopsid, Al (Kα)



- albit, Si (Ka) - ortoklas, Fe (Ka) - hematit, Mn (Ka) - rodonit, Cr (Ka) -  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , Ti (Ka) - rutil.

Pre potvrdenie prítomnosti andaluzitu, topásu, oxyhydroxidov Al, tobelitu a kaolinitu sme využili Ramonovu spektroskopiu a RTG difrakciu; (Dr. Milovská a Dr. Biroň, UVZ SAV Banská Bystrica).

**Obr. 1** Geologická mapa širšieho okolia Kalinova - Brezničky. Geologická mapa Slovenska M 1 : 50 000 [online]. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2013.



**Obr. 2** Makrofotografia topásovo-andaluzitovo-korundovej horniny.

**Tabuľka 1** Vybrané analýzy korundov (v hm. %)

č. anal.	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.01	0.00	0.06	0.00	0.11	0.07	0.00
TiO <sub>2</sub>	2.09	0.00	2.01	1.94	0.10	2.77	2.80	0.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	96.85	98.94	96.74	97.01	100.74	96.85	96.06	100.53
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11	0.07	0.16	0.10	0.00	0.00	0.04	0.10
FeO <sup>+</sup>	0.05	0.07	0.06	0.06	0.08	0.15	0.13	0.03
MnO	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00
CaO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.01
MgO	0.01	0.00	0.04	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Total	99.15	99.14	99.02	99.22	100.94	99.99	99.14	100.79
Vzorec výpočet na 3 kyslíky								
Si	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000
Ti	0.027	0.000	0.026	0.025	0.001	0.036	0.036	0.001
Al	1.961	1.998	1.962	1.963	1.997	1.947	1.948	1.996
Fe <sup>2+</sup>	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Na	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001

