

# Mineralogická charakteristika Mg skarnu z lokality Hodruša-Hámre - Včelín (Štiavnické vrchy, Slovenská republika)

## Mineralogy of Mg skarn body from the Hodruša-Hámre - Včelín (Štiavnické vrchy Mts., Slovak Republic)

PETER RUŽIČKA\*, MARTIN ŠTEVKO A PETER BAČÍK

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

RUŽIČKA P., ŠTEVKO M., BAČÍK P. (2015) Mineralogická charakteristika Mg skarnu z lokality Hodruša-Hámre - Včelín. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 23, 1, 92-102. ISSN 1211-0329.*

### Abstract

The body of Mg skarn from Včelín - south near Hodruša-Hámre village (Slovak Republic) is developed at the contact of Neogene granodiorite with the Middle to Upper Triassic dolomitic limestone. Except of carbonates (dolomite, calcite) the most common minerals of Mg skarn, which were formed during the prograde stage are forsterite and spinel ( $\text{Fe}^{2+}$  0.06 - 0.12 *apfu* and  $\text{Fe}^{3+}$  0.10 - 0.28 *apfu*). Forsterite was initially present as euhedral crystals up to 3 cm, but later was significantly replaced by clinocllore and antigorite during the retrograde stage. Forsterite occurs only as microscopic relics compositionally close to the end-member formula. Spinel is a common mineral occurring as well-developed black octahedral crystals up to 1.5 cm long. Magnetite forms as fine-grained masses or euhedral crystals up to 1 cm in size. It shows elevated contents of Mg (up to 0.31 *apfu*) and Al (up to 0.16 *apfu*) and was most probably formed at retrograde stage of the Mg skarn evolution.

**Key words:** Mg skarn, spinel, forsterite, chemical composition, Včelín, Hodruša-Hámre, Štiavnické vrchy Mts., Slovakia

Obdrženo: 22. 1. 2015; prijato: 22. 4. 2015

### Úvod

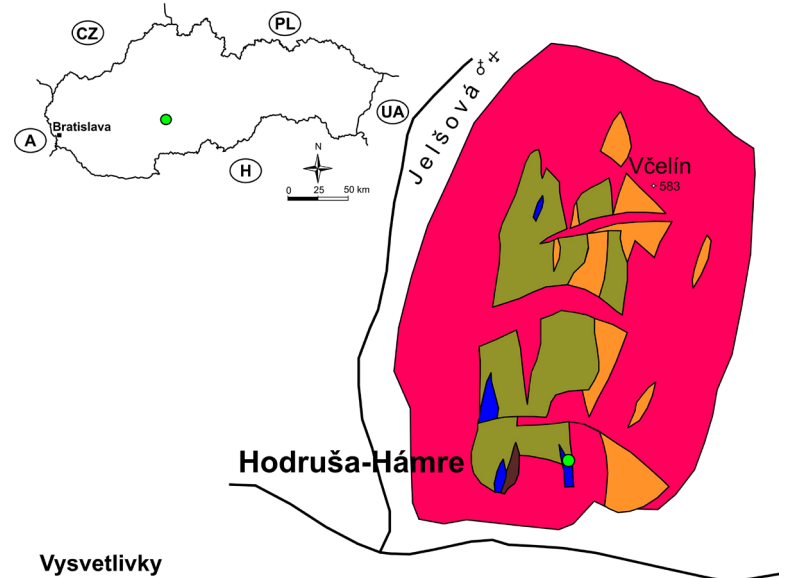
Horečnaté skarny sú metasomatické horniny, ktoré vznikajú na kontakte silikátovej magmatickej taveniny s karbonátovými horninami obohatenými Mg, ako sú dolomitické vápence a dolomity. V minerálnom zložení okrem karbonátovej zložky dominujú Ca-Mg-Fe silikáty. Horečnaté skarny môžu vznikáť prográdne na kontakte s magmatickými fluidami alebo retrográdne v postmagmatickom štádiu (Zharikov et al. 2007).

Tento príspevok je zameraný na mineralogickú charakteristiku Mg skarnu z lokality Včelín - juh situovanej v obci Hodruša-Hámre, ktorý bol intenzívne serpentinizovaný, čo spôsobilo len reliktné zachovanie pôvodne prevládajúceho forsteritu. Skúmaná lokalita Mg skarnu Včelín - juh sa nachádza severovýchodne od úpravne rúd v Hodruši-Hámroch, cca 400 m na JV od výskytu Ca skarnu Včelín - západ, na južnom svahu kóty Včelín (583 m n. m.) v Štiavnických vrchoch (obr. 1). Lokalita je prístupná asfaltovou cestou cez dolinu Jelšová, z ktorej sa odbočuje na lesnú cestu zjazdnú len terénymi vozidlami. Výskyt bol v minulosti odkrytý krátkou štôľňou a povrchovou dobývkou (obr. 2). V rámci Štiavnických vrchov ide o významný výskyt Mg skarnov s výrazným zastúpením spinelu. Napriek tejto skutočnosti, mineralógii lokality bola doteraz venovaná len malá pozornosť (napr. Zábranský 1969b; Rajnoha et al. 1991).

### Geologická stavba a vývoj skarnovej mineralizácie

Skúmané územie tvorí súčasť štiavnického stratovulkánu, ktorého vývoj pozostáva z piatich hlavných etáp formujúcich sa v časovom horizonte od 16.4 do 10.5 mil. rokov (Konečný et al. 1998a, b). Evolúcia štiavnického stratovulkánu bola spojená so vznikom troch hlavných štruktúrnych jednotiek: 1. spodná stratovulkanická stavba (*báden*); 2. výplň štiavnickej kaldery (*vrchný báden - spodný sarmat*); 3. vrchná stratovulkanická stavba (*sarmat*). Pre vznik skarnovej mineralizácie bola rozhodujúca 3. etapa vývoja štiavnického stratovulkánu, ktorá prebiehala v časovom intervale 15.5 - 14.5 miliónov rokov, kedy sa vyplňala štiavnická kaldera prevažne granodioritmi a dioritmi hodruško-štiavnického intruzívneho komplexu (obr. 1). S umiestnením granodioritového plutónu sa na kontakte so stredno- až vrchnotriasovými dolomitickými vápencami sekvencie Veľkého boku veporika formovali Mg skarny (Konečný et al. 1998a, b). Najmladší intruzívny komplex Banisko zahŕňa dajky kremito-dioritových porfýrov. Intrúzia obnažená na povrchu pri Banskej Hodruši sa smerom na východ ponára pod vulkanické komplexy a pokračuje do štiavnickej oblasti (Konečný, Lexa 2001).

Intenzívne kontaktno-metasomatické procesy sú priestorovo limitované na miesta transportu tepelnej energie a fluidnej fázy, kde pôsobením granodioritovej intrúzie boli mezozoické horniny injektované (Konečný et al. 1998b; Lexa et al. 1999). Descendentný tok magmatických fluíd cez karbonáty bol rozhodujúcim momentom pri vývoji mineralizácie skarnov v hodrušskej oblasti. Únik železom



Obr. 1 Lokalizácia skúmaného územia v geologickej mape 1: 5000 (Vításek et al. 1996 - modifikoval P. Ružička).

