

## VELKÉ PORFYROBLASTY ALMANDINU ZE SENORAD, ZÁPADNÍ MORAVA

LARGE ALMANDINE PORPHYROBLASTS FROM SENORADY, WESTERN MORAVIA

BURIÁNEK, D., HOUZAR, S., HRAZDIL, V., KONIČKOVÁ, Š. & TOMAN, J.

### Abstract

Buriánek, D., Houzar, S., Hrazdil, V., Koničková, Š., Toman, J. (2015): Velké porfyroblasty almandinu ze Senorad, západní Morava. – Acta Musei Moraviae, Sci. geol., 100, 2, 17–28.

### *Large almandine porphyroblasts from Senorady, western Moravia*

Large garnet crystals (porphyroblasts) occur in migmatized biotite paragneiss near Senorady (Moldanubian Zone, Western Moravia). In their chemical composition prevails almandine component (Alm<sub>68-72</sub> Sps<sub>3-10</sub> Prp<sub>16-22</sub> Grs<sub>0-6</sub> Adr<sub>1-6</sub>). Only weak diffuse zonation (Mn-rich core and Mg-rich rim) and inclusions of quartz, ilmenite, apatite and rutile is noticeable in almandine porphyroblasts. The mineral assemblage includes plagioclase An<sub>34-35</sub>, quartz, biotite (phlogopite-annite) and sillimanite. Almandine garnet formed during exhumation of this part of Moldanubian Zone including partial melting at T ~ 650 °C and pressure of ~ 5–6 kbar. Almandine-bearing biotite gneisses with amphibolites, dolomite marbles and calc-silicate rocks between Senorady and Oslavany studied are part of separate varied rock sequence. According to the lithologies, mineral assemblages and metamorphic development are these rocks rather equivalent to the Varied (Drosendorf?) Unit than the Gföhl Unit, where is usually assigned.

*Key words:* almandine, chemical composition, biotite-sillimanite gneiss, metamorphism, Varied Unit, Moldanubian Zone.

David Buriánek, Czech geological Survey, Leitnerova 22, 658 59 Brno, e-mail: david.burianek@geology.cz

Stanislav Houzar, Vladimír Hrazdil, Šárka Koničková, Jiří Toman, Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 659 37 Brno, Czech Republic. e-mail: shouzar@mzm.cz

## 1. ÚVOD

Granáty s převahou almandinové složky představují běžnou součást některých parapl moldanubika i moravika. Zřídka kdy však velikost jejich krystalů přesahuje 3 cm. První zmínky o velkých, až několikacentimetrových krystalech granátů ze Senorad pocházejí z doby před 160 lety (KOLENATI 1854, ZEPHAROWICH 1859), přesto však dosud nebylo známo ani složení těchto granátů, ani minerální asociace a metamorfni vývoj hostitelských hornin. Krátkou zmínku o těchto granátech uveřejnil DVORSKÝ (1880) a od té doby je jejich výskyt stručně zmiňován v regionální mineralogické literatuře. Sběratelé minerálů naleziště, ležící v údolí potoka tekoucího směrem k Oslavě poblíž známého „Senoradského hradiska“ čili „Šancí“, dobře znali a často navštěvovali. Zdejší granáty se tak staly součástí mnohých soukromých i veřejných sbírek. Granáty byly sbírány zejména v odkryvech na levém břehu potoka (obr. 1a; dnes zastavěno), v současnosti pak v menší rokli nad jeho pravým břehem přímo pod „Šancemi“ (obr. 1b).



Obr. 1. a) Původní lokalita almandinu u Senorad – výchozy na levém okraji fotografie. V popředí „Šance“ s lůmkem v amfibolitech a migmatitech s vložkami mramoru (historické foto M. Vavřínová, 1947). b) Sběratel minerálů F. Peštál na lokalitě granátu pod „Šancemi“ (historické foto V. Pešek, 7. 10. 1928).  
 Fig. 1. a) The original locality of almandine near Senorady – outcrops on the left edge of the photo. In the foreground is ruine “Šance” with a small quarry in amphibolite and migmatite with marble (historical photo M. Vavřínová, 1947). b) Mineral collector Fr. Peštál in the garnet occurrence under the “Šance” (historical photo V. Pešek, 7. 10. 1928).

O geologických podmínkách výskytu nebylo dosud rovněž nic známo, pouze PATEL (1972) připomíná, že se zdejší velké krystaly granátu vyskytují v silně zvětralé moldanubické biotitické rule s četnými vložkami izoklinálně zvrásněných amfibolitů.

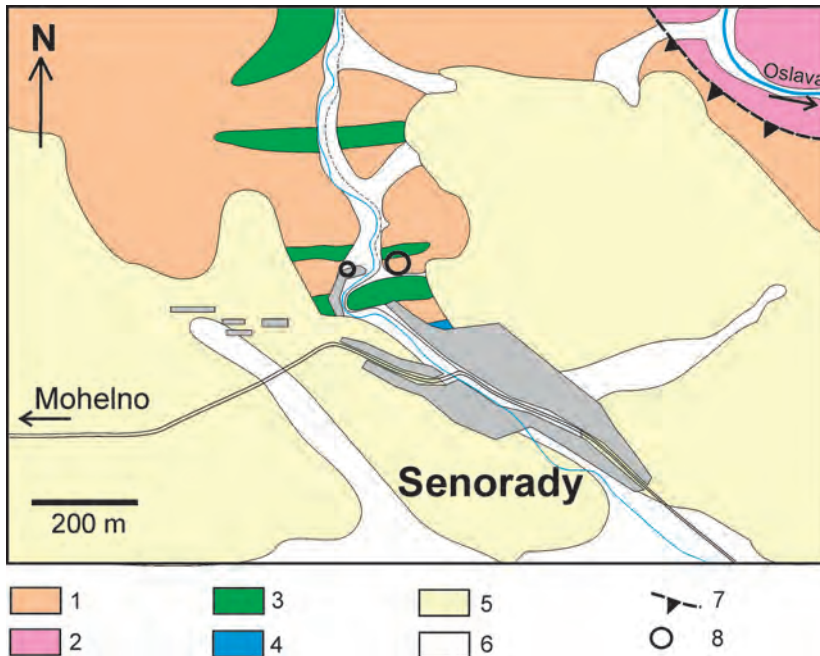
## 2. GEOLOGICKÁ SITUACE

Z geologického hlediska leží Senorady (6 km z. od Oslavan) na okraji moravského moldanubika, které se v blízkém okolí obce stýká s horninami moravika (olešnickou jednotkou).

