

STUDIUM OPTICKÝCH ANOMÁLIÍ V GRANÁTECH Z CA-SKARNŮ BRNĚNSKÉHO, ŠUMPERSKÉHO A ŽULOVSKÉHO MASIVU

Study of optical anomalies in garnets from Ca-skarns in the Brno massif, Šumperk massif and Žulová massif

Dominik Talla, Zdeněk Losos, Petr Sulovský, Renata Čopjaková

Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: sutrar@volny.cz, losos@sci.muni.cz

(14-22 Jeseník, 14-41 Šumperk, 24-34 Ivančice)

Key words: *Moravo-Silesian Zone, Ca-skarns, optical anisotropy, grossular-andradite, electron microprobe*

Abstract: Optical anisotropy commonly occurs in grossular-andradite garnets from different types of Ca-skarns. The difference between the crystal chemistry of isotropic and non-isotropic lamellae is discussed. It is assumed that the substitution of OH groups and fluorine for oxygen or entire SiO_4 tetrahedra is the main cause of the occurrence of optical anomalies in the studied samples, rather than $\text{Fe}^{3+}/\text{Al}^{3+}$ ordering on the positions of trivalent cations, as some previous authors suggest.

Úvod

Optická anizotropie granátů z řady grossular-andradit je velmi častým jevem v celosvětovém měřítku a je zkoumána již řadu let. Moravskoslezské lokality Ca-skarnů (Moravské Bránice u Brna, Bludov u Šumperka a kontakty žulovského masivu) nabízejí z tohoto hlediska doposud neprostudované kvalitní krystaly granátů (hessonitů). Studium povahy optické anizotropie uvedených granátů a indikace příčin těchto jevů byla předmětem bakalářské práce prvního z autorů (Talla 2004).

Geologická pozice studovaných lokalit

Moravské Bránice: Výskyt granátů v Ca-skarnech je situován na jižním svahu kóty Trubač. Malá tělesa Ca-skarnů tvoří součást dvou pruhů stromatitických migmatitů, táhnoucích se ve směru SSZ – JJV od jejího vrcholu (Novák 1979). Tyto migmatity představují reliktně kontaktně metamorfovaného pláště brněnského masivu. Vznik Ca-skarnů je zde podle Nováka (1979) spjat s procesem mikroklinizace, který je pro tuto oblast typický (Mísař et al. 1983). Opticky anizotropní automorfní krystaly granátů hnědočervené barvy se zde vyskytují především na puklinách a dutinách ve skarnech.

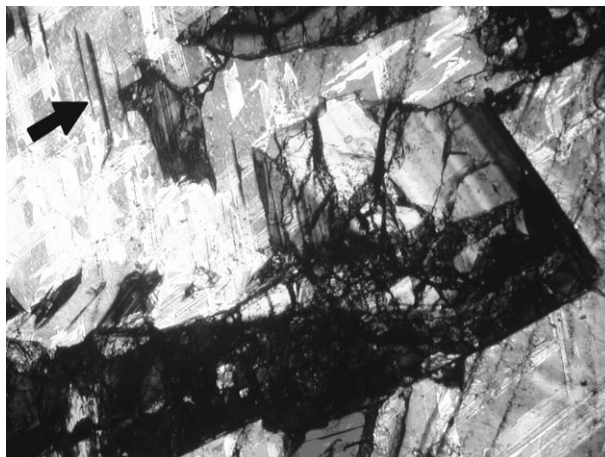
Bludov: Opticky anizotropní grossular-andraditové granáty červenooranžové barvy se nacházejí v několika lomech na JZ svahu kóty Hradisko. V „Novém lomu“ tvoří granáty porfyroblasty o průměru 0,2 – 2 cm v rámci odlišných typů vápenato-silikátových hornin, budujících dvě čočkovitá tělesa, která jsou vyvinuta na kontaktu se šumperským granodioritovým masivem (Mísař et al. 1983).

Žulová: Ca-skarny, obsahující studované granáty, se nacházejí v reakčních zónách četných xenolitů a enkláv mramorů, představujících zbytky kontaktně metamorfovaného pláště žulovského masivu (Losos – Brož 2002). Nejdokonalejší ukázky krystalů granátů s anizo-

tropními sektory pocházejí opět z dutin a puklin, situovaných především v monominerálních partiích Ca-skarnů.

