

<https://doi.org/10.46861/bmp.30.205>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

# Chemické složení granátů v amfibolitech z lomu Libodřice u Kolína (kutnohorské krystalinikum, Česká republika)

## Chemical composition of garnets in amphibolites from the quarry Libodřice near Kolín (Kutná Hora Crystalline Complex, Czech Republic)

ZDENĚK DOLNÍČEK<sup>1)\*</sup> A JANA ULMANOVÁ<sup>1)</sup><sup>1)</sup>Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice;

\*e-mail: zdenek.dolnicek@nm.cz

DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2022) Chemické složení granátů v amfibolitech z lomu Libodřice u Kolína (kutnohorské krystalinikum, Česká republika). Bull Mineral Petrolog 30(2): 205-213 ISSN 2570-7337

### Abstract

Three types of garnet-bearing lithologies sampled in the quarry Libodřice near Kolín (Kutná Hora Crystalline Complex, Czech Republic) were studied by means of BSE imaging and electron microprobe analyses. The first type is represented by common garnetic amphibolites, in which garnet forms isolated millimetre-sized porphyroblasts containing numerous inclusions of minerals of the host amphibolite matrix (plagioclase, epidote, amphibole, sulphides). The composition of weakly zoned garnet is Alm<sub>55-56</sub>Grs<sub>30-37</sub>Sps<sub>1-5</sub>Prp<sub>5-12</sub>Adr<sub>0-3</sub>. Second type is garnetite, composed of garnet+quartz or garnet+epidote, in both cases with minor amphibole, which forms rare centimetre-thick bands in amphibolites. The garnetite garnet is distinctly zoned, with cores enriched in spessartine component (Alm<sub>42-51</sub>Grs<sub>29-38</sub>Sps<sub>11-16</sub>Prp<sub>2-8</sub>Adr<sub>0-3</sub>Ti-Grs<sub>0-1</sub>F-Kat<sub>0-1</sub>) and margins depleted in Sps and enriched in pyrope component (Alm<sub>49-54</sub>Grs<sub>28-35</sub>Sps<sub>4-10</sub>Prp<sub>7-11</sub>Adr<sub>0-1</sub>F-Kat<sub>0-1</sub>). The origin of the pronounced enrichment in Mn is interpreted in terms of specific chemical composition of protolith of this garnetite, which was likely represented by a chemogenic precipitate rich in Si, Al, Fe, Mn and in places possibly also Ca. The last found garnetiferous lithology is represented by zoned reaction skarn rimming small xenoliths of calcitic marbles enclosed in amphibolites. The garnet-rich zone of the skarn is dominated by chemically homogeneous grossularite with composition Grs<sub>73-76</sub>Adr<sub>16-21</sub>Alm<sub>2-5</sub>Ti-Grs<sub>1-2</sub>Sps<sub>1</sub>F-Kat<sub>1</sub>Go<sub>0-1</sub>.

**Key words:** Libodřice, Kutná Hora Crystalline Complex, Bohemian Massif, garnet, amphibolite, skarn, garnetite

Obdrženo 14. 10. 2022; přijato 9. 12. 2022

### Úvod

Činný lom, situovaný asi 300 m jz. od Libodřic u Kolína, je významnou mineralogickou lokalitou, známou zejména výskytem kvalitních ukázek minerálů žil alpského typu v amfibolitech, obsahujících křemen (Dášek, Pelz 1997), feroaxinit (Reif et al. 1991), apofylit (Novák et al. 2001, 2002; Franěk, Sláma 2008; Šedina 2019), datolit (Fišera et al. 2002), kalcit (Vichr, Fišera 2002), prehnit (Filippi, Böhmová 2010), analcim, laumontit, klinozoisit (Vichr 2008), chlorit, ilmenit, titanit, natrolit (Pauliš 2000), pyrit, pyrhotin (Franěk, Sláma 2008), chalkopyrit (Reif et al. 1991) a molybdenit (Šedina 2004). Ze zdejších pegmatitových žil jsou dále známé nálezy turmalínu (Novák et al. 2001), granátu, epidotu (Pavlicová 1972) a allanitu (Šedina 2018). V lomu se vyskytuje i zajímavá sulfidická mineralizace, buď vtoušená přímo v horninové matici amfibolitů (Pb-Bi mineralizace; Dolníček, Ulmanová 2021) nebo v křemenných žilkách protínajících amfibolit (pyrit+arsenopyrit; Pauliš, Plecháček 2008).