Většina autorů dnes člení moldanubikum na dvě základní jednotky: drosendorfskou a gföhlskou. Drosendorfská jednotka obsahuje hlavně středně metamorfované vulkanosedimentární komplexy budované především různými typy pararul a migmatitů s odlišným zastoupením pestrých vložek jako jsou amfibolity a mramory (na základě toho dělíme tuto jednotku na dvě (sub)jednotky – monotónní a pestrou skupinu např. VRÁNA *et al.* 1995). Naproti tomu v gföhlské jednotce jsou kromě migmatitů výrazně zastoupeny vysoce metamorfované horniny, jako jsou granulity, granátické peridotity, eklogity a některé metamorfované skarny. Zájmová oblast u Senorad je obvykle řazena k gföhlské jednotce (VRÁNA *et al.* 1995; FINGER *et al.* 2007, CHÁB *et al.* 2008, SCHULMANN *et al.* 2008).

Styk jednotek v oblasti Senorad nejpodrobněji studoval PATEL (1972), který rovněž zdůraznil existenci výrazné sekvence moldanubických migmatitizovaných biotitických pararul a migmatitů, ležící v tektonickém podloží granulitů, jen nedokonale odkrytých v jižním okolí obce. Lokálně četné vložky dolomitických mramorů a amfibolitů v těchto biotitických pararulách odpovídají litologií i minerálními asociacemi pestré skupině moldanubika (HOUZAR a NOVÁK 1991).

Mezi horniny moldanubika a podložní olešnickou jednotku (moravikum) s mramory, kvarcitty, grafitickými rulami, grafity a amfibolity v tmavých drobnozrnných dvojslídých a biotitických pararulách a svorech, se vkládá relativně monotónní „svorová zóna“ s narůžovělými migmatity (metatextity až diatextity) až ortorulami. Vyznačuje se přítomností muskovitu, částečně retrográdního původu. Migmatity a ortoruly se střídají s méně mocnými polohami světlých, hrubě lepidoblastických biotit-muskovitických svorů, které v podloží migmatitů převládají a obsahují častá protáhlá tělesa amfibolitů. Svoji litologickou náplní „svorová zóna“ odpovídá spíše svrateckému krystaliniku (BURIÁNEK (ed.) *et al.* 2011) než



Obr. 2. Geologická situace naleziště granátu u Senorad (upraveno podle MATĚJOVSKÉ a MINAŘIKOVÉ 1991).  
 1 - migmatitizovaná biotitická rula (moldanubikum); 2 - migmatit a ortorula (svratecké krystalinikum);  
 3 - amfibolit; 4 - mramor; 5 - jíly, hlíny, spraše (terciér-pleistocén); 6 - převážně aluviální sedimenty;  
 7 - tektonická linie (násun); 8 - lokality granátu.

Fig. 2. Geological situation at the garnet occurrence at Senorady (MATĚJOVSKÁ and MINAŘIKOVÁ 1991, modified).  
 1 - biotite gneiss migmatized (Moldanubicum); 2 - migmatite and orthogneiss (Svratka Crystalline Unit); 3 - amphibolite; 4 - marble; 5 - clay, loams loess (Tertiary-Pleistocene); 6 - predominant alluvial sediments; 7 - tectonic line (overthrust); 8 - garnet localities.

retrográdně metamorfovanému moldanubiku nebo olešnické skupině. Na tuto skutečnost upozornil již ZAPLETAL (1932), avšak většina pozdějších autorů tomu nevěnovala pozornost (např. MÍŠAŘ *et al.* 1983). Zvláště výskyt narůžovělých muskovit-biotitických ortorul a migmatitů v asociaci s muskovit-biotitickými až biotit-muskovitickými svorů s turmalínem a turmalinitou je pro svratecké krystalinikum typický (BURIÁNEK (ed.) *et al.* 2011); u Senorad je však turmalín v ortorulách většinou spíše akcesorický. Tektonický kontakt mezi svrateckým krystalinikem a moldanubikem je díky texturní podobnosti převládajících migmatitů a rul v terénu špatně patrný a proto je hranice mezi oběma jednotkami vedena na základě „muskovitové izogrady“.

Na pozici a průběh hraniční linie mezi moravikem a moldanubikem (náměšský zlom, morávní linie) dosud neexistuje jednotný názor. V původní koncepci SUESSE (1897) probíhá tektonická linie při z. okraji obce ve směru SSZ-JJV a odděluje pouze migmatity s amfibolity od dvojslídnych rul a svorů, včetně litologicky pestré olešnické jednotky (všechny tyto horniny by měly náležet moldanubiku). Novější obecně přijímané koncepce předpokládají, že se zmíněná hraniční linie severně od Senorad stáčí do směru přibližně V-Z a odděluje buď tzv. „svorovou zónu“ („nedvědickou sérii“) od olešnické jednotky a bítešské ortoruly (moravikum) která vystupuje v jejím podloží (KALÁŠEK *et al.* 1963), nebo odděluje jižnější moldanubické biotitické pararuly, migmatity a granulity od výše zmíněné „svorové zóny“, (PATEL 1972, JAROŠ 1992).

Lokalita granátů u Senorad se nachází při sz. okraji obce v migmatizovaných biotitických pararulách moldanubika. Dominantní metamorfni foliace v sekvenci budované detailně provrášenými migmatity s několika mocnějšími a četnými menšími vložkami amfibolity upadá příkře k VJV (~120/80°). Mocnější těleso drobnozrnného amfibolitu vystupuje v biotitických pararulách v nadloží studované lokality („Šance“), v nichž též nacházíme ojedinělé polohy dolomitických spinel-forsterit-flogopitových mramorů (HOUZAR a NOVÁK 1991), lokálně doprovázených skapolit-diopsidovými a grossular-diopsidovými vápenatosilikátovými horninami s akcesorickým scheelitem. Amfibolity tvoří v rovněž bezprostředním podloží lokality vložku o mocnosti cca 10 m upadající příkře k JJV (~153/80°). Podložní komplex v severním směru až k náměštské dislokaci tvoří migmatizované biotitické pararuly, střídající se s migmatity a amfibolity, s ojedinělými serpentinity (BURKART 1953), lokálně s častým granátem (velikost porfyroblastů 2–5 mm, ojediněle ≤1 cm), střídající se s šedými arteritickými migmatity (bez muskovitu). Foliace rul a migmatitů se stejným směrem stáčí až do směru V-Z až ZSZ-VJV, s úklonem 50–60° k J, resp. JJZ.