Optické vlastnosti granátů

V rámci předložené studie byly sledovány dobře krystalované granáty hnědočervené či oranžové barvy. Ojedinele lze najít i zcela bezbarvá individua (Žulová – Boží hora). Krystaly jsou omezeny především tvary (110), dále (211), ojedinele (321) (Novák 1979, Rybák 1972). V Bludově jsou izometrické porfyroblasty granátu většinou zaobleny a často zatlačeny směsí wollastonitu, kalcitu a epidotu.



Obr. 1 – Selektivní nahrazování anizotropních lamel v granátu z Moravských Bránic pozdějším kalcitem (zkřížené nikoly). Zřetelné jsou zachovalé izotropní lamely, označené šipkou. Zvětšení 16x.

Fig. 1 – Selective replacement of anisotropic lamellae in a garnet from Moravské Bránice by younger calcite (crossed polars). Preserved isotropic lamellae are clearly visible and are marked by an arrow. Magnification 16x.

Oxidy	Moravské Bránice - jižní těleso						Bludov - Nový lom		Žulová - Boží hora	
	HessIII izo	HessIII aniz	HessII izo	HessII aniz	Hess I izo	Hess I aniz	Izotropní	Anizotropní	Izotropní	Anizotropní
TiO ₂	0,35	0,27	0,13	0,22	0,35	0,17	0,08	1,17	0,92	0,85
Cr ₂ O ₃	0,02	0,01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,75	0,09	n.d.
CaO	32,51	32,16	33,17	34,74	33,29	34,74	36,28	35,71	36,92	37,36
FeO	8,74	8,95	5,73	4,52	8,05	5,60	6,84	7,84	3,15	3,14
MnO	2,13	2,31	1,56	0,43	1,78	1,47	0,17	0,12	0,11	0,14
Na ₂ O	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SiO ₂	38,75	37,51	39,21	39,86	38,75	39,26	38,75	38,32	38,84	38,85
K ₂ O	n.d.	0,01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
P ₂ O ₅	0,03	0,03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Al ₂ O ₃	17,61	16,93	19,67	20,30	17,84	19,47	17,05	15,31	19,97	20,09
MgO	0,04	0,03	n.d.	n.d.	n.d.	0,03	0,03	0,11	0,03	n.d.
Y ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F	0,09	0,13	n.d.	n.d.	0,06	0,22	n.d.	0,06	0,58	0,58
Cl	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Total	100,25	98,34	99,46	100,06	100,13	100,95	99,19	99,39	100,62	101,01
APFU										
Ti	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,07	0,05	0,05
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00
Ca	2,72	2,75	2,75	2,85	2,78	2,84	3,03	3,01	3,01	3,04
Fe ²⁺	0,14	0,09	0,14	0,13	0,10	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,33	0,40	0,16	0,11	0,32	0,24	0,36	0,42	0,16	0,16
Mn ²⁺	0,14	0,16	0,10	0,03	0,12	0,09	0,01	0,01	0,01	0,01
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Si	3,03	2,99	3,04	3,05	3,02	3,00	3,02	3,01	2,96	2,95
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al oktaedr.	1,62	1,59	1,80	1,83	1,64	1,75	1,57	1,42	1,79	1,80
Al tetraedr.	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,01	0,14	0,14
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Koncové členy										
Alm	4,51	3,02	4,81	4,21	3,48	1,89	0,00	0,00	0,00	0,00
Sps	4,69	5,21	3,41	0,93	3,92	3,17	0,36	0,27	0,23	0,30
Pyr	0,16	0,11	0,00	0,00	0,00	0,13	0,11	0,41	0,13	0,00
Grs	73,02	70,92	83,44	88,73	75,35	82,53	81,07	72,45	88,50	89,12
Ti-Grs	1,01	0,81	0,38	0,64	1,02	0,48	0,22	3,46	2,64	2,43
Uvar	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,28	0,00
Adr	16,56	19,89	7,96	5,49	16,23	11,81	18,23	21,09	8,22	8,15

Tab. 1 – Reprezentativní chemické WDX-analýzy (v hmot.%) izotropních a anizotropních sektorů granátů z Moravských Bránic (růstové fáze HessI- HessIII), Bludova a Žulové. n.d.– pod mezí detekce.