**Vysvetlivky**

Hodrušsko-štiavnický intruzívny komplex (vrchný bádén - spodný sarmat)

- Diorit
- Granodiorit
- Ca a Mg skarny nečlenené

Paleozoicko-mezozoické horniny podložia vulkanitov

- Vápence a dolomity sekvencie Veľkého boku veporika (stredný až vrchný trias)
- Arkózové pieskovce
- Označenie lokality

Obr. 2 Terénna situácia na skúmanej lokalite: a) pohľad na prieskumnú štôľňu; b) detail na odkryté skarnové teleso južne od kóty Včelín. Foto P. Ružička, 2014.



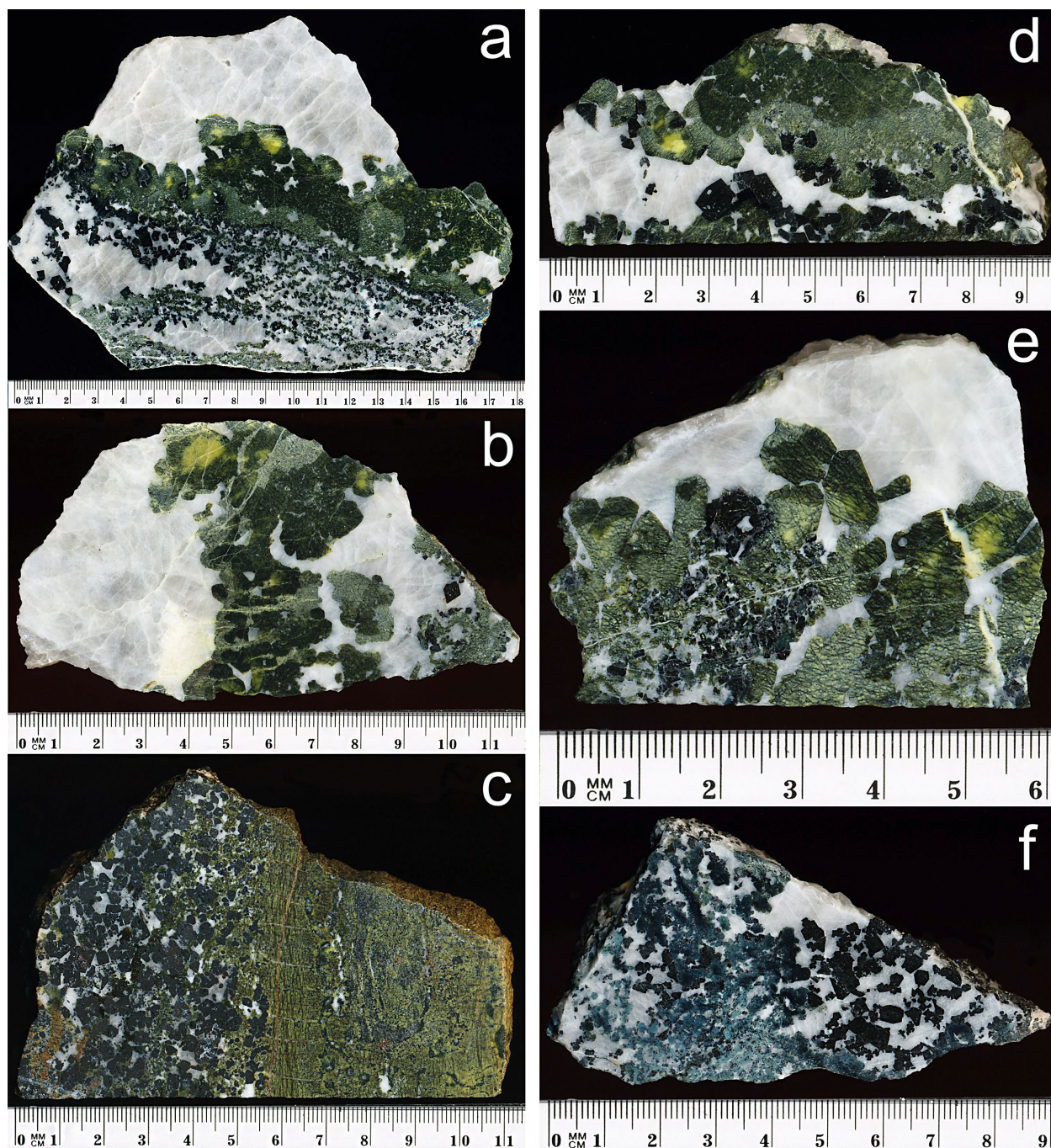
obohatených flúid do karbonátového prostredia viedol ku kryštalizácii magnetitu (Lexa et al. 2007).

Výskumom geologickej pozície a paragenetických pomerov skarnov v štiavnickom stratovulkáne sa zaoberal Zábranský (1969a, b). Geneticky staršie horečnaté skarny vznikli v magmatickom štádiu, zatiaľ čo mladšie vápenaté skarny (napr. lokalita Včelín - západ) v post-magmatickom štádiu štiavnického stratovulkánu. Minerálne zloženie skarnov je ovplyvnené podielom dolomitovej zložky v karbonátoch a intenzitou termálneho účinku intrúzie. Minerálnu asociáciu Mg skarnov najčastejšie tvorí forsterit, spinel, flogopit, minerály serpentínovej skupiny a mastenec (talk). Magnetitové zrudnenie skarnových telies sa nachádza vo forme masívnych, páskovaných alebo impregnačných rúd (Konečný et al. 1998b).

### Metodika výskumu

Zo vzoriek skarnov boli zhotovené leštené výbrusy, ktoré sa pozorovali v polarizačnom mikroskope Leica DM 2500 P na Katedre mineralógie a petrológie PriF UK v Bratislave. Prítomnosť antigoritu bola orientačne overená pomocou röntgenovej difrakčnej práškovej analýzy. Neorientovaný práškový preparát bol analyzovaný na difraktometri BRUKER D8 ADVANCE na Katedre mineralógie a petrológie PriF UK.