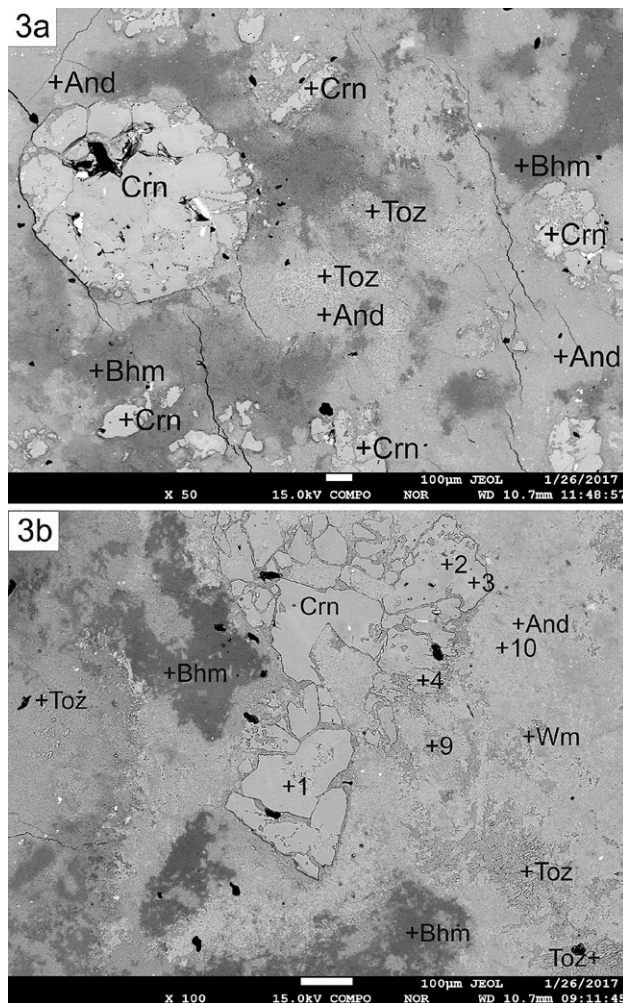
FeO<sup>+</sup> = celkové Fe ako FeO

## Mineralógia

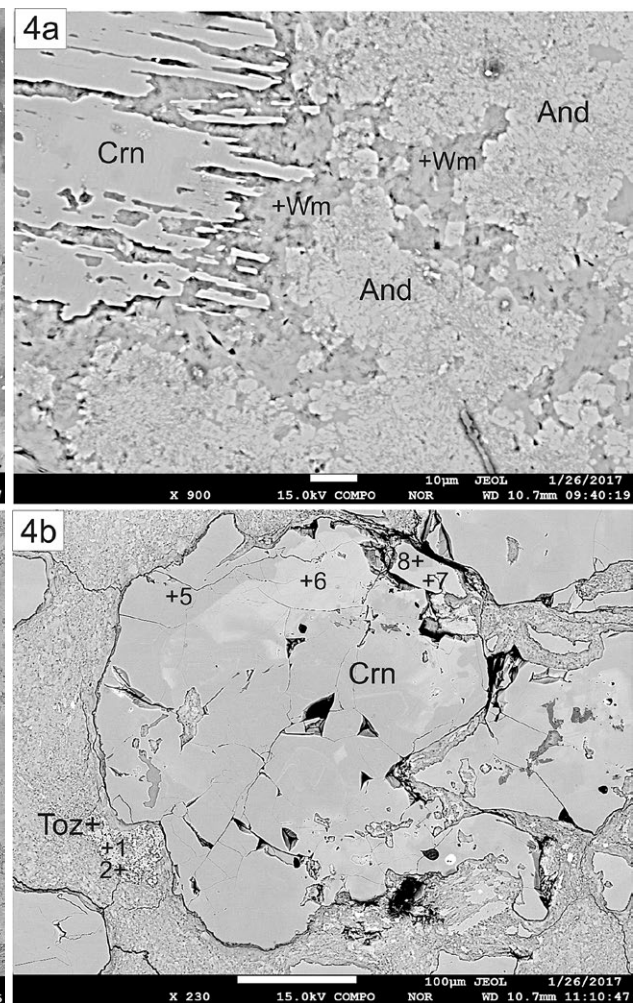
Študovaná hornina sa vyznačuje značnou tvrdosťou, vďaka jej minerálnemu zloženiu je príprava leštených preparátov pre mikroskopické štúdium pomerne náročná. Topásovo-andaluzitovo-korundová hornina má očkatú textúru a nehomogénne zloženie pričom sa striedajú svetlé a červenohnedé časti (obr. 2). Tieto sa odrážajú aj v mikroskopickom zložení, kde sa striedajú polohy bohaté na korund a topás s polohami bohatými na andaluzit a svetlú slúdu s obsahom  $\text{NH}_4$  (obr. 3a, b). Podstatne zastúpenou zložkou sú tiež oxyhydroxidy Al (böhmit) a zriedkavejšie aj kaolinit. Modálne najviac zastúpeným minerálom je korund. Korund tvorí xenomorfné, respektíve lokálne allotriomorfné zrná, nezriedka dosahujúce veľkosť nad 1 mm. Korundy sú často rozpukané, respektíve majú „rozstrapkané“ okraje (obr. 4a). Charakteristickým znakom študovaných korundov je ich nehomogénne zloženie - zonalita, pričom pre svetlejšie zóny je charakteristický zvýšený obsah  $\text{TiO}_2$  (do 2.8 hm. %) (obr. 4b, tab. 1). Zaujímavé sú zvýšené obsahy  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  v korundoch, ktoré môžu poukazovať na úzky genetický vzťah korundových hornín k okolitým ultrabázickým horninám. Ďalším podstatne zastúpeným minerálom je andaluzit. Tento je ne-

pravidelne distribuovaný v hornine, respektíve tvorí spolu so svetlou slúdou samostatné polohy. (obr. 5a, tab. 2). Zloženie andaluzitov zodpovedá tabuľkovým hodnotám (Deer et al. 1997). Z ďalších Al-minerálov je prítomný topás. Tento je takmer úplne alterovaný a zachovali sa po ňom len relikt (obr. 5b, 6a, b). Pôvodné výrastlice topásu dosahovali veľkosť okolo 0.5 mm. Okolie topásu je väčšinou vyplnené svetlou slúdou s obsahom  $\text{NH}_4$  (tobelit?, obr. 5a). Vzájomný pomer hydroxylovej skupiny a fluóru v topásoch je posunutý výrazne v prospech fluóru (obsah F do 17.5 hm. %). Prítomnosť vyššie uvedených minerálov bola potvrdená Ramanovou spektroskopiou a RTG difrakciou (obr. 7).