Tab. 1 – Representative chemical WDX-analyses (in wt.%) of isotropic and anisotropic sectors of garnet crystals from Žulová, Bludov and Moravské Bránice (growth phases HessI- HessIII), Bludov and Žulová. n.d. – not detected.

Ve zkřížených nikolech jsou ve výbrusech granátů jasně viditelné střídající se ostře omezené izotropní a anizotropní lamely různé tloušťky (0,007 - 0,3 mm), orientované vždy paralelně s vnějším omezením krystalu. Zřetelné a velmi běžné jsou i sutury, indikující dvojčatění většiny krystalů. Tato pozorování jsou v souladu s výsledky dřívějších studií (Akizuki et al. 1984, Akizuki 1984, Allen - Buseck 1988, Rossmann - Aines 1986).

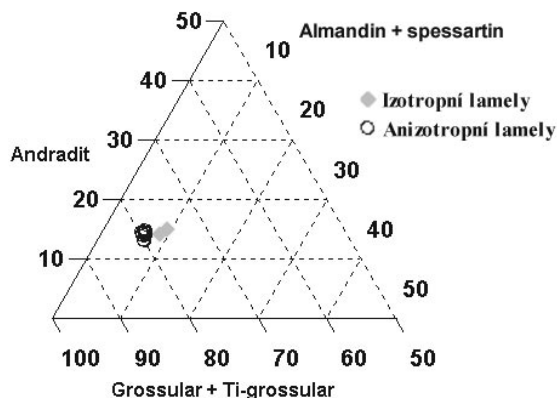
Pozorováno bylo i několik zajímavých jevů, společných všem třem lokalitám. Je to především selektivní nahrazování anizotropních lamel mladšími minerály, především kalcitem, méně často epidotem. Tento jev je nejvíce rozšířen ve vzorcích z Moravských Bránic, kde jsou nejstarší, vnitřní části krystalů tvořeny téměř výhradně anizotropními lamelárními sektory (obr. 1). S tím souvisí i nálezy dutých skořepin makroskopických rozměrů (zachovalé vnější části krystalů), ve kterých jsou podstatně zastoupeny izotropní lamely. Střední partie popisovaných krystalů byly vylouženy.

Dalším společným jevem je výskyt plošných poruch, vedoucích paralelně s rozhraním dvou odlišných lamel. Ty mohou vznikat jako důsledek vyrovnávání vnitřního pnutí v krystalu, či představovat důkaz nerovnoměrného nebo/i přerušovaného růstu krystalů granátu.

Posledním hojně zastoupeným fenoménem je korelace barevné zonálnosti a zonálnosti optické anizotropie, dokládající s největší pravděpodobností primární původ optických anomálií a jejich těsné sepětí se změnami v chemismu přírůstkových zón krystalu.

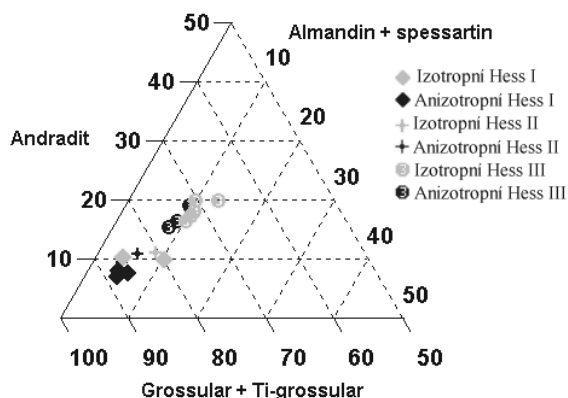
Studium pomocí elektronové mikrosondy

Bodové WDX- chemické analýzy a liniové profily byly provedené na elektronové mikrosondě Cameca SX-100 za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 25 nA, velikost svazku < 1 mm, analyzovali P. Sulovský a R. Čopjaková. Přepočtení analýz bylo provedeno na celkovou sumu 8 kationtů. Studium granátů o složení