Relativně běžným horninotvorným minerálem je v libodřickém lomu granát, jenž dosud nebyl podrobněji studován, respektive publikován. V rámci projektu Ministerstva vnitra ČR č. VI20192022148 (Komplexní instrumentální metodika pro charakterizaci vybraných minerálních fází s vazbou na konkrétní geografický pů-

vod), zaměřeného zejména na výzkum využitelnosti granátů pro forenzní praxi, jsme provedli nový odběr vzorků granátických hornin v lomu Libodřice a realizovali jejich základní studium pomocí elektronové mikrosondy. Protože byl při našem výzkumu identifikován i materiál z širší oblasti dosud v literatuře nepopsaný, získané výsledky předkládáme odborné veřejnosti v tomto příspěvku.

### Geologická pozice

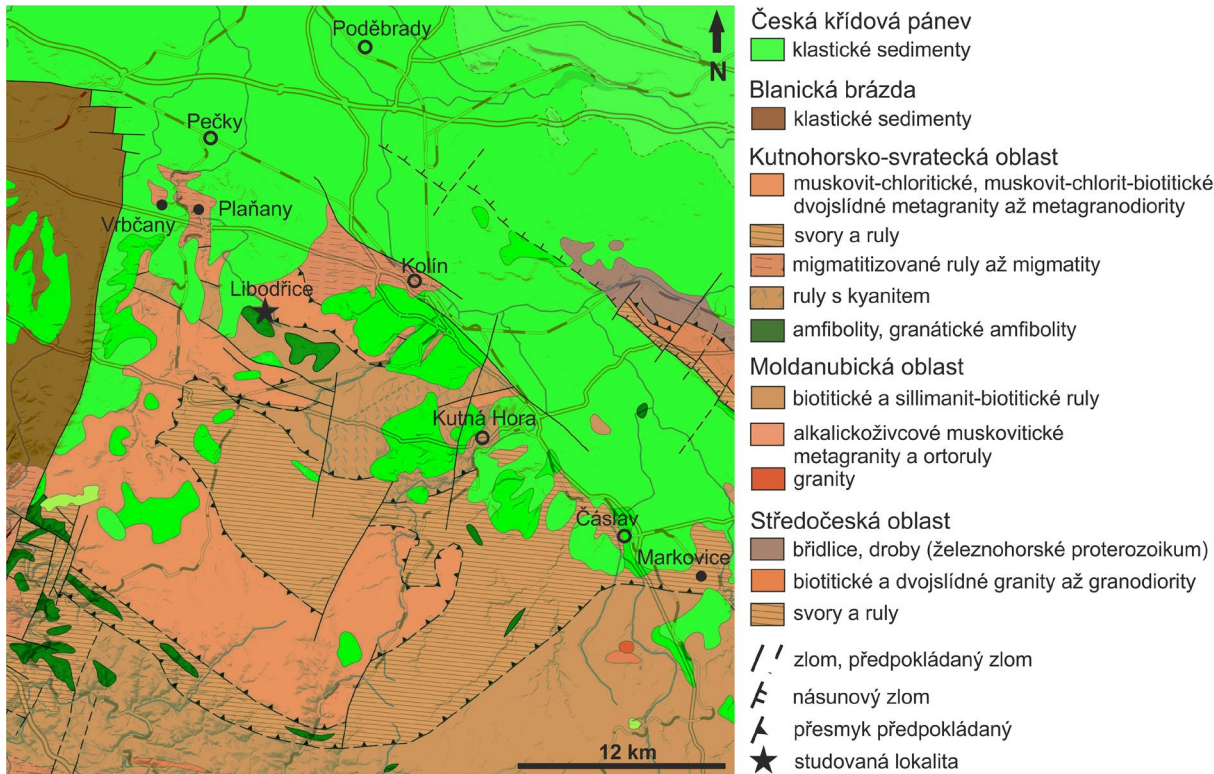
Lom u Libodřic je založen v libodřickém amfibolitovém tělese malínské jednotky kutnohorského krystalinika (obr. 1), uloženém v migmatizovaných biotitických rulách kutnohorského krystalinika (Synek, Oliveriová 1993; Novák, Vrbová 1996). Těleso amfibolitu čochovitěho tvaru o maximální mocnosti 400 m je protaženo ve směru SZ - JV. Směr foliace je shodný s protažením tělesa a její sklon strmě upadá k SV. Fišera (1977), Novák, Vrbová (1996) a Holásek et al. (2001) uvádějí z malínské skupiny granátické, diablastické, páskované a masivní amfibolity a různě intenzivně retrogradně metamorfované eklogity. Amfibolity se vyznačují, vedle hlavních složek, i proměnlivým obsahem granátu, křemene a pyroxenu. Minerální asociace metabazitů kutnohorského krystalinika byly formovány za teplot cca 550 - 900 °C a tlaků 5 - 25 kbar (Novák, Vrbová 1996; Štědrá, Na-