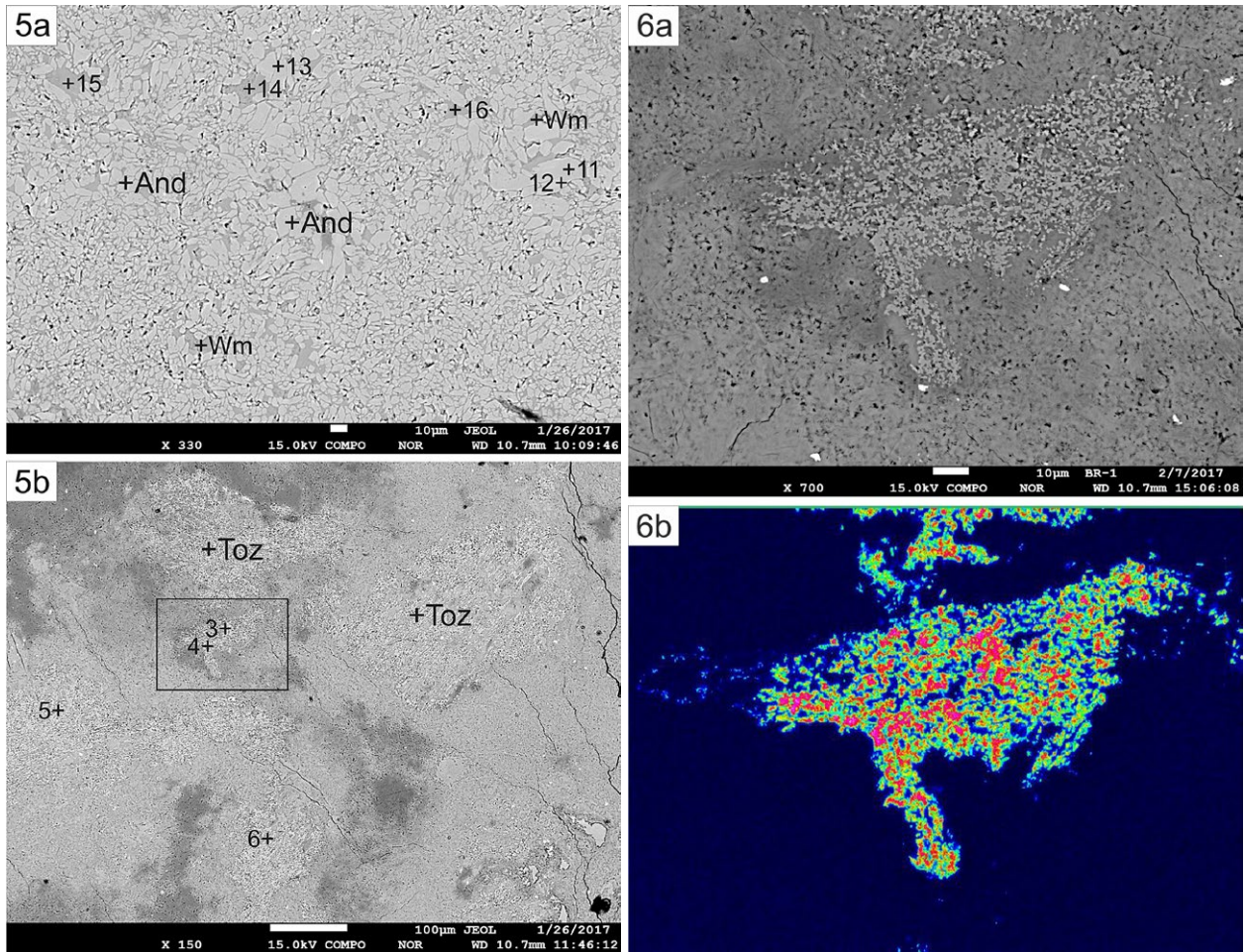
Chemické zloženie horniny je anomálne a v podstate je len odrazom jej minerálneho zloženia. Charakteristické sú vysoké obsahy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (nad 55 hm. %). V porovnaní s bežnými rodingitmi je hornina silne deficitná na CaO, MgO a FeO (tab. 4). Mierne zvýšené obsahy  $\text{TiO}_2$  a  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  sú pravdepodobne spojené so zvýšenými obsahmi týchto prvkov v okolitých ultrabázických horninách. Pre ultrabázické teleso z Brezňičky je charakteristická prítomnosť niekoľko mm veľkých kryštálov ilmenitu, čo sa odráža vo zvýšenom obsahu Ti v hornine tohoto telesa (Hovorka et al. 1985). Normalizovaná krivka obsahov prvkov vzác-