### 3. MINERALOGIE GRANÁTU

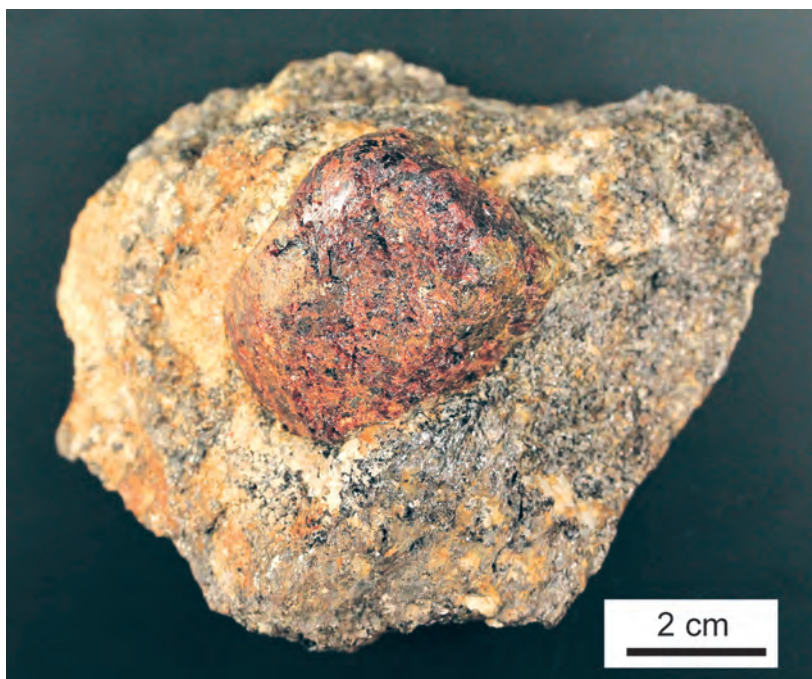
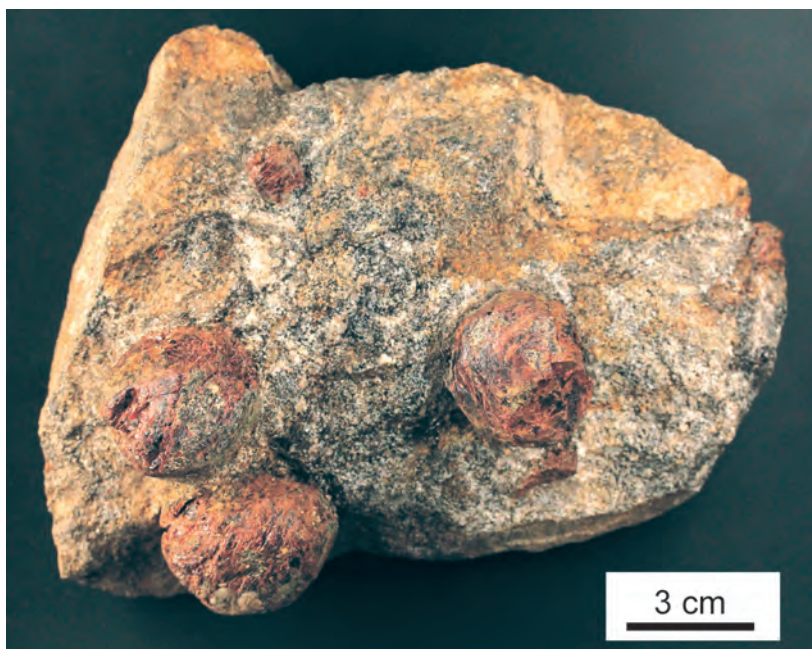
#### 3. 1 Minerální asociace

Granát tvoří porfyroblasty v migmatizované biotitické pararule s asociací granát+biotit+plagioklas+křemen+sillimanit±chlorit, společně s častými porfyroblasty plagioklasů a K-živce, jejichž velikost dosahuje asi 1 cm. Někdy má vzhled tmavě drobnozrnné biotitické „perlové ruly“ s drobnými světlými porfyroblasty živců.

Granát je částečně součástí paleosomu, v němž tvoří izometrická zrna a subhedrální až euhedrální krystaloblasty velikosti do 1 cm tvaru romboického dodekaedru (110), někdy v kombinaci s tetragonálním trioktaedrem (211). Drobnozrnná matrix (průměrná velikost zrn 1 mm) je tvořena protáhlými zrny křemene, plagioklasů a paralelně uspořádanými šupinami biotitu, místy nahlučenými do slídnatých agregátů, lokálně s dlouze vláknitým sillimanitem.

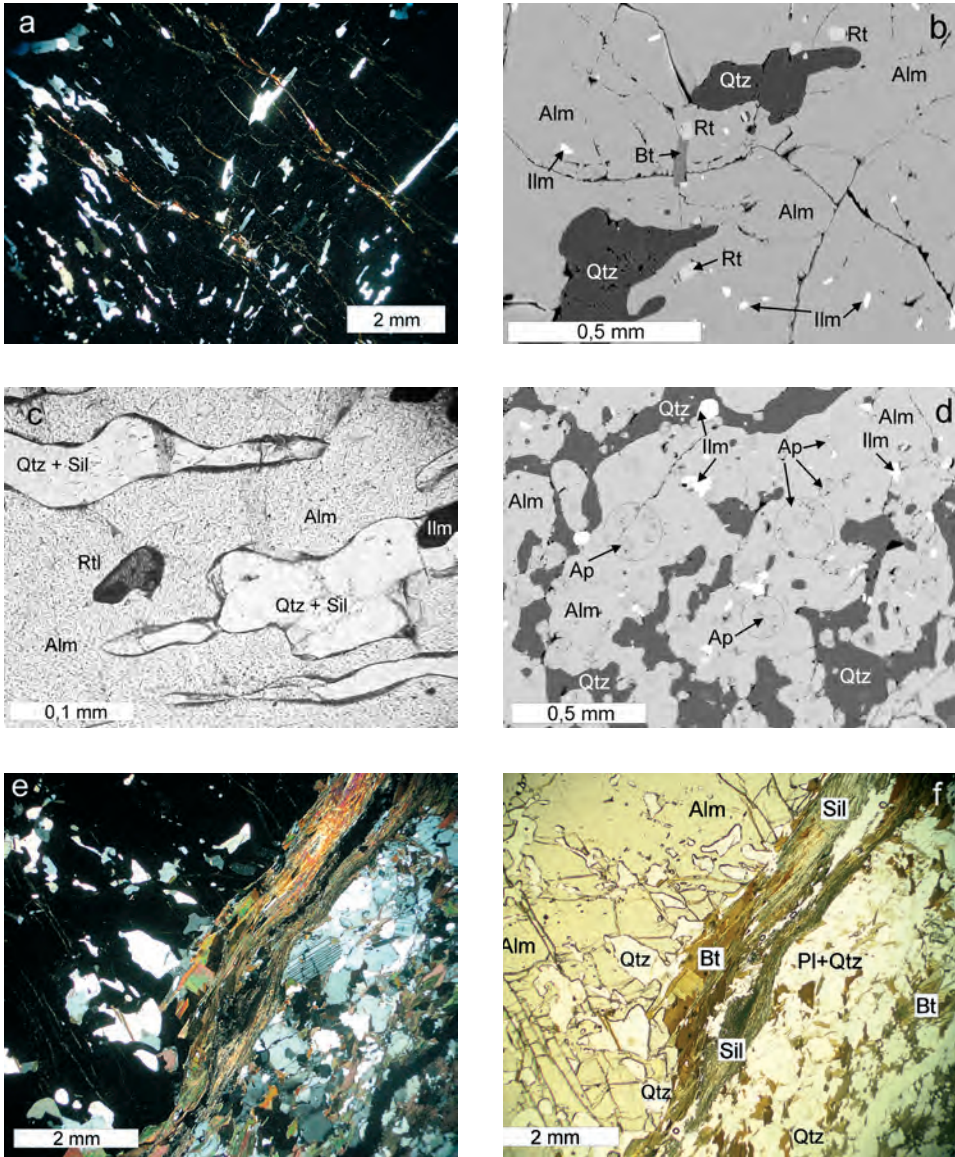
Část horniny má charakter metatexitu se středně zrnitým až hrubozrnným křemen-živcovým neosomem charakteru nepravidelných krátkých provrášených ložních pegmatoidních žil o mocnosti do několika cm. V ní granát vystupuje při kontaktu žil neosomu v izometrických zrnech, částečně omezených krystalovými plochami, velikosti až 6 cm nebo ve velkých, zaoblených, mírně zploštělých porfyroblastech („oblázkového vzhledu“), protažených ve směru foliace a lineace (30–35°), s mírně zaoblenými krystalovými plochami. Porfyroblasty granátu jsou převážně silně rozpukané, uzavírají křemen a biotit, jsou obklopené většími lupínky a pronikány žilkami chloritizovaného biotitu; ojediněle byl zjištěn turmalín.