Chemické zloženie minerálov bolo kvantitatívne študované pomocou elektrónového mikroanalýzátora Cameca SX100 (Štátny geologický ústav Dionýza Štúra v Bratislave) za nasledujúcich podmienok: WDS analýza, urýchľovacie napätie 15 kV, vzorkový prúd 20 nA, prie-



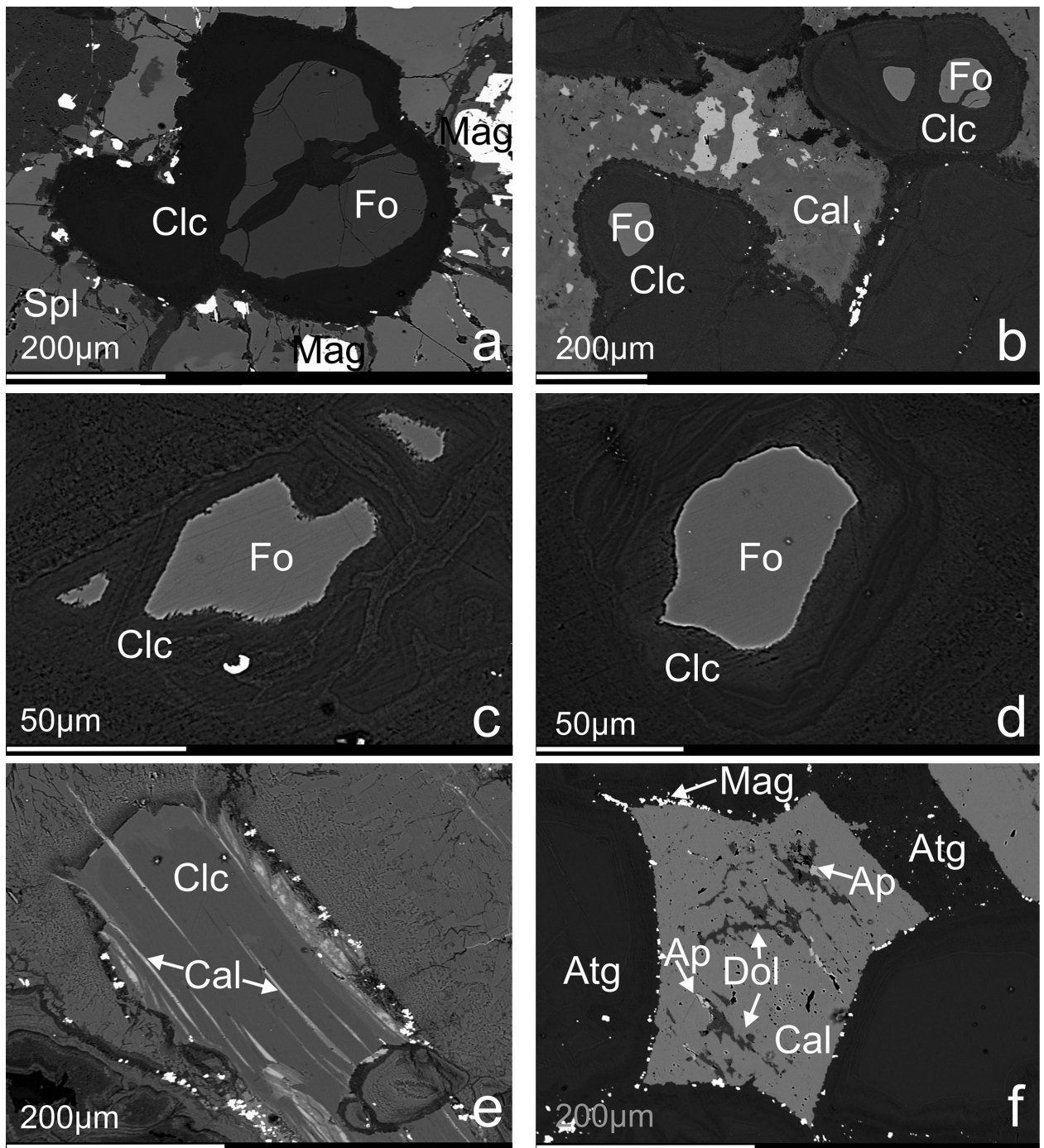
**Obr. 3** Prierezy vzoriek Mg skarnov. V sivobielych karbonátoch sú žltozelené škvry chloritizovaných a serpentinizovaných forsteritov doplnené čiernym spinelom a magnetitom. Scan P. Ružička.

mer elektrónového lúča 3 - 10  $\mu\text{m}$ , 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). Na bodové analýzy spinelu a magnetitu sa použili tieto štandardy: wollastonit (Si, Ca),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Al),  $\text{TiO}_2$  (Ti), fayalit (Fe), MgO (Mg), rodonit (Mn), Cr (Cr), V (V), Ni (Ni), willemite (Zn). Štandardy použité pri meraní karbonátov boli nasledujúce: MgO (Mg), wollastonit (Ca), fayalit (Fe),  $\text{SrTiO}_3$  (Sr) a rodonit (Mn). Mikroštruktúrne znaky fázových vzťahov jednotlivých minerálov sme pozorovali v späťne rozptýlených elektrónoch (BSE - back scattered electron). Skratky minerálov použité v texte článku vychádzajú z práce Whitney, Evans (2010).

## Výsledky

### Makroskopický opis vzoriek

Mg skarny z lokality Včelín - juh majú masívnu, škvritú až nepravidelnú páskovanú textúru vplyvom striedania sa serpentinizovaných častí so spinelmi (obr. 3). Hrubokryštalické agregáty rekryštalizovaného dolomitického vápenca sivobielej farby sú nepravidelne prestúpené žltozelenými čiastočne alebo úplne serpentinizovanými olivínmi. Serpentinizované pseudomorfozy kopírujú morfológiu pôvodných kryštálov forsteritu. Vzhľad horniny dopĺňajú, v niektorých prípadoch, pravidelne usmernené



Obr. 4 BSE obrázky fázových vzťahov medzi forsteritom (Fo) a klinochlórom (Clc). V detailoch (c-d) je viditeľná postupná redukcia forsteritu na úkor klinochlóru. Magnetit (Mag) vystupuje v karbonátom základe, v ktorom dominuje kalcit (Cal) s exolúciami dolomitu (Dol). Kalcit ojedinele tvorí jemné lamely v klinochlóre (e). Fluórapatit vystupuje ako akcesorický minerál v skarnoch v podobe inklúzií v karbonátoch (f). Foto I. Holický.

čierne kryštalické agregáty spinelu. Magnetit sa vyskytuje v podobe zhlukov idiomorfnych kryštálov až masívnych kompaktných zón čiernej farby.

### Charakteristika identifikovaných minerálov

#### Forsterit

Pôvodne časté, idiomorfne až hypidiomorfne obmedzené zrná forsteritu, ktorých rozmery dosahovali zriedkavo až 3 cm sú intenzívne chloritizované a serpentinizované. Jednotlivé zrná sú v podobe zhlukov a agregátov nepravidelne rozptýlené v karbonátovej zložke Mg skarnu,

často spolu so spinelom. Pôvodný forsterit je zachovaný len zriedkavo a vyskytuje sa v podobe relikto (obr. 4) v mase chloritov a antigoritu. Chemické zloženie forsteritu (tab. 1) je blízke teoretickému krajnému členu. Popri dominantnom Mg obsahuje len minoritné prímеси Fe<sup>2+</sup> (do 0.10 apfu).