Obr. 3a, b Štruktúra topásovo-andaluzitovo-korundovej horniny v odrazených elektrónoch (BSE). Toz - topás, And - andaluzit, Crn - korund, Bhm - böhmit, dispór, Wm - svetlá slúda; čísla na obrázku 3b odpovedajú číslam analýz v tabuľke 1.



Obr. 4a Okraj korundu v odrazených elektrónoch (BSE); Crn - korund, And - andaluzit, Wm - svetlá slúda; 4b Zonálny korund v odrazených elektrónoch; Crn - korund, Toz - topás; čísla na obrázkoch odpovedajú číslam analýz v tabuľke 1 a 3.



**Obr. 5a** Poloha andaluzit - svetlá slúda v odrazených elektrónoch (BSE); And - andaluzit, Wm - svetlá slúda; čísla na obrázku odpovedajú číslam analýz v tabuľke 2; **5b** Alterovaný topás v odrazených elektrónoch, čísla na obrázku odpovedajú číslam analýz v tabuľke 3.

**Obr. 6a** Detail alterovaného topásu (obdĺžnik na obr. 5b) v odrazených elektrónoch (BSE); **5b** Mapa distribúcie fluóru v topáse; vysoké obsahy - červená farba, nízke obsahy - čierna farba.

**Tabuľka 2** Vybrané analýzy andaluzitov a svetlých slúď (v hm. %)

č. anal.	10	11	12	13	9	14	15	16
Obrázok	3b	5a	5a	5a	3b	5a	5a	5a
Minerál	And	And	And	And	WM	WM	WM	WM
SiO <sub>2</sub>	36.62	36.24	36.68	36.43	52.62	50.87	49.86	52.11
TiO <sub>2</sub>	0.30	0.00	0.27	0.13	0.00	0.14	0.00	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60.50	63.51	60.67	63.82	35.04	38.43	39.18	35.79
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00
FeO <sup>+</sup>	0.10	0.10	1.64	0.09	0.05	0.04	0.08	0.07
MnO	0.00	0.04	0.00	0.04	0.08	0.00	0.08	0.02
CaO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.05	0.02	0.04	0.37
MgO	1.46	0.04	0.10	0.03	0.19	0.07	0.10	0.31
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.02	0.01	0.00	0.09	0.00	0.01	0.07
K <sub>2</sub> O	0.06	0.01	0.00	0.03	1.76	1.62	1.53	2.02
Total	99.08	100.04	99.42	100.58	89.86	91.18	90.95	90.81
Vzorec výpočet na 20 kyslíkov				Vzorec výpočet na 20 kyslíkov				
Si	4.003	3.918	4.019	3.916	3.428	3.271	3.221	3.374
Ti	0.025	0.000	0.022	0.010	1.000	0.007	0.000	0.003
Al	7.795	8.094	7.834	8.085	2.691	2.912	2.983	2.732
Fe <sup>2+</sup>	0.009	0.009	0.150	0.008	0.003	0.002	0.004	0.004
Mn	0.000	0.004	0.000	0.004	0.004	0.000	0.004	0.001
Mg	0.237	0.006	0.017	0.005	0.019	0.006	0.010	0.030
Ca	0.001	0.001	0.000	0.000	0.003	0.001	0.002	0.026
Na	0.000	0.003	0.001	0.000	0.011	0.000	0.001	0.009
K	0.008	0.002	0.000	0.004	0.146	0.132	0.126	0.167