Mikroskopicky je granát dokonale izotropní, bez patrné zonálnosti, s četnými uzavřeninami a srůsty křemene především při okrajích zrn. Inkluze křemene jsou většinou nepravidelné nebo mají silně protáhlý tvar s délkou až okolo 1 mm. Někdy jsou vyvinuté ve dvou rozdílných směrech, v jejichž rámci jsou však opticky shodně orientované; nikdy nejsou esovitě zakřivené (obr. 4a). Součástí větších inkluzí křemene je též plagioklas. Velmi hojně jsou v granátu inkluze ilmenitu, vzácněji i rutilu, o velikosti < 100 μm (obr. 4b, c). Rutil naopak dominuje v uzavřeninách křemene v granátu společně se sillimanitem. Ojedinělý je v granátu tabulkovitý biotit a fluorapatit o velikosti izometrických „pórovitých“ zrn 100–200 μm (obr. 4d). Při kontaktu porfyroblastů granátů je vedle biotitu velikosti > 300 μm běžný fibrolitický sillimanit, vůči biotitu někdy zřetelně mladší (obr. 4e, f). V okolní středně zrnité hornině převládá křemen, plagioklas An < 50 a částečně chloritizovaný biotit, zatlačovaný jehlicovitým sillimanitem, z akcesorických minerálů ilmenit nad ojedinělým magnetitem (se sillimanitem), a monazitem. Zřetelně sekundární je chlorit pronikající granátem v úzkých žilkách.



Obr. 3. Izometrické krystaly almandinu v migmatizované biotické ruly (nahore); zaoblený mírně zploštělý porfyroblast almandinu v rovině foliace migmatizované ruly (dole), foto J. Toman.

Fig. 3. Isometric crystals of almandine in migmatized biotite gneiss (top); - rounded slightly flattened garnet porphyroblast in foliation of migmatized biotite gneiss (bottom), photo by J. Toman.

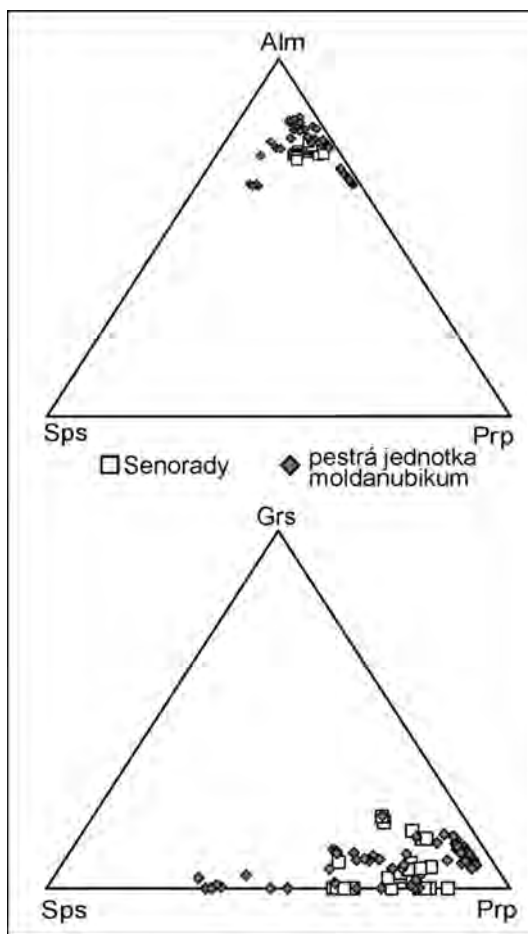


Obr. 4. a - Dvě skupiny různě orientovaných inkluzí křemene v granátu (XPL, foto J. Toman); b - inkluze ilmenitu, rutilu a biotitu (anal. č. 1 v tabulce 2) v granátu (BSE, foto R. Čopjaková); c - inkluze rutilu v granátu a s ilmenitem v uzávřeninách křemene (PPL, foto J. Toman); d - „pórézní“ apatit a ilmenit v granátu s křemenem (BSE, foto R. Čopjaková); e - styk porfyroblastu granátu s okolní horninou, se sillimanitem při kontaktu (XPL, foto J. Toman); e - dtto (PPL, foto J. Toman).

Fig. 4. a - Two groups of distinctly oriented quartz inclusions in garnet (XPL, photo J. Toman); b - ilmenite, rutile and biotite (anal. no. 1 in table 2) inclusions in garnet (BSE photo R. Čopjaková); c - garnet, rutile and ilmenite inclusions in quartz-garnet intergrowths (PPL, photo J. Toman); d - "porous" apatite and ilmenite in quartz-garnet intergrowths (BSE, photo R. Čopjaková); e - the contact of garnet porphyroblast with surrounding rock, along the contact with sillimanite (XPL, photo J. Toman); e - dtto (PPL, photo by J. Toman).

