ISSN 1211–8796

Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
CVIII (2023): 1, 79–93, 2023

PETROGRAFIE A MINERALOGIE SKARNU OD MALEŠOVA (KUTNOHORSKÉ KRYSTALINIKUM, ČESKÁ REPUBLIKA)

PETROGRAPHY AND MINERALOGY OF THE SKARN FROM MALEŠOV (KUTNÁ HORA CRYSTALLINE COMPLEX, CZECH REPUBLIC)

JAN BUBAL, DAVID DOLEJŠ

Abstract

Bubal, J., Dolejš, D., 2023: Petrografie a mineralogie skarnu od Malešova (kutnohorské krystalinikum, Česká republika). – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 108, 1, 79–93 (with English summary).

Petrography and mineralogy of the skarn body near Malešov (Kutná Hora Crystalline Complex, Czech Republic)

The skarn body near Malešov belongs to calcium-iron skarns with a typical Ca-Fe-Al mineral association. The Malešov skarn body is located in the structurally highest part of the Kutná Hora Crystalline Complex, the Malín Unit, which in this part is mainly formed by gneisses and migmatites. The deposit body is dominated by garnet-pyroxene skarn, less frequently by garnet and magnetite skarn. Replacement of primary minerals by amphibole or epidote also occurs. Fine-grained garnet skarn is formed by isotropic dark red garnet ($Adr_{78-88}Grs_{9-19}Alm_{2-4}Pyr_{0-0.3}$), while massive garnet skarn consists of garnet grains with different core ($Adr_{13-38}Grs_{31-50}Alm_{29-36}Pyr_{0-2.5}$) and rim ($Adr_{28-66}Grs_{21-37}Alm_{12-33}Pyr_{0-1.6}$) chemistry. In association with garnet is often pyroxene ($Hd_{60-90}Di_{10-40}$) which can be replaced by amphibole (hastingsite composition). Other minerals are magnetite, Fe-epidote, calcite and albite. Magnetite is characterized by high content of Al_2O_3 (0.54 wt. %) a SiO_2 (0.1 wt. %), while siderophile (V, Cr) and chalcophile elements (Ni, Cu, Zn) are below the detection limit. From the observed petrographic relationships, garnet, pyroxene, and magnetite skarns appear to be primary, while the formation of amphibole reaction zones, epidote, carbonate veins, or weak silicification caused by the emplacement of granitic pegmatites, are probably products of late alteration.

Key words: garnet, pyroxene, magnetite, skarn, Kutná Hora Crystalline Complex, Bohemian Massif

Jan Bubal, Museum of The Bohemian Paradise, Turnov, Skálova 71, 511 01 Turnov, Czech Republic, e-mail: bubal@muzeum-turnov.cz

David Dolejš, Institute of Earth and Environmental Sciences, Mineralogy – Petrology, Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Albertstr. 23b, 79104 Freiburg, Germany

1. ÚVOD

Vápenato-železnaté skarny jsou poměrně častými horninami regionálně metamorfovaných komplexů v Českém masivu. Bývají vyvinuté na kontaktech s karbonáty chudými na Mg a tvoří je Ca-Fe-Al bohatá minerální asociace zastoupená především granátem (almandin-grosulár-andradit), klinopyroxenem řady diopsid-hedenbergit, případně amfibolem a epidotem. Skarnová tělesa vystupují především v severní a východní části moldanubika a dále v přilehlém kutnohorském a svrateckém krystaliniku. Další významné skarnové lokality se nachází v centrální části krušnohorského a také v oblasti krkonošského krystalinika (Bernard a Pouba 1986; Němec 1991; Bernard 2000; Pertoldová *et al.* 2009).

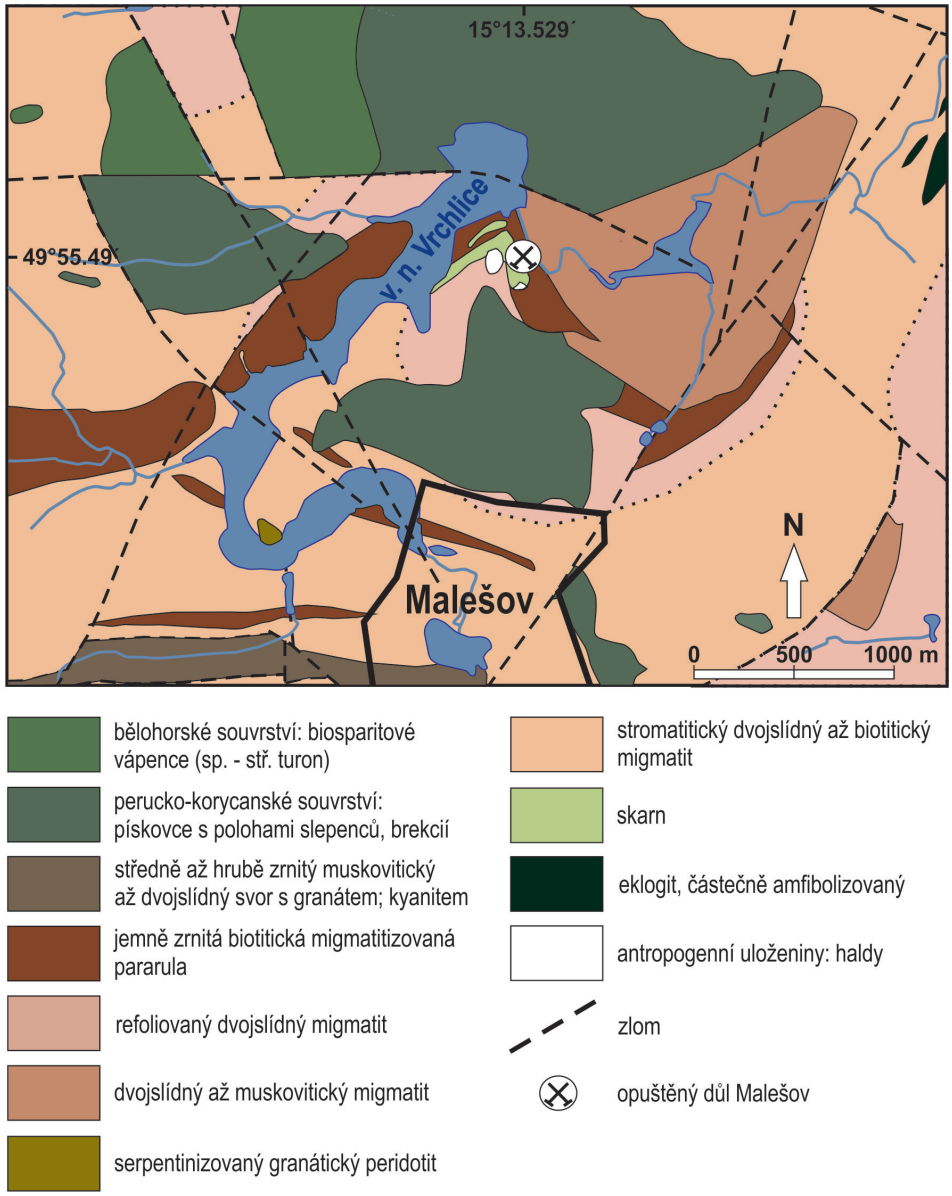
Minerální asociace, struktury i výrazné obohacení o Ca, Al a Fe vápenato-železnatých skarnů v Českém masivu byly v minulosti vysvětlovány jako metamorfní (metamorfóza vulkanosedimentárních hornin nebo exhalačních sedimentů) nebo metasomatické (metasomatóza karbonátových hornin). Interpretaci jejich vzniku stěžuje, že jsou často neznámého stáří a prodělaly spolu s ostatními horninovými komplexy několik metamorfních událostí, které ovlivnily nebo setřely primární znaky; případně byly vystaveny metasomatickým procesům, které značně pozměnily jejich celkové chemické složení. Z toho vyplývá rozdílnost názorů na jejich původ (Koutek 1950; Němec 1963; Pertoldová *et al.* 2009; Bubal 2013).