hodilová 2009), přičemž nejnižší P-T podmínky odpovídají vzniku typických amfibolitů v amfibolitové facii. Tyto procesy byly datovány Mattem et al. (1990) na cca 325 Ma. Kontakt amfibolitů s okolními migmatizovanými rulami byl nedávno odkryt v jv. stěně 1. etáže libodřického lomu (V. Štědrá, osobní sdělení 2022). Amfibolity jsou v prostoru lomu protnuty třemi žilami granodioritového metaporfyritu o mocnosti do 115 cm se sklonem k V až VJV (Fišera, Šrein 1999).

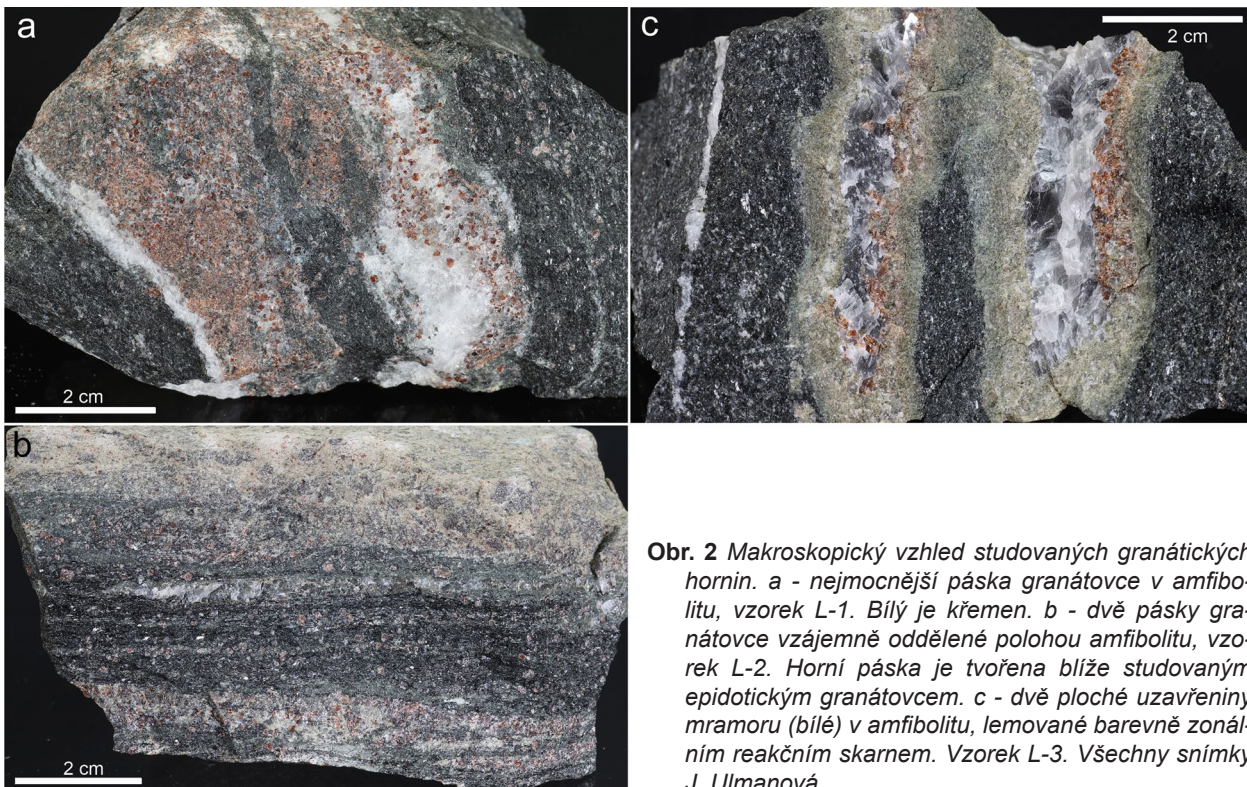
## Materiál a metodika

Všechny studované vzorky byly odebrány autory předložené studie při návštěvě lomu v roce 2021. Ze vzorků byly diamantovou pilou vyřezány partie obsahující granáty a z nich byly zhotoveny nábrusy (P. Sečkář, Komenského univerzita Bratislava).