### 3.2 Chemické složení minerálů

Porfyrblasty **granátu** (velikost > 1 cm) se vyznačují jednoduchým chemickým složením (tab. 1). Dominuje **almandinová složka** ( $\text{Alm}_{68-72} \text{Prp}_{16-22} \text{Sps}_{3-10} \text{Grs}_{0-6} \text{Adr}_{1-6}$ ) (obr. 5). Granát má poměrně nevýraznou, patrně difúzní zonálnost, se středy mírně bohatšími Mn (3,63–4,26 hm. % MnO; 0,248–0,291 apfu Mn, okraje  $\leq 2,81$  hm. % MnO;  $\leq 0,191$  apfu Mn) a okraji relativně bohatšími Mg (4,24–5,49 hm. % MgO; 0,506–0,662 apfu Mg, středy granátu  $\leq 4,15$  hm. % MgO;  $\leq 0,501$  apfu Mg). Mírně kolísavý, někdy ve středech nepatrně zvýšený, je obsah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,21–1,86 hm. %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 0,012–0,114 apfu  $\text{Fe}^{3+}$ ), podobné je chování vápníku (1,22–2,46 hm. % CaO; 0,106–0,211 apfu Ca), ale s opačným trendem. Nejnižší podíl  $\text{Fe}^{3+}$  (0,012–0,026 apfu) má almandin v asociaci s uzavřeným biotitem. Podíl ostatních prvků je velmi nízký, s výjimkou P (0,001–0,007 apfu) na hranici a pod mezí stanovení (Ti  $\leq 0,003$ ; Sc  $\leq 0,004$ ; Cr  $\leq 0,004$ ; V  $\leq 0,003$ ; Na  $\leq 0,008$ ; Y  $\leq 0,001$ , vše v apfu). Drobná zrna granátu v sillimanit-biotit-plagioklasové rule (paleosomu) v okolí porfyrblastů velikosti cca 1–2 mm mají rovněž stejné složení bez patrné zonálnosti, které odpovídá okrajům velkých granátů.



Obr. 5. Ternární diagramy Alm-Sps-Prp a Grs-Sps-Prp složení granátu ze Senorad (tato práce) a granátů metapelitů pestré (drosendorfské) jednotky moldanubika (VERNER (ed.) et al. 2012 a nepublikovaná data autorů).

Fig. 5. Ternary Alm-Sps-Prp and Grs-Sps-Prp composition diagrams of garnet. Senorady (this work) and garnet from metapelites of Varied (Drosendorf) units, Moldanubicum (VERNER (ed.) et al. 2012, unpublished data authors).

Tabulka 1. Reprezentativní analýzy granátu.  
Table 1. Representative analyses of garnet.

	o 30	o 31	s 35	s 36	s 37	o 42	o 43	o 2
SiO <sub>2</sub>	37,25	36,87	36,42	36,56	36,25	36,16	36,27	37,48
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	b.d.	0,03	b.d.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,21	21,08	20,58	20,62	20,73	20,97	20,79	20,93
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,03	0,03	0,05	0,02	0,01	0,03	0,03
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	b.d.	0,02	0,01	0,03	0,04	b.d.	0,02	b.d.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,68	1,18	1,65	1,62	1,81	2,33	1,87	0,44
FeO	31,55	31,05	30,72	30,69	30,59	30,36	30,93	31,48
MnO	2,11	1,98	4,15	4,26	4,15	1,87	1,87	1,52
MgO	4,24	4,72	3,95	3,93	3,95	4,89	5,07	5,26
CaO	2,46	2,02	1,27	1,45	1,23	1,78	1,27	1,94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,05	0,06	0,09	0,07	0,03	0,09	0,03
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	b.d.
Celkem	99,61	99,06	98,93	99,35	98,9	98,43	98,29	99,13
Si <sup>4+</sup>	2,979	2,961	2,957	2,956	2,943	2,926	2,938	2,996
Ti <sup>4+</sup>	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
P <sup>5+</sup>	0,001	0,003	0,004	0,006	0,005	0,002	0,006	0,002
	2,981	2,965	2,962	2,963	2,949	2,928	2,946	2,998
Al <sup>3+</sup>	1,999	1,995	1,969	1,965	1,984	2,000	1,985	1,972
Sc <sup>3+</sup>	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
Cr <sup>3+</sup>	0,001	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	0,002
V <sup>3+</sup>		0,001	0,001	0,002	0,003		0,001	
Fe <sup>3+</sup>	0,041	0,071	0,101	0,099	0,111	0,142	0,114	0,026
	2,043	2,070	2,076	2,070	2,100	2,144	2,104	2,002
Fe <sup>2+</sup>	2,110	2,086	2,086	2,075	2,077	2,054	2,095	2,104
Mn <sup>2+</sup>	0,143	0,135	<b>0,285</b>	<b>0,292</b>	<b>0,285</b>	0,128	0,128	0,103
Mg <sup>2+</sup>	<b>0,506</b>	<b>0,565</b>	0,478	0,474	0,478	<b>0,590</b>	<b>0,612</b>	0,627
Ca <sup>2+</sup>	0,211	0,174	0,110	0,126	0,107	0,154	0,110	0,166
Na <sup>+</sup>	0,006	0,005	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	
	2,976	2,965	2,962	2,969	2,950	2,928	2,948	3,000
CATSUM	8	8	8	8	8	8	8	8
O	12	12	12	12	12	12	12	12

o - okraj, rim; s - střed, core; anal. č. 30-43 reprezentují profil jedním krystalem, č. 2 granát při kontaktu inkluze biotitu, anal. no. 30-43 represent profil through garnet crystal, no. 2 garnet along contact of biotite inclusion.

Lupínky **biotitu** nejeví zonálnost, avšak existují rozdíly mezi složením biotitu uzavřeném v porfyroblastech granátu a v okolní ruce (tab. 2). V prvním případě převládá flogopitová (1,279-1,412 apfu Mg), v druhém annitová složka (Fe>Mg, 1,643-1,670 apfu Al<sub>tot</sub>). Obsahy Ti v biotitu paleosomu jsou mírně zvýšené oproti biotitu v granátu (2,67-3,07 hm % TiO<sub>2</sub>; 0,157-0,179 apfu Ti vs 2,06-2,44 hm % TiO<sub>2</sub>; 0,118-0,137 apfu Ti). Podíl Na (0,036-0,058 apfu), Mn (0,001-0,005 apfu) a F (0,034-0,045 apfu) je nízký, Ba a Cl je pod mezí stanovení. V případě složení vedlejších složek převládá V (0,004-0,010 apfu) nad Cr (0,002-0,005 apfu), velmi nízký a kolísavý je obsah Zn (0-0,007 apfu).