FeO<sup>+</sup> = celkové Fe ako FeO

nych zemín (REE) v študovaných horninách (Br-1) poukazuje na mierne obohatenie ľahkými vzácnymi zeminami a nízky obsah ťažkých vzácných zemín (HREE) (obr. 8). V porovnaní s klasickými rodingitmi z tejto oblasti (vzorka Br-6) je možné pozorovať ochudobnenie o HREE. Obe dva typy rodingitov majú negatívnu Eu anomáliu. Publikované analýzy REE rodingitov z rôznych lokalít vykazujú relatívne malú variabilitu a normalizované krivky obsahov REE sú podobné krivkám v primárnych ultrabázických, prípadne bázických horninách (Tsikouras et al. 2013).

z iných oblastí (Claeson 1999). Aj zvýšený obsah Ti a Cr v hornine, ale aj v korunde, poukazuje jej pôvod z ultrabázického telesa.

Vzájomný vzťah Al silikátov v topásovo-andaluzitovo-korundovej hornine na základe podrobnej mikroskopickej analýzy je nasledovný:

- Pôvodná minerálna asociácia bola pravdepodobne andaluzit - korund.
- Následnými procesmi (za prítomnosti fluíd bohatých na H<sub>2</sub>O a fluór) bol andaluzit v niektorých častiach

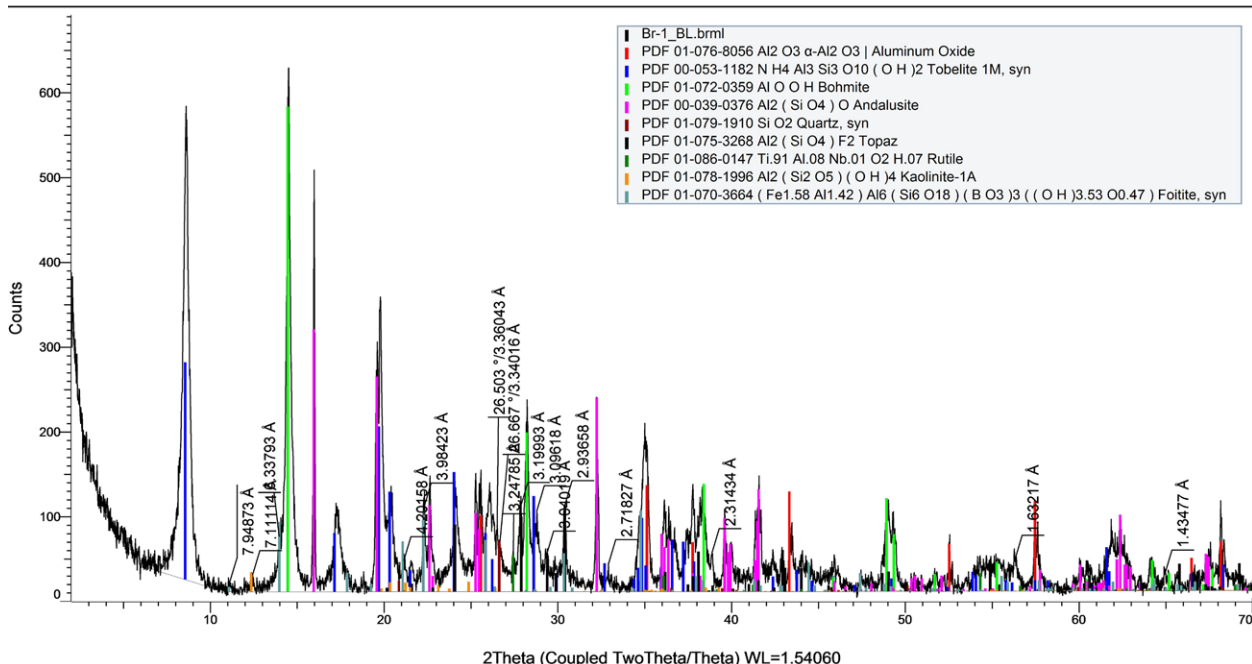
## Diskusia

Študovaná topásovo-andaluzitovo-korundová hornina sa nachádza v blízkom okolí ultrabázického telesa (blackwall zóna). Okolité horniny (rodingity) podľahli Ca metasomatóze a tomu odpovedá aj ich minerálne zloženie: klinopyroxén, vesuvianit, klinochlór, serpentinové minerály, karbonáty a rôzne typy hydratovaných almandínových a grosulárových granátov. Jeho pôvod je spätý s okolitými ultrabázickými horninami s možným prínosom aj z okolitých ílovitých sedimentov (Austrheim, Prestvik 2008). Pre topásovo-andaluzitovo-korundovú horninu je dominantný obsah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nad 55 hm. %. Obsah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> je v ultrabázickom telese z Brezničky najvyšší zo všetkých dokumentovaných telies ultrabazitov v Západných Karpatoch (Hovorka et al. 1985). Je to pravdepodobne odraz ich primárneho minerálneho zloženia (vysoký obsah pyroxénov). Podobné minerálne zloženie bolo opísané aj