Následně byly preparáty vakuově napařeny uhlíkovou vrstvou o tloušťce 30 nm a studovány na elektro-



Obr. 1 Geologická pozice studované lokality. Mapa upravena z práce Dolníčka, Ulmanové (2021).

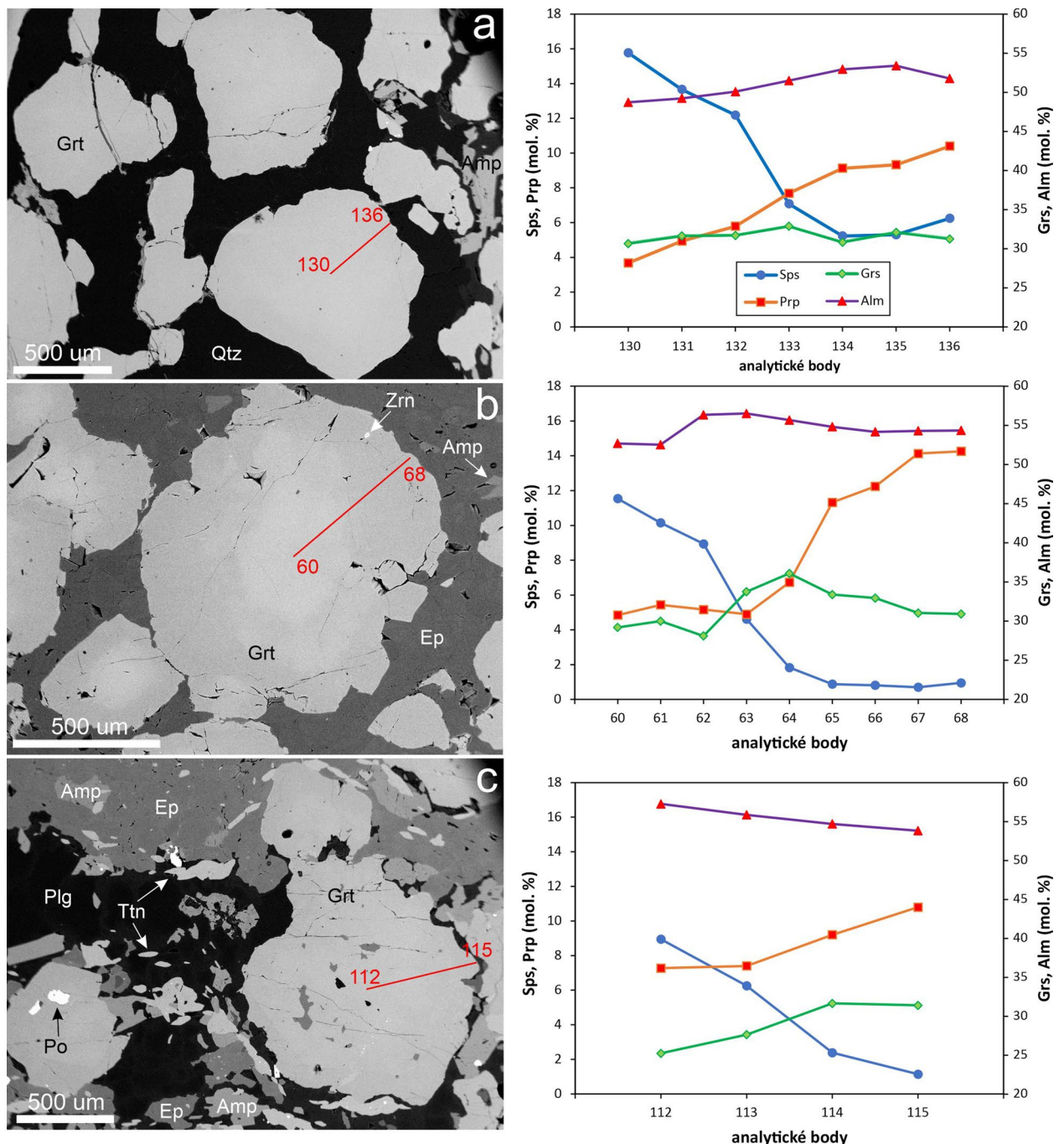


Obr. 2 Makroskopický vzhled studovaných granátických hornin. a - nejmocnější páska granátovce v amfibolitu, vzorek L-1. Bílý je křemen. b - dvě pásky granátovce vzájemně oddělené polohou amfibolitu, vzorek L-2. Horní páska je tvořena blíže studovaným epidotickým granátovcem. c - dvě ploché uzavřeniny mramoru (bílé) v amfibolitu, lemované barevně zonálním reakčním skarnem. Vzorek L-3. Všechny snímky J. Ulmanová.



nové mikrosondě Cameca SX-100 (Národní muzeum, Praha). Na přístroji byly pořízeny snímky ve zpětně odražených elektronech (BSE), provedena identifikace jednotlivých fází pomocí energiově disperzních (EDS) spekter a kvantitativně měřeno chemické složení vybraných fází ve vlnově disperzním (WDS) modu. Při bodových analýzách granátů a epidotu bylo použito urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 20 nA a průměr elektronového svazku 0.7  $\mu\text{m}$ . Použité