#### Spinel

Patrí k bežným minerálom skúmaného Mg skarnu. Vytvára idiomorfne vyvinuté čierne oktaedrické kryštály, ktorých veľkosť štandardne dosahuje 5 - 7 mm a zriedkavo až 15 mm (obr. 5). Kryštály spinelu sú často zoskúpe-

Tabuľka 1 Reprezentatívne mikrosondové analýzy forsteritu z Mg skarnu Hodruša-Včelín

hm. %.	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	41.89	42.11	41.85	41.55	41.72	41.78	42.00	41.94
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
FeO	5.11	5.05	4.93	4.79	4.98	5.02	4.46	4.92
MnO	0.24	0.16	0.21	0.16	0.21	0.15	0.14	0.18
MgO	52.95	52.65	52.58	52.52	52.88	52.73	53.15	52.97
NiO	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
CaO	0.32	0.32	0.31	0.31	0.34	0.33	0.17	0.32
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.53	100.35	99.93	99.37	100.14	100.04	99.96	100.35
Prepočet na báze 3 katiónov								
Si	1.000	1.008	1.005	1.002	0.999	1.002	1.006	1.002
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.102	0.101	0.099	0.097	0.100	0.101	0.089	0.098
Mn	0.005	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004
Mg	1.884	1.878	1.883	1.889	1.888	1.885	1.897	1.887
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.008	0.008	0.008	0.008	0.009	0.008	0.004	0.008
Na	0.001	0.000	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
Total	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Fo	0.949	0.949	0.950	0.951	0.950	0.949	0.955	0.950



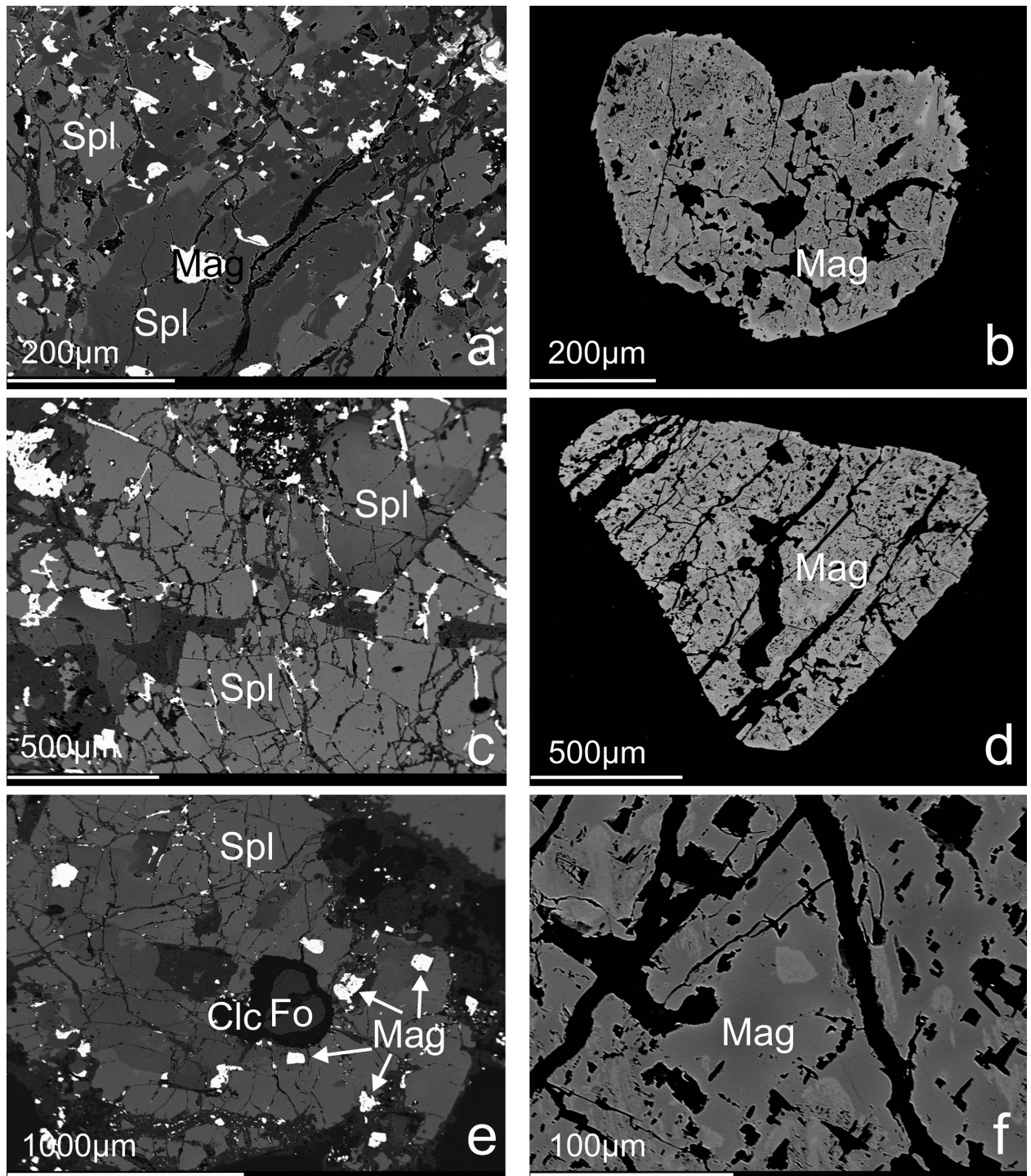
Obr. 5 Oktaedrický kryštál spinelu z Mg skarnu. Veľkosť kryštálu je 12 mm. Foto A. Russ.

né do usmernených agregátov a pruhov. Pomer  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  bol stanovený na základe ideálnej stechiometrie. Charakteristická je nepravidelná až sektorová kompozičná zonalita spinelu (obr. 6a, c, e), ktorá je vyvolaná variabilnými obsahmi Fe a Al. Chemické zloženie študovaného spinelu (tab. 2) sa vyznačuje mierne zvýšeným obsahom  $\text{Fe}^{2+}$  (0.06 až 0.12 *apfu*) a  $\text{Fe}^{3+}$  (0.10 až 0.28 *apfu*), čo poukazuje na vplyv substitúcie  $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}(\text{MgAl})_{-1}$ , ktorá má pomerne dobrú koreláciu (obr. 7a).