Lokalita Malešov patří mezi větší skarnová tělesa v Českém masivu. Ložisko bylo v minulosti otevřeno hlubinným důlním dílem, které sloužilo k těžbě magnetitové rudy. Skarnové těleso je nehomogenní, dosahuje mocnosti ~ 300 m a tvoří vložku v okolním rulovém komplexu kutnohorského krystalinika. Malešovský skarn náleží k typickým Ca-Fe skarnům a příliš se neliší od podobných skarnových asociací v Českém masívu (Bubal 2011).

Malešovské skarnové ložisko studovali především Katzer (1904), Slavík (1925), Sellner (1926) a Koutek (1952). Analytická data pro pyroxen, granát, amfibol a magnetit uvádí ve své práci Žáček (2002). Nejnovější analytická data pochází z bakalářské a diplomové práce Bubala (2011 a 2013), ale tato data nebyla dosud publikována.

2. GEOLOGICKÁ SITUACE

Kutnohorské krystalinkum se vyznačuje inverzní metamorfní stavbou. Od strukturního podloží do nadloží lze vyčlenit následující litotektonické jednotky (Synek a Olivierová 1993): (1) ratajská svorová zóna; (2) kouřimský příkrov a (3) gföhlská jednotka, dále dělená na běstvinskou, malínskou a plaňanskou skupinu. V ratajské svorové zóně dominují muskoviticko-biotitické pararuly, i když v silně retrográdně postižených částech mají vzhled až svorů. Jsou doprovázeny hojnými vložkami amfibolitů, vápenců a erlánů. Kouřimský příkrov reprezentuje kompozičně homogenní těleso kouřimské ortoruly, pravděpodobně pre-variského stáří, která složením koresponduje se silně a relativně homogenně deformovanými draslíkem bohatými vápenato-alkalickými metagranitoidy (Kachlík 1999). Gföhlská jednotka je tvořena migmatity s tělesy granulitů s budinami eklogitů a granátických peridotitů. Malešovské skarnové těleso je lokalizováno v strukturně nejvyšší části kutnohorského krystalinika, malínské skupině, která je tvořena granátickými amfibolity s rysy původních eklogitů, serpentinizovanými granátickými peridotity a leukokratními migmatity, příp. migmatitizovanými pararulami. Malešovské skarnové těleso v nich tvoří asymetrickou antiformní strukturu s konci ponořenými při středních až nízkých úhlech k ZSZ a SV (Pertoldová *et al.* 2009; Bubal 2013). Geologická mapa blízkého okolí skarnového tělesa u Malešova je uvedena na obr. 1.



Obr. 1. Geologická mapa blízkého okolí skarnového tělesa u Malešova. Podle geologické mapy 1:25 000 České geologické služby, list 13–324 Kutná Hora (Štědrá *et al.* 2011).

Fig. 1. Geological map of the surroundings of the skarn body near Malešov. Redrawn after map of the Czech Geological Survey, map sheet 13–324 Kutná Hora (Štědrá *et al.* 2011).

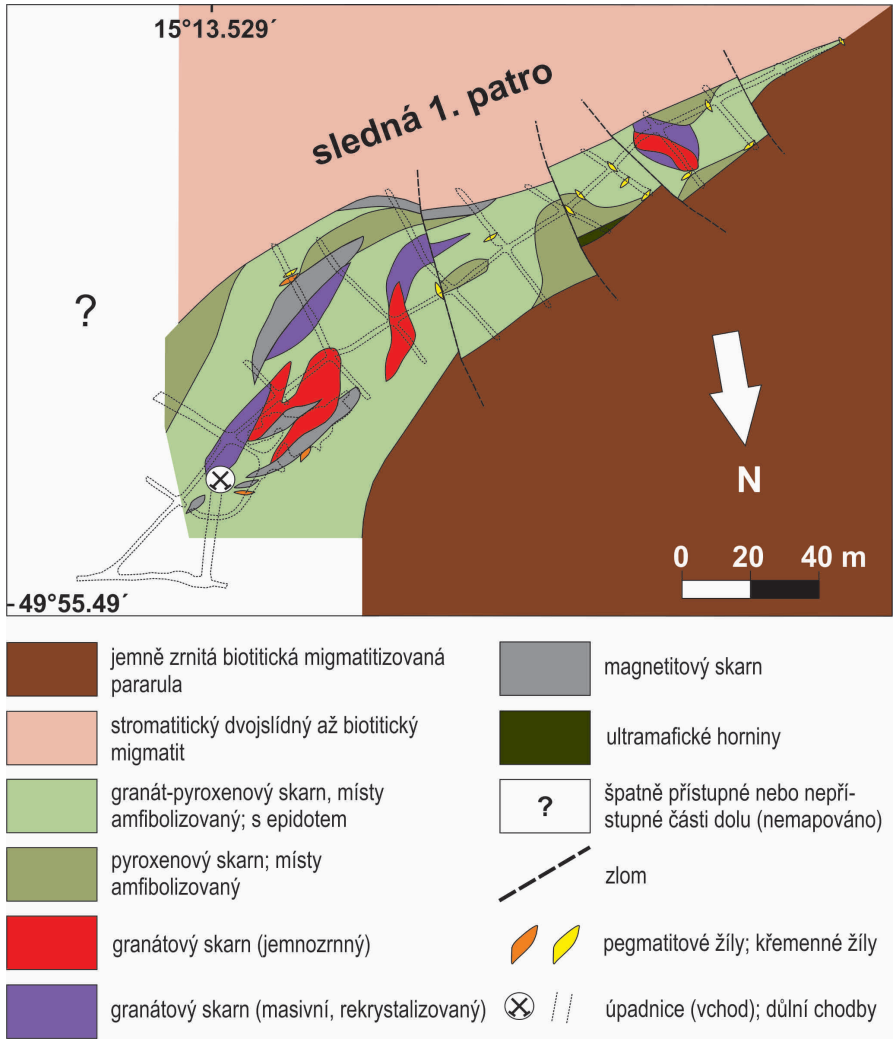
3. LOŽISKO MALEŠOV

Skarnové těleso vystupuje asi 1,5 km severně od Malešova v údolí říčky Vrchlice, asi 7 km jz. od Kutné Hory v místech zvaných „U černé rudy“ a „V Jarošci“. Štolové patro železnorudného dolu ústí v nadmořské výšce 320 m v zalesněné stráni na pravém břehu Vrchlice, asi 200 m pod přehradou (Pauliš 1997).