standardy a analytické čáry: albit ( $\text{NaK}\alpha$ ), almandin ( $\text{AlK}\alpha$ ,  $\text{FeK}\alpha$ ,  $\text{SiK}\alpha$ ), antimonit ( $\text{SbL}\alpha$ ), apatit ( $\text{PK}\alpha$ ),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ( $\text{CrK}\alpha$ ), diopsid ( $\text{MgK}\alpha$ ), klinoklas ( $\text{AsL}\alpha$ ), LiF ( $\text{FK}\alpha$ ), Ni ( $\text{NiK}\alpha$ ), rodonit

( $\text{MnK}\alpha$ ), Sn ( $\text{SnL}\alpha$ ),  $\text{TiO}_2$  ( $\text{TiK}\alpha$ ),  $\text{UO}_2$  ( $\text{UMa}$ ), V ( $\text{VK}\alpha$ ), vanadinit ( $\text{PbMa}$ ), wollastonit ( $\text{CaK}\alpha$ ),  $\text{YVO}_4$  ( $\text{YLa}$ ), zinkit ( $\text{ZnK}\alpha$ ), zirkon ( $\text{ZrLa}$ ). Měřící časy na píku se pohybovaly obvykle mezi 10 a 30 s, měřící čas každého pozadí trval polovinu času měření na píku. Načtená data byla přepočítána na obsahy prvků vyjádřené v hm. % s použitím standardní PAP korekce (Pouchou, Pichoir 1985). Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou uvedeny v tabulkách minerálních analýz, byly ve všech případech pod mezí stanovitelnosti (obvykle mezi 0.04 a 0.1 hm. %).