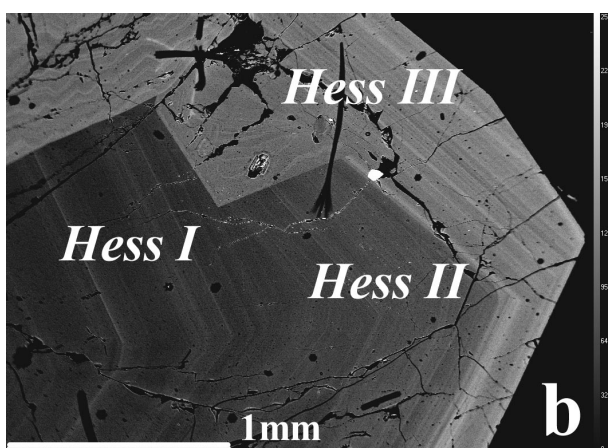
Obr. 2 – Chemické složení izotropních a anizotropních lamel v granátu z Žulové - Boží hory.

Fig. 2 – Chemical composition of isotropic and anisotropic lamellae in garnet from Žulová - Boží hora.



Obr. 4 – Chemické rozdíly mezi izotropními a anizotropními lamelami a jednotlivými růstovými fázemi granátu v Moravských Bránicích.

Fig. 4 – Chemical differences between isotropic and anisotropic lamellae and different growth phases of garnet in Moravské Bránice.



Obr. 3 – Tři růstové fáze granátu z Moravských Bránic; a) polarizační mikroskop, zkřížené nikoly; bílý rámeček ukazuje místo snímku v odražených elektronech (b).

Fig. 3 – Three different garnet growth phases in Moravské Bránice – optical photo (a), the white rectangle shows the position of the back-scattered electron image (b).

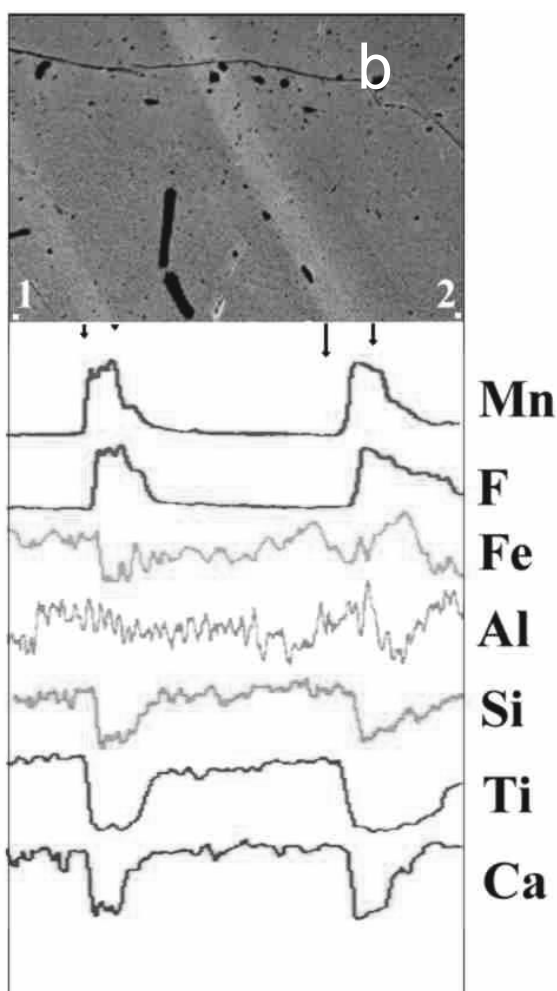
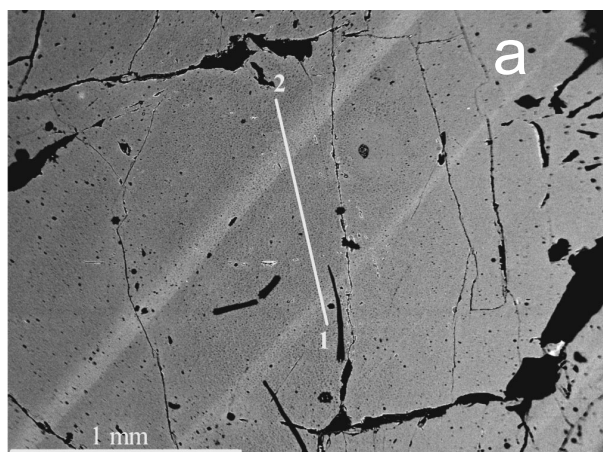
grossular - andradit (tab. 1) pomocí elektronové mikrosondy ukázalo na těsnou korelaci mezi optickou a chemickou zonálností krystalů. Opticky izotropní lamely jsou u všech lokalit zpravidla bohatší andraditovou, almandinovou a spessartinovou komponentou na úkor grossularové složky (obr. 2, tab. 1).