První písemná zmínka o těžbě železných rud u Malešova pochází z roku 1719, ale je pravděpodobné, že se zde dolovalo již dříve. S přestávkami se pak těžilo až do roku 1825, který Koutek (1952) uvádí jako konec souvislého dolování. Podle Kalouse (1912) se však na ložisku pracovalo ještě v roce 1864 a ruda se odvážela na dráhu do Kolína (in Koutek 1952). Poslední průzkumné práce na ložisku probíhaly v letech 1950–1957, během kterých bylo vytěženo asi 10 000 t magnetitových rud s průměrným obsahem 34,5 % Fe. I když ložisko není kompletně vytěžené, pro malé zásoby se o další těžbě neuvažuje (Pauliš 1997).

4. CHARAKTERISTIKA SKARNOVÉHO TĚLESA

Hlavní skarnové těleso je uloženo v okolním rulovém a migmatitovém komplexu kutnohorského krystalinika, který je tvořen různými typy migmatitů a jemně zrnitou biotitickou migmatitizovanou pararulou. Za hlavním skarnovým tělesem se nachází drobná skarnová čočka uzavřená pouze v pararulách. V obou tělesech převládá granát-pyroxenový skarn, méně hojně jsou zastoupeny skarny granátové a magnetitové. Kromě granátu a klinopyroxenu jsou ve skarnu přítomny amfibol a magnetit, dále epidot, kalcit, křemen a živce. Magnetit je ve skarnu většinou nepravidelně vtroušený nebo se koncentruje do mocnějších poloh. V západním křídle antiklinály o mocnosti 40–50 m byly geologickým průzkumem zjištěny dvě hlavní čočky magnetitové rudy, které jsou protaženy ve směru SV–JZ. Mocnost větší čočky byla na 1. patře 7 m, délka 90 m, menší čočka měla mocnost 3 m a délku 60 m. Vertikálně byly čočky ověřeny do hloubky 44 m na úroveň 2. patra a vrty ještě 20 m níže, kde vykliňovaly (Ebermann 1993). Magnetit obsahuje v malém množství také sulfidy, např. pyrhotin, pyrit a chalkopyrit. Misty tvořily sulfidy železa výraznější akumulace. V jihozápadní štolové větvi a na výchozu skarnu pak rozklad sulfidů vedl ke vzniku nápadného gosanu. Skarnové těleso je proráženo pegmatitovými žilami, které jsou až 1 m mocné a bývají kontaminované skarnovými minerály. Pegmatitové žíly vyvolávají na kontaktu se skarnem sekundární epidotizaci a samy také obsahují velké krystaly epidotu, příp. amfibolu nebo z části uralitizovaný klinopyroxen (Koutek 1952; Bubal 2011 a 2013). V pegmatitových dutinách byla nalezena řada, někdy krystalovaných minerálů; k nejzajímavějším patřily ferroaxinit, prehnit, apatit, apofylit, titanit a zirkon (Vavřín 1959; Vtělenský 1958; Pauliš 1997). Podrobná geologická mapa části skarnového tělesa otevřeného důlnímu chodbami 1. patra je na obr. 2.



Obr. 2. Podrobná geologická mapa části skarnového tělesa otevřeného důlnímu chodbami (1. patro). Mapa je výsledkem podrobného petrologického mapování obou autorů.

Fig. 2. Detailed geological map of the part of the skarn body opened by the mine (1st Floor). The map is the result of detailed petrological mapping by both authors.

5. METODIKA

Petrologický odběr vzorků na lokalitě Malešov probíhal v letech 2009–2012. Z vybraných reprezentatitvních skarnových typů byly zhotoveny leštěné výbrusy, ze kterých byly na elektronové mikrosondě získány chemické analýzy minerálů na přístroji (EM) Tescan Vega s EDS detektorem X-max 50 (výrobce Oxford Instruments) na PřF UK v Praze (analytik M. Racek). Analýzy byly provedeny při urychlovacím napětí 15 k eV, proudu 1,5 nA s dobou načítání 100 s. Kalibrace proběhla pomocí přírodních a syntetických minerálů.

Mikrofotografie ve zpětně odražených elektronech (BSE) a chemické analýzy magnetitu byly pořízeny na elektronové mikrosondě CAMECA SX100 v Brně, na společném pracovišti Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity a České geologické služby (analytik R. Škoda). Analyzované prvky byly rozděleny do dvou skupin, pro které byly zvoleny odlišné podmínky měření. Analýzy prvků první skupiny (Al, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn, Ti) byly provedeny při urychlovacím napětí 15 ke V, proudu 40 nA a se svazkem o parametru 3,5 μm. Pro druhou skupinu prvků (Cu, Ni, Pb, Si, Sn, Ta, V, Zn) bylo zvoleno urychlovací napětí 15 k eV, proud 100 nA a svazek o parametru opět 3,5 μm. Načítací doba jedné analýzy trvala 11,5 minuty. Jako standardy byly použity přírodní a syntetické minerály. Detekční limity pro analyzované prvky jsou následující: ~ 70–100 ppm pro Ti, Si a V; ~ 100–150 ppm pro Al, Mg, Ca, Cr, Ni a Sn; ~ 170–500 ppm pro Mn, Cu, Zn, Ta a Pb.

Optické mikrofotografie byly pořízeny pomocí fotoaparátu Olympus C 5050 na mikroskopu Nikon E 600 na Ústavu petrologie a strukturní geologie (ÚPSG) PřF UK v Praze. Zkratky minerálních názvů jsou podle Whitney a Evans (2010).

6. PETROGRAFIE SKARNOVÉHO TĚLESA

Ve skarnovém tělese převládá granát-pyroxenový skarn, méně hojně jsou zastoupeny skarny granátové, magnetitové a skarny postižené amfibolizací, příp. epidotizací. Skarny jsou obecně značně nehomogenní, proto nemusí studované výbrusy reprezentovat složení skarnového tělesa.

Na základě převažujících minerálů byly rozlišeny následující skarnové typy (Bubal 2011 a 2013):

Pyroxenový skarn je drobno- až jemnozrnný, má heteroblastickou strukturu a obsahuje malé množství šmouhovitě uspořádaného jemnozrnného granátu (obr. 3b). Hornina obsahuje 80–90 obj. % klinopyroxenu, v malém množství jsou zastoupeny granát a amfibol, akcesoricky magnetit, albit a chlorit.

Granátový skarn (jemnozrnný) je jemnozrnná hornina s obsahem kolem 90 obj. % granátu, podružně jsou přítomny klinopyroxen, epidot, amfibol a kalcit.

Granátový skarn (masivní) – masivní, litý granátový skarn s malým podílem klinopyroxenu. Hornina obsahuje kolem 85 obj. % granátu, v malém množství je kromě klinopyroxenu přítomen ještě kalcit.