#### Magnetit

Tvorí impregnácie, zhluky a nepravidelné polohy zložené z idiomorfných až hypidiomorfných oktaedrických kryštálov do 1 cm, alebo jemnozrnné kompaktné agre-

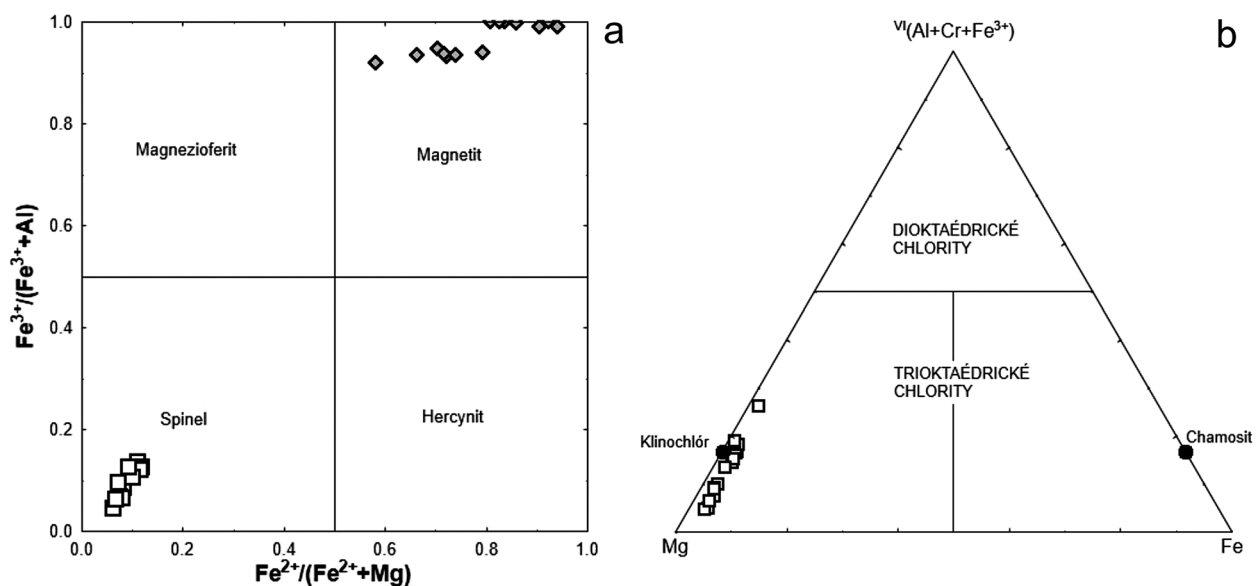
gáty do 10 cm. Jednotlivé zrná a kryštály magnetitu sú často zarastené v agregátoch spinelu (obr. 6b, d). V BSE bola pozorovaná mierna chemická nehomogenita (obr. 6f) magnetitu. Na základe chemického zloženia je možné vyčleniť dva typy magnetitu (tab. 3). Prvý typ je reprezentovaný magnetitom s nízkym obsahom spinelovej zložky (do 0.02 *apfu* Al), pričom obsah Mg dosahuje maximálne 0.19 *apfu*, čo poukazuje na prítomnosť magnezioferitovej zložky a substitúcie  $\text{MgFe}^{2+}_{-1}$ . Druhý typ má vyšší obsah Al (0.11 - 0.16 *apfu*), ale pomer Mg (0.19 - 0.31 *apfu*) je rovnako variabilný a nezávislý od Al ako v prípade nízkohlinitých magnetitov, takže aj v tomto prípade je variabilita zloženia výsledkom substitúcie  $\text{MgFe}^{2+}_{-1}$ . Oba typy magnetitu sú mierne obohatené o Ti (do 0.07 *apfu*), ktorý



Obr. 6 Chemická zonalita spinelu (a, c, e) a magnetitu (b, d, f) z Mg skarnu v BSE. Foto I. Holický.

**Tabuľka 2** Reprezentatívne mikrosondové analýzy spinelu z Mg skarnu. Prepočet koncových členov podľa Ferracutti et al. (2015). Skratky minerálov podľa Whitney, Evans 2010, okrem Mcr - magneziochromit

hm. %.	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.19	0.13	0.12	0.03	0.03	0.07	0.02	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57.08	58.57	58.54	62.13	64.22	60.39	64.20	66.04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.05	0.03	0.03	0.05	0.04	0.00	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.44	13.27	12.75	9.30	7.43	11.33	7.37	5.31
FeO	4.96	5.66	5.50	3.80	3.32	4.73	3.70	2.92
MnO	0.15	0.17	0.10	0.12	0.11	0.15	0.13	0.11
MgO	23.14	23.25	23.23	24.61	25.21	23.94	24.97	25.61
ZnO	0.23	0.22	0.23	0.26	0.28	0.25	0.27	0.29
NiO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
CaO	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01
Total	100.25	101.33	100.52	100.32	100.69	100.91	100.66	100.34
Prepočet na báze 3 katiónov								
Si <sup>4+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al <sup>3+</sup>	1.721	1.742	1.751	1.824	1.861	1.783	1.863	1.901
Cr <sup>3+</sup>	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001
Fe <sup>3+</sup>	0.278	0.257	0.248	0.175	0.139	0.216	0.137	0.098
Ti <sup>4+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Ti <sup>4+</sup>	0.004	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
Fe <sup>2+</sup>	0.106	0.115	0.112	0.078	0.067	0.097	0.075	0.059
Mn <sup>2+</sup>	0.003	0.004	0.002	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002
Mg <sup>2+</sup>	0.882	0.875	0.879	0.914	0.924	0.894	0.917	0.933
Zn <sup>2+</sup>	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Ni <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Spl (%)	76.10	76.15	76.90	83.35	86.01	79.66	85.35	88.69
Hc (%)	9.15	10.40	10.21	7.23	6.35	8.84	7.10	5.68
Glx (%)	0.28	0.31	0.19	0.23	0.21	0.29	0.25	0.21
Ghn (%)	0.38	0.36	0.38	0.44	0.48	0.41	0.46	0.50
Mfr (%)	12.29	11.01	10.69	7.69	6.35	9.55	6.25	4.55
Mag (%)	1.48	1.50	1.43	0.69	0.48	1.06	0.53	0.29
Jac (%)	0.05	0.05	0.03	0.03	0.01	0.04	0.01	0.01
Frk (%)	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03
Mcr (%)	0.04	0.04	0.03	0.03	0.05	0.04	0.00	0.04
Qnd (%)	0.16	0.11	0.10	0.03	0.03	0.06	0.01	0.01
Usp (%)	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

**Obr. 7** Klasifikačné diagramy identifikovaných minerálov v Mg skarnoch: a) zloženie spinelov (Lindsey 1991); b) zloženie chloritov (Zane, Weiss 1998).

sa koncentruje vo vysokohlinových zónach a Mn (do 0.02 *apfu*), ktorý je distribuovaný pomerne pravidelne.

### Klinochlór

Dominantne vytvára tmavozelené šupinkové až lúčovité agregáty, ktoré postupne nahrádzajú a intenzívne pseudomorfojú pôvodné kryštály a agregáty forsteritu rozptýlené v karbonátovej zložke Mg skarnu. Len výnimočne klinochlór vytvára aj samostatné agregáty (obr. 4). Klinochlór má nízkym obsahom Fe<sup>2+</sup> (do 0.16 *apfu*; tab. 4) a variabilným obsahom Al (obr. 7b) v oktaedrickej pozícii.

### Antigorit

Vytvára žltozelené agregáty, ktoré tvoria pseudomorfozy po forsterite (obr. 4f). Kryštalochemické vzorce antigoritu boli prepočítané na 14 aniónov (28 negatívnych nábojov), pričom vzorec antigoritu obsahuje dve vzorcové jednotky. Obsahuje mierne zvýšený podiel Fe<sup>2+</sup> (0.16 - 0.20 *apfu*, tab. 5), čo v zmysle práce Page (1968) poukazuje na prítomnosť antigoritu oproti chryzotilu a lizarditu, pre ktoré sú charakteristické nižšie obsahy železa. Antigorit bol potvrdený aj pomocou práškovej rtg. difrakcie. Porovnaním rtg. difrakčného záznamu s databázou PDF4+ bola jednoznačne preukázaná prítomnosť antigoritu, čo je zároveň aj v súlade s výsledkami Kušíka (1972).