Tabuľka 3 Vybrané analýzy topásov (v hm. %)

	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	31.93	32.09	32.80	32.56	33.26	33.04
TiO <sub>2</sub>	0.36	0.20	0.15	0.06	0.12	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55.85	55.85	56.40	55.75	55.67	56.76
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.04	0.03	0.07	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.08	0.12	0.04	0.07	0.00
MnO	0.03	0.00	0.04	0.03	0.02	0.03
MgO	0.12	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00
H <sub>2</sub> O calc.	3.42	1.71	1.65	1.86	1.71	1.63
F	13.45	17.05	17.48	16.81	17.30	17.62
O=F	-5.66	-7.18	-7.36	-7.08	-7.28	-7.42
Suma/Total	99.50	99.80	101.32	100.08	101.00	101.74
Vzorec prepočet na 4O + 2(OH+F)						
Si	0.977	0.983	0.989	0.993	1.006	0.992
Ti	0.008	0.005	0.003	0.001	0.003	0.002
Al	2.015	2.015	2.005	2.004	1.984	2.008
Cr	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.000
Fe	0.000	0.002	0.003	0.001	0.002	0.000
Mn	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001
Mg	0.005	0.000	0.000	0.001	0.003	0.000
Suma/Total	3.006	3.005	3.002	3.002	3.001	3.003
OH	0.698	0.349	0.332	0.378	0.346	0.327
F	1.302	1.651	1.668	1.622	1.654	1.673
Suma/Total	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

## Br-1 Spisiak backloaded random (Coupled TwoTheta/Theta)



Obr. 7 RTG difrakčný záznam vzorky Br-1.

Tabuľka 4 Chemické zloženie hornín

sample	BR-1	BR-6	sample	BR-1	BR-6
SiO <sub>2</sub>	33.62	23.97	TOT/C	0.05	4.84
TiO <sub>2</sub>	0.36	0.35	TOT/S	<0.02	1.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55.49	2.32	Sc	27	10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	0.19	6.35	Ba	43	14
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.042	0.074	Be	<1	<1
CaO	0.05	26.23	Co	0.8	21.4
MnO	<0.01	0.05	Cs	50.4	<0.1
MgO	0.50	17.79	Ga	19.9	0.9
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.02	Hf	0.5	1.9
K <sub>2</sub> O	1.1	<0.01	Nb	6.9	6.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.10	Rb	47.8	0.3
LOI	8.5	22.2	Sn	15	<1
Total	99.91	99.50	Sr	15	663.1
			Ta	1.0	0.4
			Th	16.9	7.1
			U	1.4	3.4
			V	346	60
			W	2.4	<0.5
			Zr	15.1	66.4
			La	11.9	4.5
			Ce	21.5	14.8
			Pr	2.21	2.61
			Nd	8.3	13.8
			Sm	1.17	3.45
			Eu	0.18	0.52
			Gd	0.82	3.4
			Tb	0.09	0.52
			Dy	0.45	3.29
			Ho	0.07	0.6
			Er	0.21	1.78
			Tm	0.04	0.25
			Yb	0.3	1.65
			Lu	0.04	0.24
			Y	2	17.8
			Ni	<20	355

premenený na topás: Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> + H<sub>2</sub>O + F = Al<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>(OH,F)<sub>2</sub>; zloženie topásov odpovedá topásom z podobných hornín (Chaudry, Howie 1970).