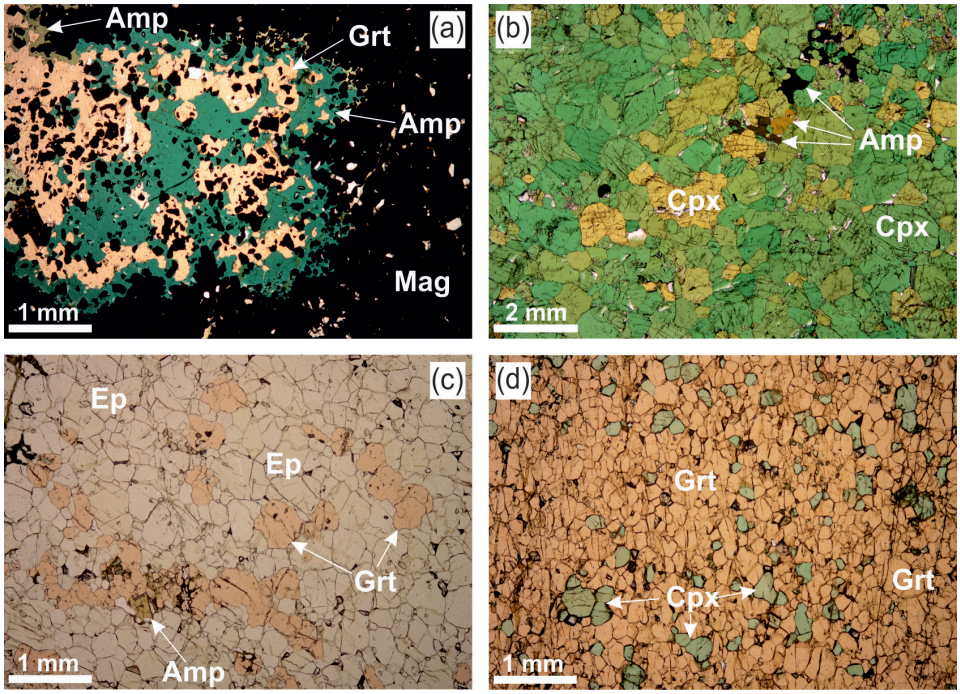
Granát-pyroxenový skarn je jemnozrnná hornina, ve které granát převládá nad klinopyroxenem uspořádaným v heteroblastických páscích (obr. 3d). Hornina obsahuje 60–65 obj. % granátu a 25–35 obj. % klinopyroxenu; dalšími minerály jsou intersticiální amfibol a kalcit, jako akcesorie byly zjištěny magnetit, albit, epidot, muskovit, chlorit, titanit, křemen a zirkon.

Epidotový skarn je jemnozrnná hornina s obsahem až 70 obj. % epidotu, z dalších minerálů převládá granát nad klinopyroxenem a amfibolem (obr. 3c).

Granát-epidotový skarn je masivní hornina s obsahem 70 obj. % granátu, 15 obj. % epidotu, dalšími přítomnými minerály jsou kalcit a amfibol, jako akcesorie titanit. Studovaný výbrus nemusí vystihovat objemové zastoupení minerálů v celé hornině, protože odebraný vzorek je značně nehomogenní; obsah epidotu bude v celé hornině podstatně vyšší než 15 obj. % (až 50 obj. %). Z tohoto důvodu byla hornina přiřazena ke granát-epidotovým typům.

Magnetitový skarn tvoří masivní polohy magnetitu s nepravidelně protaženými shluky amfibolu, granátu a pyroxenu (obr. 3a). Hornina obsahuje kolem 55 obj. % magnetitu, dalšími minerály jsou granát (10 obj. %) a klinopyroxen (5 obj. %), příp. amfibol (30 obj. %), který pyroxen zatlačuje; k podružným minerálům patří kalcit, v akcesorickém množství se vyskytují leukoxen nebo hematit.

Skarnové typy se sekundární amfibolizací a silicifikací vyvolanou pegmatitovými žilami – průnik žilky granitového pegmatitu do jemnozrnného pyroxenového skarnu způsobuje velmi silnou rekrystalizaci a hybridizaci po celém vzorku. Klinopyroxen je ve skarnu výrazně zatlačován amfibolem, zatímco křemen a živce jsou v malém množství jeho součásti.



Obr. 3. Mikrofotografie vybraných skarnových typů: (a) masivní magnetitový skarn – střídání masivních poloh magnetitu s nepravidelně protaženými shluky amfibolu a granátu; (b) pyroxenový skarn s malým množstvím intersticiálního amfibolu; (c) epidotový skarn; (d) granát-klinopyroxenový skarn.

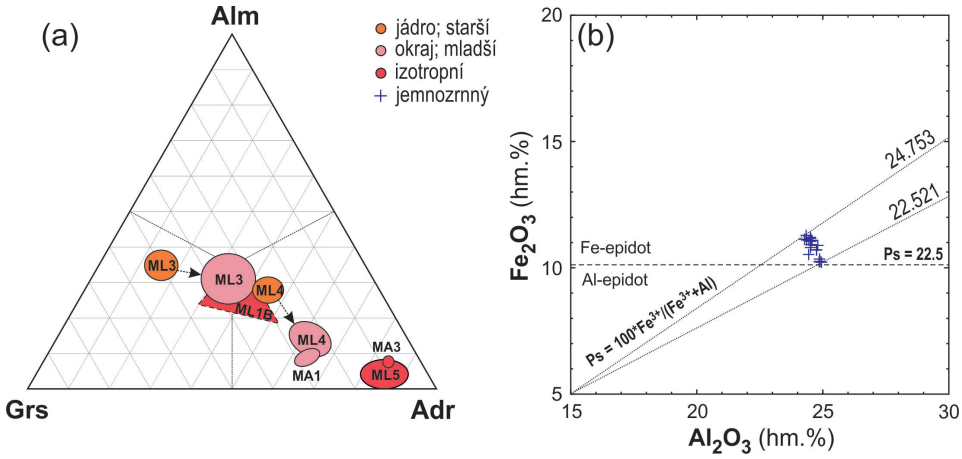
Fig. 3. Photomicrographs of selected skarn types: (a) massive magnetite skarn with strips of magnetite alternating with irregularly elongated clusters of amphibole and garnet; (b) pyroxene skarn with a small amount of interstitial amphibole; (c) epidote skarn; (d) garnet-clinopyroxene skarn.

7. MINERALOGIE

Skarnové ložisko Malešov náleží k vápenato-železnatým skarnům s typickou Ca-Fe-Al minerální asociací. Kromě granátu a pyroxenu jsou zasoupeny amfibol a magnetit, dále pak epidot, kalcit, křemen a plagioklas.

Granát

Nejhojněji zastoupeným skarnovým minerálem je granát. Na základě petrografické charakteristiky vybraných vzorků byly vymezeny dva základní skarnové typy (1) jemnozrnný a (2) masivní. Jemnozrnné typy jsou charakteristické izotropním granátem masově červené barvy, který tvoří jednak drobná hypidiomorfně omezená zrna o velikosti do 0,5 mm bez patrné zonálnosti nebo optické anizotropie, jednak i větší, mírně protažená zrna o velikosti až 1 mm, které mají patrné nepravidelně rozmístěné polohy se světlejšími odstíny červené barvy. Obsahuje 78–88 mol. % andraditové komponenty, podřadné množství složky grosulárové (9–19 mol. %) a almandinové (2–4 mol.) a do 0,3 mol. % pyropové komponenty. Vysoký obsah andraditové komponenty je typický pro granát, které prodělal úplnou rekrystalizaci. Druhým typem jsou masivní granátové skarny, ve kterých jsou granáty výrazně opticky anizotropní i chemicky zonální. Světle červená jádra granátových zrn představují primární granát, který je chrakteristický vyššími obsahy almandinové (29–36 mol. %), grosulárové (31–50 mol. %) a pyropové složky (do 2,5 mol. %), které převládají nad složkou andraditovou (13–38 mol. %). Granáty, které prodělaly částečnou pozdní rekrystalizaci jsou tmavě červené a mají vyšší podíl andraditové složky (28–66 mol. %), na úkor grosulárové (21–37 mol. %) a almandinové (12–33 mol. %). příp. pyropové (do 1,6 mol. %). Obsah spessartinové složky je v obou granátech okolo 1 mol. %. Žáček (2002) popisuje dva typy granátu. Granát ze vzorku MA1 (masivní masově červený granátový skarn) odpovídá chemickým složením granátu, který prodělal částečnou rekrystalizaci (chemicky se shoduje s okraji granátu ze vzorku ML4). Vyznačuje se vyšším podílem andraditové komponenty (62–67 mol. %) převažující nad složkami grosulárovou (25–29 mol. %), alman-



Obr. 4. Chemické složení granátu a epidotu: (a) ternární diagram grosulár-almandin-andradit; (b) diagram Al_2O_3 vs. Fe_2O_3 pro epidot.