V Moravských Bránicích se kromě chemických rozdílů mezi odlišnými typy lamel dále projevují velmi výrazné změny celkového chemismu krystalů (tab. 1), které jsou interpretovány jako rozdílné růstové fáze krystalů granátu (Hess I, II, III - obr. 4). Jejich hranice lze vysledovat též pomocí optického mikroskopu, neboť se vzájemně liší i poměrným zastoupením izotropních a anizotropních lamel (obr. 3a, b).

Liniový profil krystalem granátu z lomu Jašek u Žulové (obr. 5) ukazuje nápadnou korelaci mezi chemickým složením granátu a optickými vlastnostmi. Dvě světlejší jeví lamely v BSE obraze (tj. s vyšším středním atomovým číslem) jsou opticky izotropní, jejich okolí (v BSE obraze tmavší) je výrazně anizotropní.

Nově byl v granátech z těchto tří lokalit zjištěn fluor (max. 0,99 hmot.% v případě vzorku z Boží hory u Žulové a max. 0,27 hmot.% ve Vycpálkově lomu, do 0,58 hmot.% v granátu z Moravských Bránic a max. 0,31 hmot.% u granátů z Bludova).

Statistickou analýzou výsledků kvantitativních bodových analýz byly zjištěny i některé korelace, ne však vždy výrazné. Kromě korelací které vyplývají z obvyklých vzájemných substitucí na pozicích dvojmocných (Ca^{2+} - Mn^{2+} - Fe^{2+}) a oktaedricky koordinovaných trojmocných (Al^{3+} - Fe^{3+} - Ti^{4+}) kationtů v granátu, byly nalezeny zajímavé vztahy mezi obsahy kyslíku (vypočtenými podle stechiometrie), křemíku a fluoru. Negativní závislost kyslíku a fluoru poukazuje na možnost jejich vzájemné substituce (O^{2-} - F^{-}). Je-li fluor analyticky zjištěn ve struktuře granátu (mez detekce F 480 - 550ppm), objevuje se v některých případech negativní korelace mezi křemíkem a fluorem. To může svědčit o tom, že při větším množství fluoru probíhá



Obr. 5 – Granát z lomu „Jašek“ u Žulové. Znázornění pozice liniového profilu na snímku v odražených elektronech (a), změny chemizmu podél profilu (b).

Fig. 5 – Garnet from the „Jašek“ quarry at Žulová. The position of the linear profile in a BSE photograph (a), changes in chemistry along the profile (b).

substituce celého tetraedru SiO_4 čtyřmi atomy fluoru ($\text{SiO}_4^{4-} - 4\text{F}^-$) za současného uvolnění Si ze struktury (neobsazení tetraedru SiO_4), v analogii se substitucí $\text{SiO}_4^{4-} - 4\text{OH}^-$, která je popsána např. u hydrogrossularu (Rossman - Aines 1986). Křemík koreluje s kyslíkem pozitivně, což je v souladu s jejich vzájemným vystupováním ve formě tetraedrů SiO_4 . V případech, kdy je korelace mezi obsahy kyslíku a křemíku slabší, lze uvažovat o výše zmíněné substituci $\text{SiO}_4^{4-} - 4\text{OH}^-$ jejíž existenci však nelze pomocí elektronové mikrosondy přímým způsobem doložit.

Předběžné závěry

Jak optické, tak i chemické studie naznačují, že optické anomálie mají svůj původ v chemických odlišnostech mezi jednotlivými sektory krystalu. Byly též nalezeny indicie pro řadu substitucí, které jsou společné všem zkoumaným lokalitám. Některé z nich by mohly způsobovat změny mřížkových parametrů či tvaru základní krystalové buňky, vedoucí v konečném důsledku ke snížení celkové symetrie krystalu.