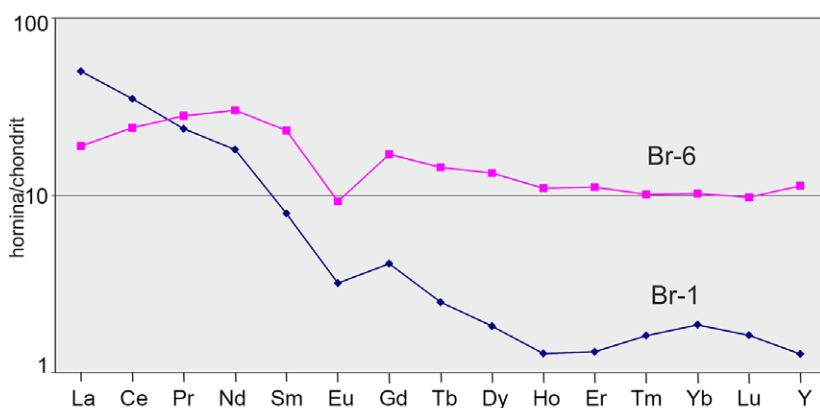
- V ďalšom štádiu topás bol zatlačaný oxihydroxidmi Al (böhmit), svetlou sľudou a prípadne až kaolinitom.
- Musíme však konštatovať, že vzhľadom na vysokú premenu topásu, ale čiastočne aj korundu (zároveň relatívne zachovaný andaluzit), mohla byť reakcia premeny andaluzitu na topás časovo veľmi blízka vzniku primárnej asociácie korund-andaluzit. Všetky tieto reakcie boli termodynamicky doložené (Barton 1982, Putnis 2009) a boli pozorované aj v prírode (Jan et al. 1969; Chaudry, Howie 1970). Teploty a tlaky získané z asociujúcich rodingitov poukazujú na vznik asociácie pri relatívne nízkych tlakoch a teplotách do 500 °C (Frost 1975; Koller, Richter 1984; Hatzipanagiotou et al. 2003; Bucher et al. 2005 a ďalší).

### Záver

- V okrajovej metasomatickej zóne („blackwall“) ultrabázického telesca pri Brezničke sme našli horninu veľmi špecifického zloženia: topás - andaluzit - korund.
- Korund je silne porušený a je zónálny, pričom zonalitu spôsobujú zvýšené koncentrácie Ti.
- Andaluzit je nepravidelne distribuovaný v hornine a lokálne tvorí spolu so svetlou sľudou anchimonominerálne polohy.
- Topás je silne alterovaný.
- Na základe chemického zloženia horniny a niektorých minerálov (hlavne vysoké obsahy Ti a Cr v korunde) predpokladáme, že hornina vznikla lokálnou akumuláciou Al minerálov, pričom hlavným zdrojom vysokých obsahov Al mohlo byť vlastné ultrabázikum a predpokladáme, že mohla vzniknúť časovo spolu s okolnými rodingitmi.

### PodĎakovanie

Práca vznikla za podpory grantov VEGA 1/0650/15, 1/0237 a APVV-15-0050. Ďakujeme Dr. Milovskej za analýzy Ramanovou spektroskopiou a Dr. Biroňovi za RTG difrakciu (UVZ SAV Banská Bystrica). Ďakujeme Pavlovi Uherovi a neznámemu recenzentovi za pripomienky, ktoré vylepšili text práce.



Obr. 8 Normalizovaná krivka (McDonough and Sun 1995) distribúcie vzácnych zemín v študovaných horninách, údaje v tabuľke 4.