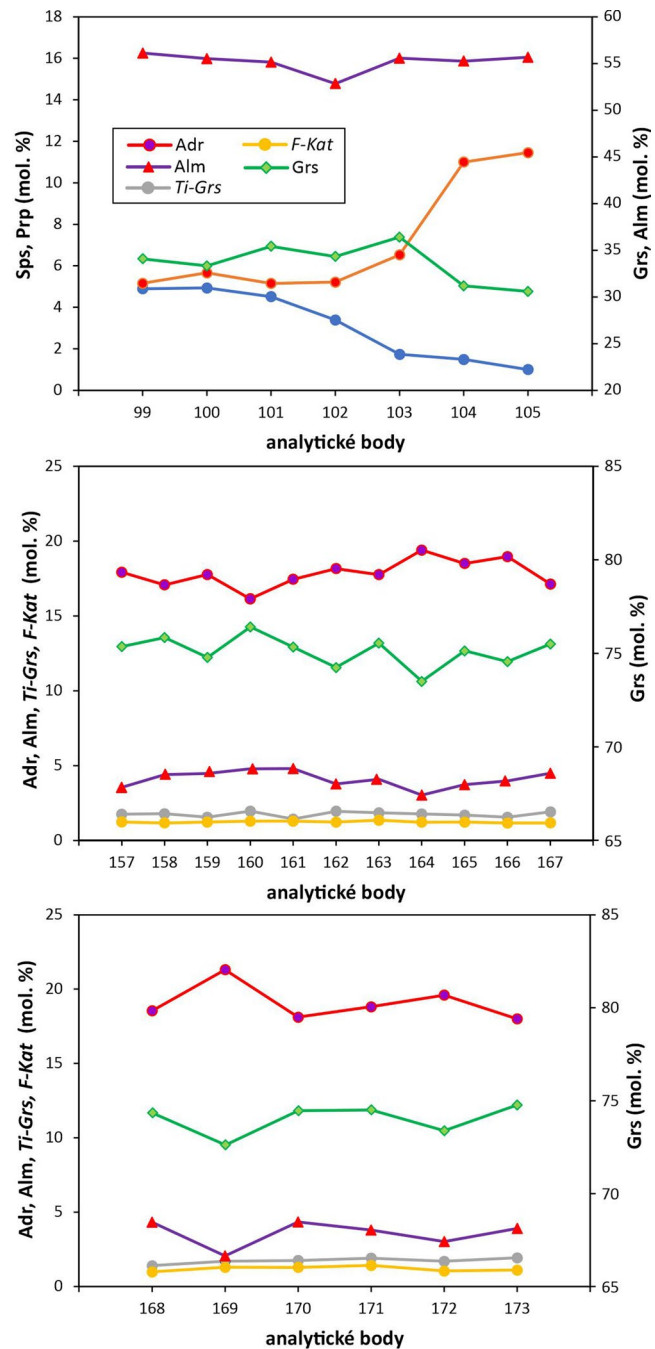
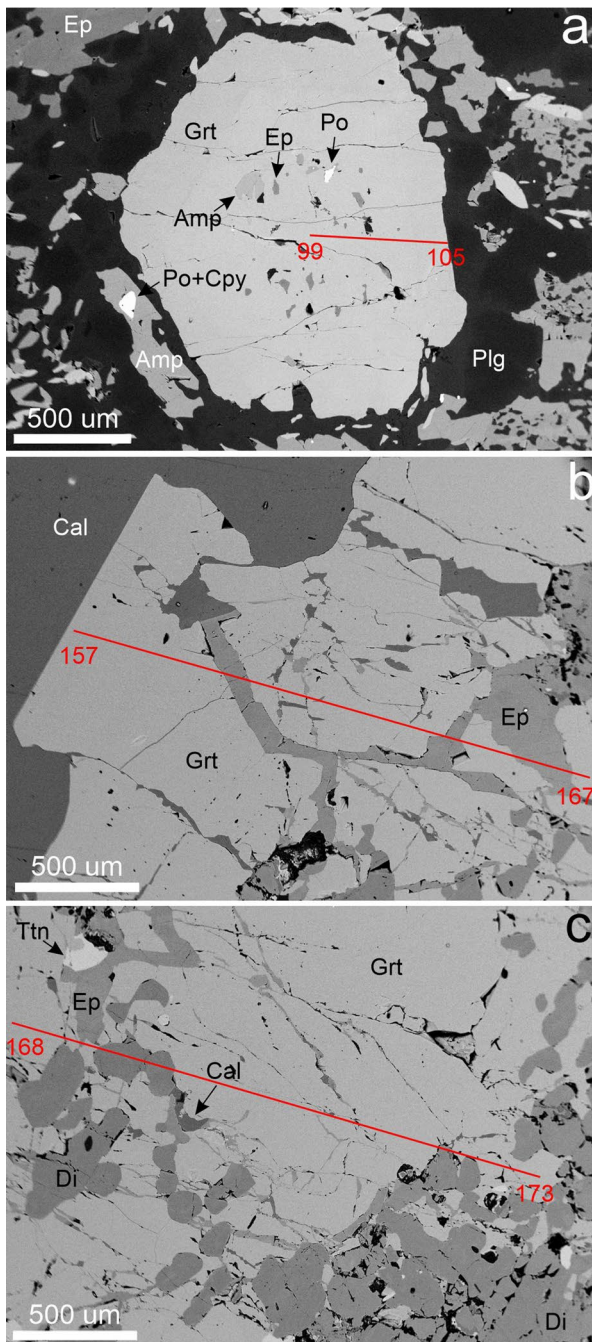
**Obr. 3** Minerální asociace granátů ze studovaných vzorků na BSE snímcích (vlevo) a vývoj chemického složení granátů podél zvolených profilových linií (vpravo). a - granátovec vzorku L-1. b - granátovec vzorku L-2. c - kontakt pásky granátovce a amfibolitu ze vzorku L-2. Zkratky minerálů: Amp - amfibol, Ep - epidot, Grt - granát, Plg - plagioklas, Po - pyrofitin, Qtz - křemen, Ttn - titanit, Zrn - zirkon. BSE snímky Z. Dolníček.