**Živce** (plagioklasy) jsou nezonální, poměrně jednotného složení ( $An_{34-35}$ ), s nepatrným podílem K (~ 0,010 apfu), Ba a Sr pod mezí stanovení.

Mezi akcesorickými minerály dominuje **ilmenit** s převahou Fe-složky (96-100 %) nepatrný je podíl pyrofanitové (2–3 %) a geikielitové složky (1–4 %). Pouze ojediněle byl v asociaci sillimanitu a biotitu zjištěn ilmenit s vysokým obsahem manganu (8,92 hm. % MnO; 22 % pyrofanitové komponenty). **Apatit** odpovídá fluorapatitu s nízkým obsahem fluoru ( $\leq 2,12$  hm. %; 0,565 apfu F) a manganu ( $\leq 0,18$  hm. % MnO; 0,013 apfu Mn), s nepatrným podílem Cl ( $\leq 0,18$  hm. %; 0,03 apfu) a REE (suma LREE + Y  $\leq 0,08$  apfu); **rutil** neobsahuje kromě nepatrného obsahu Fe žádné další příměsi, stejně jako **sillimanit**.

Tabulka 2. Reprezentativní analýzy biotitu, plagioklasu a ilmenitu.  
Table 2. Representative analyses of biotite, plagioclase and ilmenite.

Asociace anal. č.	biotit Qtz+Alm 1	biotit Qtz+Alm 22	biotit Qtz+Pl 29	biotit Qtz+Pl 12	plagioklas Qtz+Bt 8	plagioklas Qtz+Sil 9	ilmenit Rt+Alm 4	ilmenit Qtz+Bt 27	ilmenit Qtz+Pl+Bt 28
SiO <sub>2</sub>		35,48	35,26	34,59	59,73	59,58	b.d.	b.d.	b.d.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		b.d.	b.d.	b.d.	0,02	0,07	b.d.	b.d.	b.d.
TiO <sub>2</sub>	2,44	2,06	2,68	2,86	-	-	51,09	51,59	51,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,86	18,9	18,48	18,28	25,25	24,98	0,03	0,01	0,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09	0,04	0,04	0,05	-	-	0,06	0,05	b.d.
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,17	0,06	0,07	0,10	-	-	0,39	0,4	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *					0,09	0,04			
FeO**	14,47	18,29	19,05	19,59	-	-	46,25	46,12	47,02
MnO	0,01	0,06	0,06	0,07	-	-	0,76	0,68	0,83
MgO	12,72	10,32	9,41	9,24	-	-	0,97	0,86	0,25
CaO	0,08	0,08	b.d.	0,01	7,01	6,95	b.d.	b.d.	b.d.
ZnO	0,06	0,13	0,05	0,04	-	-	0,05	0,11	0,06
K <sub>2</sub> O	9,17	8,49	9,01	9,25	0,15	0,12	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	0,38	0,27	0,29	0,31	7,77	7,73	-	-	-
H <sub>2</sub> O ***	3,94	3,85	3,84	3,82	-	-	-	-	-
F	0,19	0,16	0,15	0,14	-	-	-	-	-
O=F	-0,08	-0,07	-0,06	-0,06					
Celkem	98,98	98,13	98,33	98,29	100,02	99,47	99,6	99,82	99,30
Si <sup>4+</sup>	2,717	2,707	2,704	2,671	2,664	2,67			
P <sup>5+</sup>					0,001	0,003			
Ti <sup>4+</sup>	0,137	0,118	0,155	0,166			0,975	0,981	0,982
Al <sup>3+</sup>	1,655	1,699	1,670	1,664	1,327	1,319	0,001		0,001
Cr <sup>3+</sup>	0,005	0,002	0,002	0,003			0,001	0,001	
V <sup>3+</sup>	0,010	0,004	0,004	0,006			0,008	0,008	0,001
Fe <sup>3+</sup>					0,003	0,001			
Fe <sup>2+</sup>	0,901	1,167	1,222	1,265			0,981	0,975	1,005
Mn <sup>2+</sup>	0,001	0,004	0,004	0,005			0,016	0,015	0,018
Mg <sup>2+</sup>	1,412	1,174	1,076	1,064			0,037	0,032	0,010
Ca <sup>2+</sup>	0,006	0,007		0,001	0,335	0,334			
Zn <sup>2+</sup>	0,003	0,007	0,003	0,002			0,001	0,002	0,001
K <sup>+</sup>	0,871	0,826	0,882	0,911	0,009	0,007			
Na <sup>+</sup>	0,055	0,040	0,043	0,046	0,672	0,672			
H <sup>+</sup>	1,955	1,961	1,964	1,966					
F <sup>-</sup>	0,045	0,039	0,036	0,034					
O <sup>2-</sup>	11,955	11,961	11,964	11,966					
CATSUM	7,774	7,755	7,765	7,805	5,010	5,005	2,02	2,014	2,017
AN SUM	12	12	12	12	8	8	3	3	3

\*celkové Fe jako Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; \*\*celkové Fe jako FeO. \*\*\*vypočteno ze stechiometrie.

\*all Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; \*\*all Fe as FeO. \*\*\*calculated by stoichiometry.

### 3.3 PT podmínky vzniku granátů

Protože středy porfyroblastů granátů neobsahovaly dostatek vhodných inkluzí, byly PT podmínky vypočteny pouze pro okraj granátu. Při výpočtu bylo použito několik typů geotermometrů a geobarometrů (viz tab. 3). Teplota byla zjištěna pomocí granát-biotitového geotermometru (BHATTACHARYA *et al.* 1992) a geotermometru založeného na obsahu Ti v biotitu (HENRY a GUIDOTTI 2002). Tlak byl vypočten pomocí geobarometrů granát-biotit-plagioklas-křemen (WU *et al.* 2004) a plagioklas-granát-Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>-křemen (KOZIOL a NEWTON 1988). Při výpočtech v programu Thermocalc 3.33 (HOLLAND a POWELL 1998) byla použita minerální asociace granát-biotit-plagioklas-křemen-sillimanit-ilmenit. Všechny zmíněné metody přitom poskytly podobný výsledek tedy teploty kolem 650 °C a tlaky mezi 5 až 6 kbar (tab. 3). Zonálnost granátu je difuzní (SPEAR 1993) a naznačuje růst v podmínkách vyšší amfibolitové facie, což je v souladu se získanými výsledky.

Tabulka 3. P-T podmínky vzniku okrajů porfyroblastů granátů.