## Literatúra

- AUSTRHEIM H, PRESTVIK T (2008) Rodingitization and hydration of the oceanic lithosphere as developed in the Leka ophiolite, north-central Norway. *Lithos* 104: 177-198
- BARTON M D (1982) The thermodynamic properties of topaz solid solutions and some petrologic application. *Am Mineral* 67: 956-974
- BUCHER K, DE CAPITANI CH, GRAPES R (2005) The development of a margarite-corundum blackwall by metasomatic alteration of slice of mica schist in ultramafic rock, Kvesj en, Norwegian Caledonides. *Can Mineral* 43: 129-156
- CLAESON D (1999) Corundum-bearing ultramafic veins in the Rymmen gabbro, souther Sweden: isochemical mineral alteration. *N Jb Miner Abh* 175(1): 1-27
- CHAUDHRY MN, HOWIE RA (1970) Topaz from the Meldon aplite, Devonshire. *Mineral Mag* 37(290): 717-720
- DEER WA, HOWIE A, ZUSSMAN J (1997) Rock - forming minerals, orthosilicates: feldspar. Geological Society London Vol 1a second edition: 919 p
- FROST BR (1975) R Contact Metamorphism of Serpentine, Chloritic Blackwall and Rodingite at Paddy-Go-Easy Pass, Central Cascades, Washington. *J Petrol* 16(1): 272-313
- HATZIPANAGIOTOU K, TSIKOURAS B, MIGIROS G, GARTZOS E, SERELIS K (2003) Origin of rodingites in ultramafic rocks from Lesbos Island (NE Aegean, Greece). *Ofioliti* 28(1): 13-23
- HOVORKA D, DUBIKOVA K, GRETHOFFEROVA H, SAMAJOVA E, TURAN J (1983) Serpentine-group minerals of the Western Carpathians ultramafics. II - Bodies of the pre-Mesozoic metamorphic complexes. *Mineral Slov* 15(1): 23-47
- HOVORKA D, IVAN P, JAROS J, KRATOCHVIL M, REICHWALDER P, ROJKOVIC I, SPIIAK J, TURANOVA L (1985) Ultramafic rocks of the Western Carpathians, Czechoslovakia. *Geol ustav D tura Bratislava*, 1-258
- JAN M G, KEMPE DRC, TAHIRKHELI R A K (1969) The geology of the corundum-bearing and related rocks around Timurgada, Dir. *Geol Bull Univ Peshawar* 4: 83-89
- KOLLER F, RICHTER W (1984) Die metarodingite der Habachformation, Hohe Tauren (sterreich). *Tschermaks Min Petr Mitt* 33: 49-66
- LI XH, PUTIS M, YANG YH, KOPPA M, DYDA M (2014) Accretionary wedge harzburgite serpentinization and rodingitization constrained by perovskite U/Pb SIMS age, trace elements and Sm/Nd isotopes: Case study from the Western Carpathians, Slovakia. *Lithos* 205: 1-14
- OPERTA M, PAMIC J, BALEN,D, TROPPER P (2003) Corundum-bearing amphibolites from the metamorphic basement of the Krivaja-Konjuh ultramafic Massif (Dinaride ophiolite zone, Bosnia). *Mineral Petrol* 77: 287-295
- PUTIS M, YANG YH, VACULOVIC T, KOPPA M, LI XH, UHER P (2016) Perovskite, reaction product of a harzburgite with Jurassic - Cretaceous accretionary wedge fluids (Western Carpathians, Slovakia): evidence from the whole-rock and mineral trace element data. *Geol Carp* 67(2): 133-146
- PUTNIS A (2009) Mineral replacement reactions. *Rev Mineral Geochem* 70: 87-124
- RICE MR (1983) Metamorphism of Rodingites: Part I. Phase relations in a portion of the system CaO - MgO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> - CO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O. *Am J Sci* 283-A: 121-150
- SPIIAK J, PITONAK P (1992) Korundovo-flogopitove horniny z krytalinika Nizkych Tatier. *Mineral Slov* 24(5-6): 393-398
- SPIIAK J, PITONAK P (2005) Rodingity - zriedkave horniny. *Miner Slov* 37(4): 579-582
- TAKLA MA, TROMMSDORFF V, BASTA FF, SUROUR AA (2003) Margarite in ultramafic alteration zones (Blackwall): A new occurrence in Barramiya Area, Egypt. *Eur J Mineral* 15: 991-999
- TSIKOURAS B, KAPITI S, HATZIPANAGIOTOU K (2013) Evolution of rodingites along stratigraphic depth in the Ili and Kallidromon ophiolites (Central Greece). *Lithos* 175-176: 16-29
- ZLOCHA J, RUSINOVA J, VALKO P (1980) Zaverena sprava a vypoet zasob Kalinovo-VP chryzotilovy azbest. MS, Geofond Bratislava 1-147
- YAKYMCHUK CH, SZILAS K (2017) Corundum formation by metasomatic reaction in Archean metapelite, SW Greenland: Exploration vectors for ruby deposits within high-grade greenstone belts. *Geoscience Frontiers Beijing* 1-24