Optické anomálie ve zkoumaných granátech typu grossular-andradit jeví úzký vztah se změnami v chemismu jednotlivých přírůstkových zón v krystalu. Opticky anizotropní lamely se generelně vůči izotropním jeví zpravidla bohatší grossularovou složkou a fluorem a obsahují méně andraditové složky.

Původ vzniku anizotropních sektorů je možné spojovat se substitucí F za O, případně 4F^- za SiO_4^{4-} , neboť fluor je přítomen především v anizotropních lamelách. Grossuláry obsahující fluor jsou známy z regionálně metamorfovaného skarnu u Vlastějovic v moldanubiku (Žáček 1997); zda je jím popisovaný granát opticky anizotropní, nebylo podle Žáčka možno určit vzhledem k hojně přítomnosti drobných anizotropních inkluzí.

Další možností je substituce tetraedrů SiO_4 čtyřmi OH skupinami, doložená již Rossmanem - Ainesem (1986) v grossular-hydrogrossularech z lokality Asbestos v Kanadě. Pro přítomnost OH skupin ve struktuře zkoumaných granátů existují prozatím jen nepřímé indikace. Mezi hlavní se řadí slabší korelace mezi křemíkem a kyslíkem a snížená odolnost anizotropních partií vůči působení pozdnějších hydrotermálních roztoků (nejzřetelnější na lokalitě Moravské Bránice). Jsou-li OH skupiny ve struktuře anizotropních partií přítomny ve větším množství, pak rozhodně jako hydrogrossularová komponenta. Chemická odolnost hydrogrossularu je tak nízká, že jej lze rozložit i běžnými minerálními kyselinami za pokojové teploty (Deer et al. (1982).

Jako méně pravděpodobná se jeví příčina vzniku optické anizotropie vlivem uspořádání iontů Al^{3+} a Fe^{3+} , uváděná některými autory (Akizuki et al. 1984, Akizuki 1984, Allen - Buseck 1988).

Nastíněná problematika je nadále intenzivně zkoumána a v přípravě je obsáhlejší publikace.

Literatura:

- Akizuki, M. (1984): Origin of optical variations in grossular–andradite garnet. – *Amer. Min.*, 69, 4, 328–338. Washington.
- Akizuki, M. – Nakai, H. – Suzuki, T. (1984): Origin of iridescence in grandite garnet. – *Amer. Min.*, 69, 9, 896–901. Washington.
- Allen, F.M. – Buseck, P.R. (1988): XRD, FTIR and TEM studies of optically anisotropic grossular garnets. – *Amer. Min.*, 73, 5, 568–584. Washington.
- Burkart, E. (1953): *Moravské nerosty a jejich literatura*. – Nakl. ČSAV, 1003 str. Praha.
- Deer, W.A. – Howie, R.A. – Zussman J. (1982): Garnet group. – *Rock-forming minerals*, 1A, Orthosilicates. Second edition, 603–689. The Geological Society, London.
- Losos, Z. – Brož, M. (2002): Paragenese a chemismus bimetasomatických kontaktních zón Žulovského masivu. – In: Sborník „Mineralogie Českého masivu a Západních Karpat 2002“, 59–62. ÚP Olomouc.
- Mísař, Z. – Dudek, A. – Havlena, V. – Weiss, J. (1983): *Geologie ČSSR I – Český masív*. – 333 str., SPN, Praha.
- Novák, M. (1979): Studium Ca–skarnů v erlanových tělesech od Moravských Bránic. – MS, disertační práce, PŘF UJEP Brno.
- Rybák, J. (1972): Asociace minerálů z kontaktních výskytů v okolí Žulové. – MS, Diplomová práce, PŘF UJEP Brno.
- Talla, D. (2004): Granáty z kontaktních skarnů žulovského, šumperského a brněnského masivu se zaměřením na anomální optické jevy. – MS, bakalářská práce, ÚGV PŘF MU, Brno.
- Žáček, V. (1997): Compositional evolution of garnet in the regionally metamorphosed Moldanubian skarn, Vlastějovice, Bohemia – evidence of the preservation of early stages predating regional metamorphism. – *Věst. Česk. geol. úst.*, 72, 1, 37–48.