Fig. 4. Chemical composition of garnet and epidote: (a) grossular-almandine-andradite ternary diagram; (b) diagram of Al_2O_3 vs. Fe_2O_3 for epidote.

dinovou (7–10 mol. %) a spessartinovou (0,4–0,8 mol. %). Druhý typ granátu pochází z kontaktu páskovaného granát-pyroxenového skarnu s pegmatitovou žilou (MA3). Chemicky je izotropní; obsahuje vysoký podíl andraditové komponenty (82–85 mol. %) na úkor především grosulárové (7–9 mol. %) a almandinové (7–8 mol. %) složky. Jeho složení odpovídá granatům ze vzorku ML5, který prodělal úplnou rekrystalizaci. Oba granáty jsou Si-deficitní, což indikuje přítomnost vody, případně fluoru v jejich struktuře. Vypočtený podíl OH je nízký u vzorku MA1 (0,03–0,08 *apfu*) a nepatrně vyšší u vzorku MA3 (0,30–0,33 *apfu*).

Vápníkem bohaté granáty s obsahem volatilních složek (OH a F) byly popsány z různých geologických prostředí (např. z hydrotermálně alterovaných bazaltů, z metasomaticky alterovaných alkalických intruzí a take z vápenato-silikátových hornin a skarnů), (Manning a Bird 1990). Kromě skarnu z Malešova (Žáček 2002) byly granáty s obsahem OH a F popsány take z vlastějovického skarnu, kde bylo rozlišeno až pět typů granátu (Žáček 1997). Znalost vápníkem bohatých granátů z obsahem OH a F z různých lokalit, především skarnových, a take značný deficit Si ve struktůře granátu, indikuje přítomnost OH, případně F, ve všech analyzovaných granátech z Malešova. Variace v chemismu granátu je uvedena na obr. 4a, reprezentativní analýzy granátu v tab. 1.

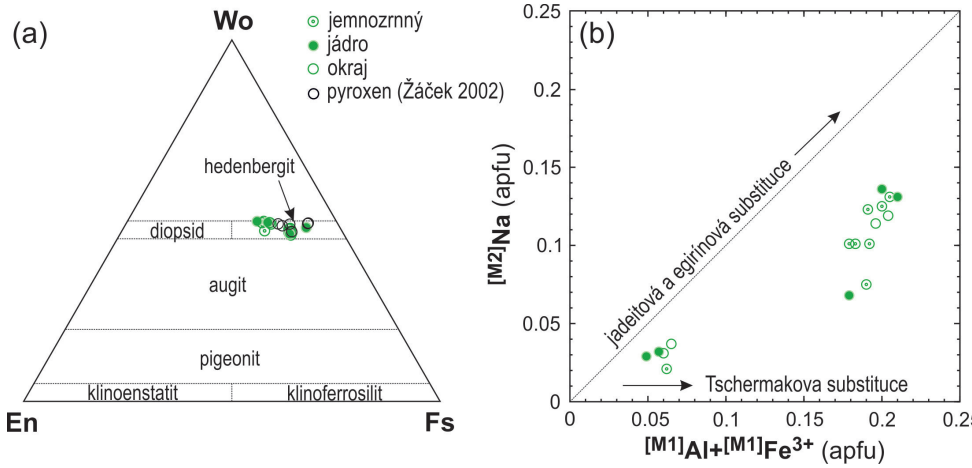
Tabulka 1. Reprezentativní chemické složení granátu ze skarnu z Malešova. Chemické analýzy granátu ze vzorků MA1 a MA3 pochází z práce Žáčka (2002).

Table 1. Representative chemical composition of garnet from Malešov skarn. Chemical analysis of garnet from samples MA1 and MA3 are from the work of Žaček (2002).

vzorek	ML4	ML4	ML5	ML3	ML3	MA1	MA1	MA3	MA3
analýza	12	14	8	3	4	2332	2333	2373	2374
pozice	původní	nový	matrix	střed	okraj				
SiO_2	36,31	36,29	35,65	37,00	36,97	36,61	36,13	35,50	35,19
TiO_2	0,16	0,22	0,24	0,32	0,19	0,28	0,33	0,18	0,14
Cr_2O_3	0,09	0,06	0,00	0,00	0,00	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08
Al_2O_3	13,33	9,11	3,58	18,28	13,57	7,62	7,14	3,29	3,55
FeO^{tot}	24,36	24,11	25,79	18,87	22,18	21,68	22,98	27,32	27,23
MnO	0,63	0,59	0,34	0,55	0,49	0,35	0,33	0,33	0,43
MgO	0,16	0,07	0,00	0,48	0,25	<0,08	<0,08	0,19	<0,08
CaO	24,23	28,81	32,73	23,11	24,90	31,24	30,30	31,02	30,69
H_2O						0,03	0,15	0,54	0,60
total	99,29	99,29	98,38	98,60	98,54	97,81	97,36	98,35	97,830
Si	2,887	2,907	2,916	2,924	2,981	2,996	2,980	2,926	2,918
Ti	0,010	0,013	0,015	0,019	0,011	0,017	0,020	0,011	0,009
Cr	0,005	0,004	0,000	0,000	0,000				
Al	1,249	0,860	0,345	1,703	1,290	0,735	0,694	0,320	0,347
Fe^{3+}	0,751	1,140	1,665	0,297	0,710	1,247	1,285	1,669	1,664
Fe^{2+}	0,869	0,475	0,109	0,950	0,786	0,237	0,300	0,215	0,244
Mn	0,042	0,040	0,024	0,037	0,033	0,024	0,023	0,023	0,030
Mg	0,019	0,009	0,000	0,056	0,029			0,023	
Ca	2,064	2,472	2,868	1,957	2,151	2,740	2,667	2,740	2,726
OH_{calc}						0,016	0,080	0,296	0,328
Adr	37,7	57,1	83,2	14,9	35,5	62,4	64,5	83,4	83,2
Grs	31,3	25,4	12,4	50,3	36,2	29,0	24,7	7,9	7,7
Alm	29,0	15,9	3,6	31,7	26,2	7,9	10,0	7,2	8,1
Sps	1,4	1,3	0,8	1,2	1,1	0,8	0,8	0,8	1,0
Pyr	0,6	0,3	0,0	1,9	1,0	0,0	0,0	0,8	0,0