Table 3. PT conditions of garnet porphyroblasts rim.

kalibrace	T (°C) / p (kbar)
Biotitový geotermometr (Henry a Guidotti 2002)	655 ± 30
GBPQ geobarometr (Wu et al. 2004)	5,4 ± 0,8
Grt-Bt geotermometr (Bhattacharya et al. 1992)	655 ± 49
GASP (Koziol a Newton 1988)	5,2 ± 0,7
Thermocalc 3.33 (Holland a Powell 1998)	641 ± 174
Thermocalc 3.33 (Holland a Powell 1998)	5,8 ± 2,9

## 4. DISKUSE

Migmatity s porfyroblasty granátu u Senorad jsou součástí samostatné litotektonické sekvence, ležící mezi podložním komplexem migmatitů a svorů moravské svorové zóny (svrateckého krystalinika) a nadložními granulity a ortorulami náměšského komplexu. Typickým znakem migmatitizovaných biotitických pararul na severním okraji Senorad jsou granáty odpovídající almandinu s menším podílem pyropové, spessartinové, grossularové a andraditové složky a bez výraznější zonálnosti. Na studované lokalitě tvoří tento granát porfyroblasty velikosti až 6 cm, na ostatních lokalitách v širším okolí jeho velikost nepřesahuje 2–5 mm (např. Nová Ves u Oslavan).

Velké porfyroblasty granátu byly postiženy deformací, která se projevuje jejich protažením a zploštěním ve směru metamorfní lineace. Časté jsou také plastické deformace slíd a sillimanitových agregátů kolem porfyroblastů granátu. Vznik granátů je prekinematický vzhledem k poslední deformační fázi, která tyto horniny postihla. Ve středních částech porfyroblastů jsou patrné protažené inkluze křemene. Tyto inkluze velmi připomínají sektorovou zonálnost v granátech rostoucích v grafitických metapelitech (např. BURTON 1986) a naznačují růst v podmínkách před deformací nebo během deformace (RICE a MITCHELL 1991).

Tvar a protažení krystalů naznačují, že rostly před nebo během tvorby dominantní foliace a lineace v těchto horninách. Orientace metamorfní lineace se shoduje s orientací podobných staveb v horninách při kontaktu moldanubika a moravika (SCHULMANN *et al.* 2008). Granátové porfyroblasty tedy pravděpodobně vznikly v období přesouvání moldanubika přes moravikum nebo tomuto procesu jejich vznik předcházelo. Porfyroblasty rostly v podmínkách vyšší amfibolitové facie (~ 650 °C a tlaky ~ 5–6 kbar). PT podmínky vypočtené pro okraje porfyroblastů jsou blízké těm, které byly publikovány pro vznik migmatitů v rakouské části moldanubika (např. PETRAKAKIS 1997). Tyto PT podmínky bývají spojovány s exhumací moldanubika, během kterého docházelo k parciálnímu tavení (např. PETRAKAKIS 1997, SCHULMANN *et al.* 2008, VERNER (ed.) *et al.* 2012).

Svým chemickým složením se granát ze studované lokality ( $\text{Alm}_{68-72} \text{Sps}_{3-10} \text{Prp}_{16-22} \text{Grs}_{0-6} \text{Adr}_{1-6}$ ) příliš neliší od typických granátů z rul a migmatitů drosendorfské jednotky moldanubika (např. VERNER (ed.) *et al.* 2012 a nepublikovaná data autorů;  $\text{Alm}_{61-81} \text{Sps}_{1-23} \text{Prp}_{10-32} \text{Grs}_{0-5} \text{Adr}_{0-4}$ ).

Studované metamorfované horniny s velkými porfyroblasty granátu prodělaly během variské orogeneze polyfázový metamorfní vývoj maximálně v podmínkách vyšší amfibolitové facie. Někdy byla tato metamorfóza doprovázena částečnou anatexí. Podmínky vzniku porfyroblastů granátu odpovídaly převážně podmínkám, v nichž byl stabilní sillimanit, ilmenit a biotit; následovala retrogradní fáze spojená s chloritizací. Část biotitu patří ke starším minerálům; na jeho úkor vzniká sillimanit. K reliktním minerálům náleží rutil v granátu a v uzavřeninách křemene v granátu; v okolní hornině se nevyskytuje, relikty kyanitu ani muskovitu nebyly zjištěny. Zmíněné horniny neobsahují tělesa vysoce metamorfovaných granulitů nebo eklogitů (v amfibolitech prozatím nebyly nalezeny relikty starších minerálních asociací eklogitů).

## 5. ZÁVĚR

Lokalita Senorady se vyznačuje výskytem velkých porfyroblastů granátu, omezených částečně krystalovými plochami, v migmatizovaných pararulách. Granáty svým složením náležejí almandinu ( $\text{Alm}_{68-72} \text{Sps}_{3-10} \text{Prp}_{16-22} \text{Grs}_{0-6} \text{Adr}_{1-6}$ ) a jeví jen nevýraznou difúzní zonálnost. Vyskytují se v asociaci s plagioklasem, křemenem, sillimanitem a biotitem. Často obsahují inkluze křemene, ilmenitu, rutilu a apatitu.

Porfyroblasty granátu vznikaly v průběhu exhumace (~ 650 °C a tlaky ~ 5–6 kbar) této části moldanubika, kdy docházelo k parciálnímu tavení řady hornin.

Studované sillimanit-biotitické pararuly až migmatity s granátem u Senorad jsou součástí samostatné horninové sekvence moldanubika s amfibolity a dolomitickými mramory. Celkovou litologií, petrografií a metamorfním vývojem tyto horniny spíše náležejí do pestré (drosendorfské?) jednotky moldanubika než do jednotky gföhlské, kam jsou obvykle řazeny.

## 6. PODĚKOVÁNÍ

Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury v rámci institucionálního financování na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Moravské zemské muzeum (DKRVO, MK000094862).