**Tabuľka 3** Reprezentatívne mikrosondové analýzy magnetitu z Mg skarnu. Prepočet koncových členov podľa Ferracutti et al. (2015). Skratky minerálov podľa Whitney, Evans 2010, okrem Mcr - magneziochromit, Mcou - magneziocoulsonit, Cou - coulsonit

hm. %.	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	0.04	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.05	0.00
TiO <sub>2</sub>	2.2	0.16	0.03	2.18	0.08	2.48	0.12	1.93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.82	0.00	0.00	2.51	0.03	3.87	0.13	3.2
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.04	0.00	0.03	0.00	0.06	0.04	0.04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04	0.01	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	67.48	69.48	70.87	64.17	70.40	63.27	69.41	63.89
FeO	23.62	28.93	25.56	25.14	25.91	22.26	26.74	25.85
MnO	0.68	0.25	0.25	0.43	0.37	0.54	0.42	0.56
MgO	3.42	1.31	3.37	5.00	3.5	7.21	2.42	4.42
ZnO	0.11	0.02	0.00	0.03	0.00	0.03	0.03	0.06
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.05	0.03	0.10	0.06	0.09	0.02	0.03	0.03
Total	100.31	100.22	100.18	99.59	99.95	99.79	99.40	99.85
Prepočet na báze 3 katiónov								
Si <sup>4+</sup>	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000
Al <sup>3+</sup>	0.123	0.000	0.000	0.109	0.001	0.163	0.006	0.130
V <sup>3+</sup>	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001
Cr <sup>3+</sup>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
Fe <sup>3+</sup>	1.875	1.998	2.000	1.890	1.999	1.834	1.993	1.867
Ti <sup>4+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>B</i>	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Ti <sup>4+</sup>	0.056	0.005	0.001	0.060	0.002	0.067	0.003	0.053
Fe <sup>2+</sup>	0.729	0.912	0.799	0.650	0.811	0.532	0.844	0.685
Mn <sup>2+</sup>	0.021	0.008	0.008	0.013	0.012	0.016	0.014	0.017
Mg <sup>2+</sup>	0.188	0.074	0.188	0.273	0.171	0.384	0.137	0.241
Zn <sup>2+</sup>	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002
Ni <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca <sup>2+</sup>	0.002	0.001	0.004	0.002	0.004	0.001	0.001	0.001
<i>A</i>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Spl (%)	1.20	0.00	0.00	1.45	0.01	3.04	0.04	1.54
Hc (%)	4.62	0.00	0.00	4.07	0.05	5.26	0.25	5.04
Glx (%)	0.14	0.00	0.00	0.07	0.00	0.13	0.00	0.11
Ghn (%)	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Mfr (%)	18.23	7.39	18.87	23.57	17.11	31.70	13.63	20.76
Mag (%)	70.66	91.47	80.28	66.48	81.54	54.91	84.41	68.10
Jac (%)	2.06	0.80	0.80	1.15	1.18	1.35	1.34	1.50
Frk (%)	0.29	0.05	0.00	0.07	0.00	0.06	0.09	0.14
Mcr (%)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01
Chr (%)	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04	0.01	0.05
Mcou (%)	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.01	0.01
Cou (%)	0.05	0.05	0.00	0.04	0.00	0.05	0.05	0.05
Qnd (%)	0.55	0.01	0.01	0.80	0.03	1.24	0.03	0.63
Usp (%)	2.11	0.21	0.04	2.26	0.09	2.15	0.15	2.05



Tabuľka 4 Reprezentatívne mikrosondové analýzy klinochlóru z Mg skarnu

hm. %.	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	42.07	33.05	38.32	32.18	31.38	33.01	30.30	31.26
TiO <sub>2</sub>	0.01	0	0.01	0	0.03	0.02	0.01	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.57	16.07	8.45	17.33	19.07	16.00	20.29	20.97
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.02	0	0.02	0	0	0	0
FeO	1.68	2.04	1.56	1.69	1.26	1.85	0.73	0.65
MnO	0.04	0.04	0	0	0.02	0.03	0	0.03
MgO	36.58	35.44	37.21	34.10	33.53	34.55	33.92	34.94
NiO	0.02	0.04	0.02	0.04	0	0.01	0	0
CaO	0.07	0.09	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.06
Na <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0	0	0.02	0
K <sub>2</sub> O	0.04	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0	0
H <sub>2</sub> O*	13.01	12.78	12.72	12.62	12.65	12.63	12.65	13.05
Total	100.09	99.57	98.34	98.04	97.99	98.13	97.96	100.97
Prepočet na báze 14 aniónov								
Si <sup>4+</sup>	3.878	3.101	3.614	3.057	2.976	3.134	2.872	2.873
<sup>IV</sup> Al <sup>3+</sup>	0.122	0.899	0.386	0.943	1.024	0.866	1.128	1.127
T-sum.	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ti <sup>4+</sup>	0.001	0	0.001	0	0.002	0.001	0	0.001
<sup>VI</sup> Al <sup>3+</sup>	0.592	0.877	0.554	0.998	1.107	0.924	1.138	1.145
Cr <sup>3+</sup>	0	0.001	0	0.002	0	0	0	0
Fe <sup>2+</sup>	0.130	0.160	0.123	0.134	0.100	0.147	0.058	0.050
Mn <sup>2+</sup>	0.003	0.003	0	0	0.002	0.003	0	0.002
Mg <sup>2+</sup>	5.028	4.956	5.231	4.830	4.740	4.890	4.793	4.786
Ni <sup>2+</sup>	0.001	0.003	0.001	0.003	0	0	0	0
Ca <sup>2+</sup>	0.007	0.009	0.005	0.005	0.006	0.004	0.004	0.006
Na <sup>+</sup>	0	0	0	0	0	0	0.003	0
K <sup>+</sup>	0.005	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0	0
M-sum.	5.766	6.011	5.915	5.972	5.957	5.970	5.996	5.990
OH <sup>-</sup>	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000