Pyroxen

Všechny analyzované pyroxeny z malešovského skarnu patří do skupiny Ca-Mg-Fe klinopyroxenů (MORIMOTO 1989), a odpovídají Mg-hedenbergitu. Pyroxeny z magnetitových a pyroxenových skarnů se vyznačují zvýšenými koncentracemi Na_2O (0,64–1,26 hm. %), Al_2O_3 (0,95–1,49 hm. %) a FeO^{tot} (17,26–19,46 hm. %). To se projevuje vysokým podílem egirinové komponenty na chemickém složení těchto pyroxenů (až 11 mol. %); zbývající část sodíku pak vstupuje s hliníkem do jadeitové složky (až 2,3 mol. %). Pyroxeny ze skarnových typů, ve kterých převládá granát nad pyroxenem, naopak vykazují nízké obsahy Na_2O (do 0,36 hm. %), Al_2O_3 (0,10–0,11 hm. %) a mají tak nízký podíl egirínové, jadeitové i Ca-tschermakitové komponenty. Jemně zrnité i hrubě krystalované klinopyroxeny nejeví zonálnost ani jinou optickou anizotropii. Pyroxeny z práce ŽÁČKA (2002) odpovídají Mg-hedenbergitu s podílem diopsidové komponenty 14–28 mol. %. Jsou pro ně typické zvýšené koncentrace Na_2O (0,37–1,50 hm. %), Al_2O_3 (0,88–2,23 hm. %) a FeO^{tot} (21,7–24,5 hm. %), což koresponduje s chemickým složením pyroxenů pocházejících z magnetitových a pyroxenových skarnů. Pyroxeny z granátových skarnů nevykazují snížené obsahy egirínové, jadeitové ani Ca-tschermakitové komponenty. Chemické složení pyroxenu znázorňuje ternární diagram enstatit-wollastonit-ferosilit (obr. 5a), variabilitu v obsahu jadeitové, egirínové a Ca-tschermakitové složky pak obr. 5b. Chemismus vybraných klinopyroxenů je uveden v tab. 2.



Obr. 5. Chemické složení klinopyroxenu: (a) ternární diagram enstatit-wollastonit-ferosillit; (b) diagram $^{[M1]}Al+^{[M1]}Fe^{3+}$ vs. $^{[M2]}Na$.

Fig. 5. Chemical composition of clinopyroxene: (a) enstatite-wollastonite-ferrosillite ternary diagram; (b) diagram of $^{[M1]}Al+^{[M1]}Fe^{3+}$ vs. $^{[M2]}Na$.

Tabulka 2. Reprezentativní chemické složení pyroxenu ze skarnu z Malešova. Chemické analýzy pyroxenu ze vzorků MA1, MA3 a MA4 pochází z práce ŽÁČKA (2002).

Table 2. Representative chemical composition of pyroxene from Malešov skarn. Chemical analysis of pyroxene from samples MA1, MA3 and MA4 are from the work of ŽAČEK (2002).

vzorek	ML4	ML1	ML5	MA3	MA3	MA4	MA4	MA1	MA1
analýza	2	5	15	2376	2375	2213	2212	2329	2331
pozice	matrix	matrix	matrix	střed	okraj	střed	okraj	střed	okraj
SiO_2	48,40	46,90	50,00	48,53	48,67	47,42	48,90	49,41	48,41
TiO_2	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,15	0,09
Al_2O_3	2,03	2,22	0,20	0,88	1,13	2,23	1,47	0,94	1,35
Cr_2O_3	0,00		0,06	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08
FeO^{tot}	22,82	25,04	20,09	21,70	22,25	24,45	23,23	22,58	24,50
MnO	0,11	0,18	0,26	0,30	0,35	0,00	0,16	0,00	0,32
MgO	3,95	2,62	5,60	4,76	4,57	2,29	3,87	3,74	2,25
CaO	20,83	21,60	23,24	22,54	22,38	21,11	20,78	21,72	21,72
Na_2O	1,56	0,87	0,42	0,37	0,65	1,17	1,50	0,76	0,79
K_2O	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
total	99,79	99,43	99,88	99,08	100,00	98,79	99,91	99,30	99,43
Si	1,912	1,888	1,973	1,959	1,951	1,941	1,963	1,987	1,969
Al^{IV}	0,031	0,040	0,003	0,041	0,049	0,059	0,037	0,013	0,031
Al^{VI}	0,064	0,065	0,006	0,001	0,005	0,049	0,033	0,032	0,034
Fe^{3+}	0,177	0,185	0,075						
Fe^{2+}	0,579	0,658	0,588	0,733	0,746	0,837	0,780	0,760	0,833
Cr	0,000		0,002						
Ti	0,003	0,000	0,000			0,004		0,005	0,003
Mn	0,004	0,006	0,009	0,010	0,012		0,005		0,011
Mg	0,227	0,157	0,330	0,287	0,273	0,140	0,232	0,224	0,136
Ca	0,898	0,932	0,968	0,975	0,961	0,926	0,894	0,936	0,947
Na	0,101	0,068	0,032	0,029	0,051	0,093	0,117	0,059	0,062
X Mg	0,282	0,193	0,359	0,281	0,268	0,143	0,229	0,228	0,141
Wo	47,41	48,41	49,63	48,79	48,46	48,92	47,06	48,83	49,25
En	12,50	8,16	16,65	14,34	13,77	7,38	12,20	11,70	7,10
Fs	40,09	43,43	33,72	36,87	37,77	43,70	40,74	39,47	43,65

Amfibol

Amfibol vzniká na úkor klinopyroxenu a vyznačuje se velmi výrazným pleochroismem (nažloutlá-světle zelená-tmavě zelená). Podle klasifikace LEAKE *et al.* (1997) jsou skarnové amfiboly klasifikovány jako hastingsit, což je ve shodě s chemickým složením amfibolů z práce ŽÁČKA (2002). Amfibol albit-kalcitových žilek má chemické složení od hastingsitu přes hornblend až po aktinolit. Chemismus vybraných analýz amfibolu je uveden v tab. 3.

Epidot

Epidot z epidotového skarnu je železem bohatý, opticky zonální a lze ho klasifikovat jako Fe-epidot s obsahem pistacitové komponenty 22,52–24,75 mol. % (Ps = $Fe^{3+}/Fe^{3+} + Al^{3+}$, obr. 4b). Epidot pravděpodobně vznikl jako retrográdní minerál na úkor granátu. Bezbarvý epidot z epidotového skarnu tvoří nejvýše 0,5 mm velká nepravidelná zrna, která tvoří stejnoměrně zrnitou základní hmotu. Ve skarnových typech, kde epidot výrazně zatlačuje granát, tvoří i zóny přes 3 mm velké, případně vyplňuje intersticie a trhliny mezi podrcenými relikty granátu, který také často uzavírá. Reprezentativní analýzy epidotu jsou uvedeny v tab. 4.

Tabulka 3. Reprezentativní chemické složení amfibolu ze skarnu z Malešova. Chemické analýzy amfibolu ze vzorku MA5 pochází z práce ŽÁČKA (2002).