## 7. LITERATURA

- BHATTACHARYA, A., MOHANTY, L., MAJI, A., SEN, S. K., RAI, M. (1992): Non-ideal mixing in the phlogopite-anthophyllite binary: constraints from experimental data on Fe-Mg partitioning and a reformulation of the biotite-garnet geothermometer. - *Contrib. Mineral. Petrol.* 111, 87–93.
- BURIÁNEK, D., BUBÍK, M., FRANCŮ, J., FURYCHOVÁ, P., HAVLÍN, A., GILÍKOVÁ, H., JANDERKOVÁ, J., KONEČNÝ, F., KREJČÍ, Z., KRUMLOVÁ, H., KRYŠTOFOVÁ, E., KUNCEOVÁ, E., MÜLLER, P., OTAVA, J., PALEČEK, M., PECINA, V., POUL, I., SEDLÁČEK, J., SKÁCELOVÁ, Z., ŠRÁMEK, J., PETROVÁ, P., VERNER, K., VEČEŘA, J., VÍT, J. (2011): Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000 list 24-341 Oslavany. - Závěrečná zpráva, MS, Česká geologická služba, 257 p.
- BURKART, E. (1953): Moravské nerosty a jejich literatura. Mährens Minerale und ihre Literatur. - Nakl. ČSAV, 1008 p. Praha.
- BURTON, K. W. (1986): Garnet-quartz intergrowths in graphitic pelites: the role of the fluid phase. - *Mineral. Mag.*, 50, 611–20.
- DVORSKÝ, F. (1880): Über einige in der Umgebung von Trebitsch vorkommende Felsarten und Mineralien. - Drittes Programm k.k. staats-untergymnasiums zu Trebitsch 1879–1880, 3–16.

- FINGER, F., GERDES, A., JANOUŠEK, V., RENÉ, M., RIEGLER, G. (2007): Resolving the Variscan evolution of the Moldanubian sector of the Bohemian Massif: the significance of the Bavarian and the Moravo-Moldanubian tectonometamorphic phases. - *J. Geoscience*, 52, 9-28.
- HENRY, D. J., GUIDOTTI, C. V. (2002): Ti in biotite from metapelitic rocks: Temperature effects, crystallochemical controls and petrologic applications. - *Amer. Mineralogist*, 87, 375-382.
- HOLLAND, T. J. B., POWELL, R. (1998): An internally-consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest. - *J. Metamorph. Geol.*, 16, 309-344.
- HOUZAR, S., NOVÁK, M. (1991): Dolomite marbles at contact of the Moldanubicum and Moravicum in the area between Jasenice and Oslavany. - *Acta Mus. Morav. Sci. nat.*, 76, 83-94.
- CHÁB, J., BREITER, K., FÁTKA, O., HLADIL, J., KALVODA, J., ŠIMŮNEK, Z., ŠTORCH, P., VAŠÍČEK, Z., ZAJÍC, J., ZAPLETAL, J., (2008): Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. - Česká geologická služba, Praha, 283 p.
- JAROS, J. (1992): The nappe structure in the Svratka Dome. - Proceed. 1st International Conf. on the Bohemian Massif, Prague (1988), 137-140.
- KALÁŠEK, J., BUDAY, T., ČICHA, I., CZUDEK, T., DEMEK, J., DVOŘÁK, J., CHMELÍK, F., JAROŠ, J., MALKOVSKÁ, M., MATĚJKA, A., NOVOTNÁ, M., PAULÍK, J., POLÁK, A., ŘEZÁČ, B., WEISS, J., ZRŮSTEK, V. (1963): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1 : 200 000 M-33-XXIX Brno. - Ústřední ústav geologický, nakl. ČSAV Praha, 256 p.
- KOLENATI, F. A. (1854): Die Mineralien Mährens und Österr.-Schlesiens, deren Fundorte und ökonomisch-technische Verwendung. - Brno, 123 p.
- KOZIOL, A. M., NEWTON, R. C. (1988): Redetermination of the anorthite breakdown reaction and improvement of the plagioclase-garnet- $Al_2SiO_5$ -quartz barometer. - *Amer. Mineralogist*, v. 73, p. 216-223.
- MATEJOVSKÁ, O., MINAŘIKOVÁ, D. (1991): Geologická mapa ČR 1 : 50 000. List 24-33 Moravský Krumlov. - Český geologický ústav.
- MÍSAŘ, Z., DUDEK, A., HAVLENA, V., WEISS, J., (1983): Geologie ČSSR I - Český masív. - SPN Praha, 336 p.
- PATEL, P. M. (1972): Structural relationship between the Moldanubicum and Moravicum in the southern part of the Svratka Dome ( Bohemian Massif ). - *Sbor. geol. Věd. Ř. G.* 23, 7-112.
- PETRAKAKIS, K., (1997). Evolution of Moldanubian rocks in Austria: review and synthesis. - *J. Metamorph. Geol.* 15, 203-222.
- RICE, A. H. N., MITCHELL, J. I. (1991). Porphyroblast textural sector zoning and matrix displacement. - *Mineral. Mag.*, 55, 379-396.
- SCHULMANN, K., LEXA, O., ŠTÍPSKÁ, P., RACEK, M., TAJČMANOVÁ, L., KONOPÁSEK, J., EDEL, J. B., PESCHLER, A., LEHMANN, J. (2008) Vertical extrusion and horizontal channel flow of orogenic lower crust: key exhumation mechanisms in large hot orogens?. - *J. Metamorph. Geol.*, 26, 273-297.
- SPEAR, F. S. (1993): Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. - Mineralogical Society of America, Washington, D. C., 799 p.
- SUESS, F. E. (1897): Der Bau des Gneissgebietes von Gross-Bitesch und Namiest in Mähren. - *Jb. K. k. Geol. Reichs.*, 47, 505-532.
- VERNER, K., BUDA, J., BRÍZOVÁ, E., BURIÁNEK, D., DUDÍKOVÁ-SCHULMANNOVÁ, B., FÜRYCHOVÁ, P., HOLUB, F. V., HROCH, T., JOHNSON, K., KLOMÍNSKÝ, J., KRYŠTOFOVÁ, E., MAŠEK, D., PAČLÍKOVÁ, J., POUL, I., PŘECHOVÁ, E., RACEK, M., RENÉ, M., RÝDA, K., ŠRÁMEK, J., SKÁCELOVÁ, D., SMYČKOVÁ, L. (2012): Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000 23-413 Hodice. - MS, Archiv Česká geologická služba, Praha, 161 s.
- VRÁNA, S., BLŮMEL, P., PETRAKAKIS, K. (1995): Moldanubian Zone. Metamorphic Evolution. In: Dallmeyer, R. D., Franke, W., Weber, K. (Eds). Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe. - Springer-Verlag, Berlin, pp 453-466.
- WU, C-M., ZHANG, J., REN, L-D. (2004): Empirical garnet-biotite-plagioclase-quartz (GBPQ) geobarometry in medium- to high-grade metapelites. - *J. Petrol.* 45, 1907-1921.
- ZAPLETAL, K. (1932): Geologie a petrografie země Moravskoslezské (s ohledem na užitková ložiska). - Vlastivědné publikace moravskoslezské č. I, 238 p.
- ZEPHAROWICH, V. (1859): Mineralogisches Lexicon für das kaiserthum Österreich, I. band 1790-1857. - Wilhelm Braumüller, Wien, 625 p.