Tabuľka 5 Reprezentatívne mikrosondové analýzy anti-goritu z Mg skarnu

hm. %.	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	42.46	46.49	42.74	42.75
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.03	0.15	0.07
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.00	0.01	0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	1.96	2.23	2.51	2.26
MnO	0.02	0.01	0.02	0.02
MgO	41.17	37.29	37.36	40.32
CaO	0.07	0.06	0.11	0.05
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0	0.01	0.01	0.01
H <sub>2</sub> O*	12.69	12.90	12.31	12.65
Total	98.46	99.00	95.23	98.13
Prepočet na báze 14 aniónov				
Si <sup>4+</sup>	4.013	4.323	4.164	4.052
<sup>IV</sup> Al <sup>3+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000
T-sum.	4.013	4.323	4.164	4.052
Ti <sup>4+</sup>	0.001	0.000	0.000	0.000
<sup>VI</sup> Al <sup>3+</sup>	0.002	0.003	0.018	0.007
Cr <sup>3+</sup>	0.002	0.000	0.001	0.000
Fe <sup>2+</sup>	0.155	0.173	0.204	0.179
Mn <sup>2+</sup>	0.002	0.001	0.002	0.002
Mg <sup>2+</sup>	5.800	5.169	5.426	5.697
Ca <sup>2+</sup>	0.007	0.006	0.011	0.005
Na <sup>+</sup>	0.005	0.000	0.000	0.000
K <sup>+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.001
M-sum.	5.974	5.353	5.663	5.892
OH <sup>-</sup>	8.000	8.000	8.000	8.000

### Karbonátové minerály

Karbonáty spolu so spinelom a serpentinizovanými až chloritizovanými agregátmi forsteritu predstavujú hlavnú zložku študovaného Mg skarnu. Dominantne je zastúpený kalcit v podobe hrubozrnných agregátov, ktoré koexistujú so zriedkavejším dolomitom. Hodnoty  $X_{\text{MgCO}_3}$  v kalcite sa pohybujú v rozsahu od 0.35 do 0.55. Exsolúcie dolomitu v kalcite boli pozorované len lokálne (obr. 4f). Dolomit často obsahuje inklúzie kalcitu, pričom si zachováva svoj typický klencový vývoj. Elektrónové mikroanalýzy kalcitu a dolomitu sú uvedené v tabuľke 6.

### Diskusia

Lokalita Včelín je súčasťou hodruško-štiavnického intruzívneho granodioritového komplexu (*vrchný báden - spodný sarmat*), ktorý podnietil vznik skarnov na kontakte s karbonátovými horninami. Okolie záujmového územia z hľadiska výskytov skarnov bolo v minulosti predmetom vyhľadávacieho prieskumu, za účelom získavania Fe rudy, s čím súvisia štúdie rôznych autorov (Šalát 1950; Gavora, Hruškovič 1963; Forgáč 1966; Rozložník, Zábranský 1968; Zábranský 1969a, b). Počas magmatického štádia pri vysokých teplotách prebiehal vznik minerálov Mg skarnov v nerudnej a magnetitovej etape (Zábranský 1969a). Metasomatickým procesom za prínosu SiO<sub>2</sub>, MgO a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> v nerudnej etape vznikol v karbonátoch s prevahou dolomitovej zložky forsterit, ktorý bol neskôr intenzívne chloritizovaný a serpentinizovaný. Spinel pravdepodobne kryštalizoval súčasne s forsteritom. Kryštalizácia magnetitu prebiehala počas prínosu fluidnej fázy obohatenej Fe. Podľa Zábranského (1969a)

**Tabuľka 6** Mikrosondové analýzy kalcitu a dolomitu z Mg skarnu

hm. %	Cal	Cal	Cal	Cal	Dol	Dol	Dol	Dol
FeO	0.04	0	0.05	0	0.08	0.15	0.17	0.10
MnO	0.05	0.06	0	0.04	0.17	0.31	0.35	0.62
MgO	0.18	0.22	0.19	0.14	20.14	20.69	20.99	21.21
CaO	54.84	54.82	55.22	55.02	32.19	30.77	30.93	29.72
SrO	0.42	0.41	0.45	0.41	0.07	0.14	0.11	0.22
Total	55.53	55.51	55.90	55.61	52.65	52.05	52.55	51.86
Prepočet na báze 6 kyslíkov								
Fe	0.031	0	0.039	0	0.066	0.119	0.135	0.160
Mn	0.039	0.046	0	0.031	0.128	0.237	0.269	0.194
Mg	0.109	0.133	0.115	0.084	12.147	12.477	12.656	13.033
Ca	39.194	39.180	39.466	39.323	23.004	21.990	22.106	21.335
Sr	0.355	0.347	0.381	0.347	0.061	0.115	0.092	0.127
Total	39.727	39.705	39.999	39.785	35.407	34.938	35.258	34.848
FeCO <sub>3</sub>	0.065	0	0.081	0	0.136	0.247	0.280	0.332
MnCO <sub>3</sub>	0.081	0.097	0	0.065	0.268	0.496	0.564	0.405
MgCO <sub>3</sub>	0.377	0.460	0.397	0.293	42.138	43.282	43.904	45.210
CaCO <sub>3</sub>	97.878	97.843	98.556	98.199	57.449	54.914	55.204	53.279
SrCO <sub>3</sub>	0.598	0.584	0.641	0.584	0.103	0.194	0.155	0.214
Total	98.999	98.984	99.676	99.141	100.094	99.134	100.107	99.441

pri vzniku Mg skarnov zohrali primárnu úlohu kontaktno-infiltračné procesy. Magmatické roztoky, ktoré vyvolali Mg metasomatózu prenikli do karbonátového prostredia pri intrudovaní granodioritového telesa, kedy nastala termická rekryštalizácia. Uvoľňovaná Mg zložka z dolomitov vstupovala do zloženia magmatických roztokov a v puklinových zónach karbonátov podnietila vznik Mg skarnov.

Kušík (1972) opísal proces postupného zatláčania forsteritu antigoritom a zároveň potvrdil ojedinelý výskyt klinochlóru, ktorý sa viaže na serpentinizované Mg skarny v oblasti Kopaníc. Spinely v Mg skarnoch na lokalite Včelín - juh orientačne študovali Rajnoha et al. (1991). Káčer et al. (1993) komplexne zhodnotili skarnové mineralizácie v oblasti štiavnického stratovulkánu. V 90. rokoch 20. storočia bol záujem o Ca skarny v oblasti štiavnického stratovulkánu prehodnotený z hľadiska možností získavania kvalitnej granátovej suroviny, čo prinieslo realizáciu ďalších prieskumných prác (Schmidt 1994; Vitásek et al. 1996).

## Záver

Terénny výskum skarnov v skúmanej oblasti je komplikovaný nedokonalým odkrytím okolia kontaktných zón, čo vplyva na neuspokojivé zodpovedanie genetických otázok. Zložitosť situácie znásobuje aj teritoriálna blízkosť výskytov Mg a Ca skarnov, ktoré vznikali pri odlišných genetických podmienkach.

V Mg skarne z lokality Hodruša - Včelín forsterit a spinel reprezentujú bezvodú minerálnu asociáciu formujúcu sa počas prográdneho štádia kontaktnej metamorfózy. Klinochlór a antigorit reprezentujú hydratovanú minerálnu asociáciu, ktorá vznikla počas retrográdnej fázy vývoja Mg skarnu. Nahradzovanie prográdnych minerálnych asociácií vplyvom pôsobenia nižších teplôt a vyššej aktivity fluidnej fázy dobre dokumentujú účinky serpentinizácie a chloritizácie forsteritu. Okolo zachovaných fors-

teritových zrn bol identifikovaný proces ich postupného nahradzovania klinochlórom. Antigorit ako reprezentant skupiny serpentínových minerálov je v Mg skarnoch prítomný aj samostatne, bez reliktné zachovaných forsteritových kryštálov. Magnetit predstavuje súčasť rudnej zložky Mg skarnov. Kalcit a dolomit tvoria karbonátovú zložku študovaného Mg skarnu.