Table 3. Representative chemical composition of amphibole from Malešov skarn. The chemical analysis of amphibole from sample MA5 are from the work of ŽAČEK (2002).

vzorek	ML4	ML4	ML3	ML3	ML1	MA5	MA5	MA5
analýza	7	15	Z6	32	6	2168	2167	2169
pozice	matrix	matrix	žilka	žilka	matrix	střed	mezi	okraj
SiO_2	37,24	36,19	46,55	47,25	35,83	37,57	37,52	37,72
TiO_2	0,73	0,24	0,04	0,15	0,09	0,69	0,84	0,88
Cr_2O_3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<0,08	<0,08	<0,08
Al_2O_3	10,90	11,91	3,80	2,89	12,85	11,53	11,60	11,67
FeO^{tot}	30,85	30,92	29,66	28,62	31,66	31,19	30,77	30,58
MnO	0,00	0,11	0,27	0,25	0,16	0,30	0,22	0,24
MgO	2,75	2,27	4,13	4,61	1,27	2,03	2,35	2,42
CaO	10,87	11,14	11,30	11,27	11,23	11,22	11,35	11,18
Na_2O	1,92	1,90	0,82	0,72	2,14	1,25	1,12	1,39
K_2O	2,05	1,81	0,14	0,17	0,59	1,84	2,02	2,05
Cl	0,12	0,07	0,10	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
total	97,44	96,55	96,81	96,07	95,81	97,62	97,79	98,13
Si	6,028	5,911	7,378	7,530	5,862	6,018	5,992	6,010
Al^{IV}	1,972	2,089	0,622	0,470	2,138	1,982	2,008	1,990
Al^{VI}	0,108	0,203	0,088	0,073	0,340	0,194	0,176	0,202
Fe^{3+}	0,808	0,904	0,331	0,185	1,006	1,044	1,035	0,936
Fe^{2+}	3,369	3,320	3,601	3,630	3,326	3,134	3,075	3,139
Ti	0,089	0,029	0,005	0,018	0,011	0,083	0,101	0,105
Mn	0,000	0,016	0,036	0,034	0,022	0,041	0,030	0,032
Mg	0,664	0,552	0,976	1,095	0,309	0,485	0,559	0,575
Ca	1,885	1,950	1,918	1,925	1,970	1,926	1,942	1,109
Na	0,603	0,601	0,251	0,221	0,678	0,388	0,437	0,429
K	0,422	0,377	0,029	0,035	0,124	0,376	0,412	0,417
Cl	0,032	0,019	0,027	0,039	0,000			
X Mg	0,165	0,143	0,213	0,232	0,085	0,134	0,154	0,155

Tabulka 4. Reprezentativní chemické složení epidotu ze skarnu z Malešova.

Table 4. Representative chemical composition of epidote from Malešov skarn.

vzorek	ML15	ML15	ML15	ML15	ML15
analýza	2	10	17	20	32
pozice	matrix	matrix	matrix	matrix	matrix
SiO_2	37,11	37,02	37,04	36,94	37,07
Al_2O_3	24,75	24,57	24,89	24,80	24,51
$Fe_2O_3^{tot}$	10,71	11,09	10,26	10,89	11,21
CaO	23,60	23,51	23,78	23,53	23,69
TiO_2	0,24	0,14	0,12	0,17	0,21
Ce_2O_3		0,25	0,20		
total	96,42	96,57	96,29	96,32	96,68
Si	3,039	3,035	3,035	3,029	3,036
Al	2,388	2,375	2,403	2,396	2,366
Fe^{3+}	0,734	0,760	0,703	0,747	0,768
Ti	0,015	0,008	0,007	0,010	0,013
Ca	2,071	2,065	2,088	2,067	2,079
Ce		0,007	0,006		
Ps	23,500	24,248	22,627	23,752	24,500

Magnetit

Magnetit tvoří hrubozrnné až masivní polohy; při okrajích masivních poloh přechází v drobná, nepravidelná až izometrická zrna. Magnetit je téměř čistý (prům. 99,3 hm. % FeO^{tot}), srovnatelně s dalšími magnetity hydrotermálního nebo magmatického původu. Koncentrace dalších oxidů a stopových prvků jsou velmi nízké, v celkovém obsahu do 0,7 hm. %. Magnetit vykazuje zvýšený obsah Al_2O_3 (prům. 0,54 hm. %) a SiO_2 (prům. 0,1 hm. %). Koncentrace titanu (prům. 0,08 hm. %), manganu (prům. 0,08 hm. %) a hořčíku (0,01 hm. %) jsou v porovnání s magnetitem z jiných skarnových lokalit velmi nízké (Bubal 2013). Chalkofilní prvky (Ni, Cu, Zn), vanad i chróm jsou na elektronové mikrosondě pod mezí detekce.

Kalcit

Kalcit se ve skarnech vyskytuje jako vedlejší nebo akcesorický mineral, který se nachází v intersticiálách hlavní skarnové mineralizace nebo tvoří mladší žilky. Kalcit je chudý Mg; za zmínku stojí zvýšené obsahy FeO (do 0,27 hm. % pro granát–pyroxenový skarn, a až 0,83 hm. % pro skarn magnetitový), které pravděpodobně pochází z okolních Fe-minerálů, příp. magnetitu, a měřitelný obsah SrO (0,11–0,37 hm. %).

Plagioklas

Plagioklas se v hlavních skarnových typech vyskytuje pouze akcesoricky a převážně jde o čistý albit. Sekundárně může vznikat např. v přítomnosti amfibolu v kalcit-albitových žilkách, kde rozklad hastingsitu až na aktinolit poskytuje Na a Al pro hydrotermální krystalizaci albitu. Albit obsahuje do 0,1 hm. % K_2O a CaO se nachází pod mezí detekce. Nepatrně vyšší je v albitu obsah Fe (do 0,2 hm. %, v jednom případě 0,83 hm. %).

8. ZÁVĚR A DISKUSE

Malešovské skarnové těleso má čočkovitý tvar a je uloženo v rulovém a migmatitovém komplexu kutnohorského krystalinika. Náleží k typickým Ca-Fe skarnům blízkým ostatním skarnům v Českém masivu. V malešovském skarnovém tělese převládá granát-pyroxenový skarn, méně hojně jsou zastoupeny skarny granátové, magnetitové a sekundární skarny s amfibolem, případně epidotem. Jemnozrnné granátové skarny tvoří izotropní granát tmavě červené barvy (Adr_{78-88} $Grs_{9-19}Alm_{2-4}Prp_{0-0,3}$), zatímco v masivních typech starší zrna granátu tvoří jádra (Adr_{13-38} $Grs_{31-50}Alm_{29-36}Prp_{0-2,5}$), které obrůstá mladší granát (Adr_{28-66} $Grs_{21-37}Alm_{12-33}Prp_{0-1,6}$). V asociaci s nimi je často klinopyroxen ($Hd_{60-90}Di_{10-40}$), který může být zatlačován amfibolem hastingsitového složení. Pokud jsou amfiboly protnuty pozdními kalcitovými žilkami, mění se políčkovitě jejich chemické složení od hastingsitu přes hornblend až na aktinolit. Tato přeměna současně poskytuje Na a Al pro hydrotermální krystalizaci albitu. Epidot je železem bohatý a vzniká jako retrográdní minerál na úkor granátu. Skarnový magnetit je téměř čistý a koncentrace vedlejších a stopových prvků jsou velmi nízké. Magnetit vykazuje mírně zvýšený obsah Al_2O_3 (prům. 0,54 hm. %) a SiO_2 (prům. 0,1 hm. %), zatímco siderofilní (V, Cr) a chalkofilní prvky (Ni, Cu, Zn) jsou pod mezí detekce.

Výše uvedený souhrn dosavadních i nových poznatků ukazuje, že skarnové těleso u Malešova se příliš neliší od podobných kontaktně metasomatických skarnů z jiných lokalit (Vlastějovice, Měděnec). Z pozorovaných petrografických vztahů se jeví granátové, pyroxenové a magnetitové skarny jako primární, zatímco vznik amfibolových reakčních zón, epidotu, karbonátových žil, příp. slabá prostorová silicifikace spjatá s vmístěním granitových pegmatitů, jsou pravděpodobně produkty pozdní alterace. Původní jemnozrnné

granátové skarny jsou často rekrystalizované a tvoří masivní polohy nebo individuální euhedrálně omezená zrna s výraznou zonálností. Chemicky se rekrystalizace granátu projevila výrazným obohacením o andraditovou komponentu a take volatilní složky (OH, F). Chemické složení magnetitu je charakteristické pro metasomatické skarny, avšak původ monominerálních magnetitových těles nebyl dosud zcela objasněn (Bubal 2013). Přetisk skarnové mineralizace regionální metamorfózou ovlivnil nebo setřel primární znaky, což znemožňuje např. interpretaci fluidních inkluzí, které na jiných výskytech ve světě jsou užitečné k vymezení skarnotvorných fluidních roztoků (Meinert *et al.* 2005).

LITERATURA

Bernard, J. H., 2000: Minerály České republiky. Stručný přehled. – Nakladatelství Akademie věd České republiky, Praha, 186 s.

Bernard, J. H., Pouba, Z., eds., 1986: Rudní ložiska a metalogeneze československé části Českého masívu. – Ústřední ústav geologický, Praha, 320 s.

Bubal, J., 2011: Minerální asociace a podmínky vzniku metamorfních skarnů Českého masivu. – Nepublikovaná bakalářská práce, Univerzita Karlova, Praha, 53 s.

Bubal, J., 2013: Geochemie a vznik skarnů Českého masivu. – Nepublikovaná diplomová práce, Univerzita Karlova, Praha, 147 s.

Ebermann, T., 1993: Magnetitové ložisko „Na Černé Rudě“ a „V Jarošci“ u Kutné Hory. – Český Kras, 18, 46–48.

Kachlík, V., 1999: Relationship between Moldanubicum, the Kutná Hora Crystalline Unit and Bohemicum (Central Bohemia, Czech republic): A result of the polyphase Variscan nappe tectonics. – J. Czech Geol. Soc., 44/3–4, 201–292.

Katzer, B., 1904: Notizen zur Geologie v. Böhmen IV. Die Magneteisenlagerstätte von Malešov und Hammerstadt. – Verhandlungen der Geologischen Reichsanstalt, 317, 193–200.

Koutek, J., 1950: Ložisko magnetovce skarnového typu u Vlastějovic v Posázaví. – Rozpravy II. třídy České akademie věd, 60, 27, 30 s.

Koutek, J., 1952: Magnetovcové ložisko „U černé rudy” u Malešova, jižně od Kutné Hory. – Věstník Ústředního Ústavu geologického, 27, 172–173.

Leake, B. E., Woolley, A. R., Arps, C. E. S., Birch, W. D., Gilbert, M. C., Grice, J. D., Hawthorne, F. C., Kato, A., Kirsch, H., Krivovichev, V. G., Linthout, K, Laird, J., Mandarino, J. A., Maresch, W., Nickel, E. H., Rock, N. M. S., Schumacher, J. C., Smith, D. C., Stephenson, N. C. N., Ungaretti, L., Whittaker, E. J. W., Youzhi, G., 1997: Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. – Mineralogical Magazine, 61, 295–321.

Manning, C. E., Bird, D. K., 1990: Fluorian garnets from the host rocks of the Skaergaard intrusion: Implications for metamorphic fluid composition. – Amer. Miner., 75, 859–873.

Meinert, L. D., Dipple, G. M., Nicolescu, S., 2005: World Skarn Deposits. – Economic Geology, 100th anniversary volume, 299–336.

Morimoto, N., 1989: Nomenclature of pyroxenes. – Canadian Mineralogist, 27, 143–156.

Němec, D., 1963: Asociace skarnů s karbonátovými horninami ve svratecké antiklinále. – Sborník geologických věd, Geologie, 2, 101–119.

Němec, D., 1991: Regional typization of the iron skarns of the Bohemian-Moravian Heights (Českomoravská vrchovina). – Acta Musei Moraviae, Scientiae naturales, 76, 51–82.

Pauliš, P., 1997: Skarnové ložisko „U černé rudy“ u Malešova. – Minerál, 5, 6, 402–405.

Pertoldová, J., Pertold, Z., Pudilová, M., 1998: Metamorphic Development of Skarns at Pernštejn, Svratka Crystalline Complex, Bohemian Massif. – Journal of the Czech Geological Society, 43, 191–202.

Pertoldová, J., Týcová, P., Verner, K., Košuličová, M., Pertold, Z., Košler, J., Konopásek J., Pudilová M., 2009: Metamorphic history of skarns, origin of their protolith and implications for genetic interpretation: an example from three units of the Bohemian Massif. – Journal of Geosciences, 54, 101–134.

Sellner, F., 1926: Die Magnetitlagerstätten der Tschechoslowakischen Republik I. (Maleschau bei Kuttenberg). – Zeitschrift für praktische Geologie, 34, 33–48.

Slavík, F., 1925: Nerosty Kutnohorska, jejich výskyt a vznik. – Knihovna příruček z vlastivědy kutnohorska a Uhlířskojanovicka, Kutná Hora, 1, 67–90.

Synek, J., Olivierová, D., 1993: Terrane character of the north-east margin of the Moldanubian Zone: the Kutná Hora Crystalline Complex, Bohemian Massif. – Geologische Rundschau, 82, 566–582.

Štědrá, V. – Čáp, P. – Čech, S. – Dosbaba, M. – Dušek, K. – Dvořák, I. – Holásek, O. – Hradecká, L. – Hroch, T. – Kadlecová, R. – Klečák, J. – Krejčí, Z. – Mašek, D. – Ondovčin, T. – Rejchrt, M. – Skácelová, D. – Skácelová, Z. – Vodrážka, R., 2011: Základní geologická mapa České republiky 1:25 000 s Vysvětlivkami, list 13–324 Kutná Hora. – Archiv České geologické služby. Praha.

Vavřín, I., 1959: Předběžná zpráva o výskytu axinitu v Malešově u Kutné hory. – Časopis pro mineralogii a geologii, Praha, 4, 220.

Vtělenský J., 1958: Prehnit, apatit, sfen a zirkon ze skarnu v Malešově u Kutné Hory. – Časopis pro mineralogii a geologii, Praha, 3, 363.

Whitney, D. L., Evans, B. W., 2010: Abbreviations for names of rock-forming minerals. – American Mineralogist, 95, 185–187.

Žáček, V., 1997: Compositional evolution of garnet in the regionally metamorphosed Moldanubian skarn, Vlastějovice, Bohemia-evidence of the preservation of early stages pre-dating regional metamorphism. – Bull. Czech geol. Surv., 72, 37–48.

Žáček, V., 2002: Hedenbergit, andradit, K-hastingsit a magnetit z Ca-Fe skarnu od Malešova. – Bull. min.-petr. odd. Nár. muz., 10, 308–310. Praha.