Na základe identifikovanej asociácie predpokladáme, že fázové vzťahy prebiehali v systéme CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> podľa rovnovážnej reakcie: 2Dol + Chl = 2Cal + 3Fo + Šp + 2CO<sub>2</sub> + 4H<sub>2</sub>O (Widmark 1980). Uvedená reakcia môže prebiehať obojsmerne. Prográdny priebeh je spojený so vznikom forsteritu a spinelu. Retrográdny priebeh súvisí so vznikom klinochlóru, ktorý nahrádza forsterit. V minerálnom zložení skúmaných hornín nebola analyticky potvrdená prítomnosť diopsidu, klinohimitu a flogopitu, ktoré sa spomínajú v starších prácach opisujúcich mineralógiu skúmanej lokality (napr. Káčer 1993).

Stanovenie tlakovo-teplotných podmienok kontaktnej metamorfózy bude predmetom detailnejšieho termodynamického modelovania, ktoré si vyžaduje celohorninové analýzy Mg skarnov a ich konfrontáciu s konvenčnou kalcitovo-dolomitovou a chloritovou geotermometriou. Do úvahy pri objasňovaní metamorfnej evolúcie je potrebné zahrnúť aj fluidnú fázu (H<sub>2</sub>O a CO<sub>2</sub>), ktorá mala rozhodujúcu úlohu pri formovaní minerálnych asociácií skarnov.

## Podakovanie

Vyslovujeme poďakovanie RNDr. Ivanovi Holickému, z oddelenia elektrónovej mikroanalýzy ŠGÚDŠ v Bratislave za vyhotovenie mikrosondových analýz a BSE obrázkov. Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV LPP-0109-09, APVV-0081-10, APVV-0546-11, APVV-0375-12 a grantu VEGA 1/0079/15.

## Literatúra

- Ferracutti G. R., Florencia Gargiulo M., Luján Ganuza M., Bjerg E. A., Castro S. M. (2015) Determination of the spinel group end-members based on electron microprobe analyses. *Mineral. Petrol.* 109, 153-160.
- Forgáč J. (1966) Petrografia a geochémia premenených hornín v banskoštiavnicko-hodrušskom rudnom revíre. *Sbor. geol. Vied, Západné Karpaty* 5, 103-150.
- Gavora S., Hruškovič S. (1963) Skarnové ložiská vo vulkanitoch Štiavnického pohoria v oblasti Hodruša - Vyhne. *Geologické práce, Správy* 29, 133-142.
- Káčer Š., Koděra P., Hojstřichová V., Lexa J. (1993) Zhodnotenie Fe-skarnových mineralizácií v oblasti centrálnej zóny Štiavnického stratovulkánu. Čiastková záverečná správa. *MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 67 s.
- Konečný V., Lexa J. (2001) Stavba a vývoj štiavnického stratovulkánu. *Miner. Slov.* 33, 3, 179-196.
- Konečný V. (ed.), Lexa J., Halouzka R., Hók J., Vozár J., Dublan L., Nagy A., Šimon L., Havrila M., Ivanička J., Hojstřichová V., Miháliková A., Vozárová A., Konečný P., Kováčiková M., Filo M., Marcin D., Klukanová A., Liščák P., Žáková E. (1998a) Vysvetlivky ku geologickej mape Štiavnických vrchov a Pohronského Inovca (štiavnický stratovulkán) I. diel. *ŠGÚDŠ, Bratislava*, 248 s.
- Konečný V. (ed.), Lexa J., Halouzka R., Hók J., Vozár J., Dublan L., Nagy A., Šimon L., Havrila M., Ivanička J., Hojstřichová V., Miháliková A., Vozárová A., Konečný P., Kováčiková M., Filo M., Marcin D., Klukanová A., Liščák P., Žáková E. (1998b) Vysvetlivky ku geologickej mape Štiavnických vrchov a Pohronského Inovca (štiavnický stratovulkán) II. diel. *ŠGÚDŠ, Bratislava*, 249-473 s.
- Kúšik R. (1972) Mineralógia kontaktných metamorfítov štiavnického ostrova. *Miner. Slov.* 4, 15, 173-191.
- Lexa J., 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.
- Lexa J., Štohl J., Konečný V. (1999) Banská Štiavnica ore district: relationship among metallogenetic processes and the geological evolution of a stratovolcano. *Mineralium Depos.* 34, 639-665.
- Lindsley D. H. (1991) Oxide minerals: petrologic and magnetic significance. *Rev. Mineral.* 25, 509 s.
- Page N. J. (1968) Chemical differences among the serpentine "polymorphs". *Am. Mineral.* 53, 201-201.
- Rajnoha J., Andráš P., Mikula P. (1991) Spinel na skarnovom výskyte Včelín (hodruško-štiavnický intruzívny komplex). *Miner. Slov.* 23, 4, 365-366.
- Rozložník L., Zábranský F. (1968) Perspektíva vyhľadávania skarnových ložísk na území Štiavnického ostrova. *Geol. Průzk.* 2, 50-53.
- Schmidt M. (1994) Štiavnické vrchy - netradičné suroviny. Záverečná správa, vyhľadávaci prieskum, stav k 31.12.1994. *MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 41 s.
- Šalát J. (1950) Kontaktné horniny z okolia Hodruše. *Geol. Zbor. SAV* 1, 1, 14-18.
- Vitásek A., Blaha M., Hauerová J. (1996) Hodruša - Včelín. Vyhľadávaci prieskum - granát. Záverečná správa. *MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava*, 37 s.
- Whitney D. L., Evans B. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am. Mineral.* 95, 185-187.
- Widmark T. (1980) The reactions chlorite + dolomite = spinel + forsterite + calcite + carbon dioxide + water. *Contrib. Miner. Petrol.* 72, 175-179.
- Zábranský F. (1969a) Geologicko-paragenetické pomery skarnov štiavnického ostrova. *MS, Kandidátska dizertačná práca. Katedra geológie a mineralógie Vysokej školy technickej v Košiciach*, 350 s.
- Zábranský F. (1969b) Skarnové ložiská v oblasti štiavnického ostrova. *Miner. Slov.* 1, 3-4, 236-246.
- Zane A., Weiss Z. (1998) A procedure for classifying rock-forming chlorites based on microprobe data. *Rend. Fis. Acc. Lincei* 9, 1, 51-56.
- Zharikov V., Pertsev N., Rusinov V., Callegari E., Fettes D. (2007) Metasomatism and metasomatic rocks. In: Fettes D., Desmons J. (eds.): *Metamorphic rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations by the IUGS. Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks. Cambridge University Press*, 58-68.