### Charakteristika studovaných vzorků

Při naší návštěvě lomu byla zaznamenána přítomnost tří texturně a mineralogicky odlišných paragenezí s granátem. Prvním typem jsou granátické amfibolity, v lomu běžně přítomné. Jde o tmavé drobnozrnné až středně zrnité horniny s nevýraznou až velmi zřetelnou foliací a masivní až plástevnatou texturou. Granáty, reprezentující hlavní či vedlejší složku amfibolitu, tvoří jednotlivě vtoušené okrouhlé porfyroblasty tmavě červené barvy o velikosti do 3 mm.

Druhý litotyp s granáty představují horniny, které by bylo možné z pohledu deskriptivní petrografie označit

jako granátovce, neboť granát je v nich převažující složkou (více než 50 % obj.). Tato hornina vytváří nápadné tenké pásy o mocnosti několika mm až 2 cm ve výše charakterizovaných granátických amfibolitech. Pásy granátovců jsou uloženy konformně s foliací amfibolitů (obr. 2a,b). Z nalezených vzorků je patrné, že polohy granátovců se nevyskytují jednotlivě, ale v početnějších shlucích, v nichž jsou jednotlivé pásy granátovců od sebe odděleny buď pásy (místy i mladšími ložními žilkami) křemene nebo tenkými polohami amfibolitu. Mocnosti jednotlivých petrograficky odlišných pásů se pohybují zcela náhodně v intervalu několika mm až několika cm.



**Obr. 4** Minerální asociace granátů ze studovaných vzorků na BSE snímcích (vlevo) a vývoj chemického složení granátů podél zvolených profilových linií (vpravo). a - amfibolit vzorku L-2. b - granátem bohatá subzóna reakčního skarnu mezi mramorem a amfibolitem, partie přiléhající k mramoru, vzorek L-3. c - granátem bohatá subzóna reakčního skarnu mezi mramorem a amfibolitem, partie přiléhající k diopsidem bohaté subzóně skarnu, vzorek L-3. Zkratky minerálů: Cal - kalcit, Cpy - chalkopyrit, Di - diopsid, ostatní zkratky viz popiska obr. 3. BSE snímky Z. Dolníček.



Třetím nalezeným granátickým litotypem je kontaktní skarn, vyvinutý na styku amfibolitu a drobných (cm velikost) uzavřenin kalcitického mramoru (obr. 2c). Ve stavbě skarnu lze makroskopicky rozlišit dvě zóny: partie přilehlá k amfibolitu má zelenou barvu a dominuje v ní klinopyroxen blízky diopsidu, zatímco v partii přiléhající k mramoru je převažující komponentou zrnitý červenooranžově zbarvený granát. Granátová zrna dosahují velikosti až 2 mm a směrem do mramoru mají vlastní krystalové omezení. Celá reakční zóna má mocnost kolem 1 cm a je charakteristicky vyvinuta asymetricky: zatímco pyroxenem bohatá subzóna lemující celou uzavřeninu, granátem bohatá subzóna je přítomna jen z jedné strany mramorové uzavřeniny (obr. 2c).

Detailněji studovány byly tři odebrané makrovzorky. Vzorek L-1 představuje nejmocnější nalezenou pásku granátovce (obr. 2a). Minerální složení tohoto vzorku je velmi jednoduché, tvořené granátem, křemenem a malým množstvím amfibolu. Křemen představuje základní matici, v níž jsou uložena zrna ostatních fází. Granát v hornině vytváří vzájemně se nedotýkající okrouhlá xenomorfně omezená zrna o velikosti do 2 mm (obr. 3a). V BSE obraze vykazují větší zrna jednoduchou zonálnost, se svět-

lejším středem a tmavším okrajem. Menší zrna zonální nejsou. Minerální uzavřeniny v granátu prakticky chybějí. Ca-amfibol vytváří jednotlivá izometrická zrna o velikosti do 0.3 mm s automorfním (kosočtvercový průřez) až xenomorfním (nepravidelná zrna) omezením. Krystaly amfibolu se většinou vyskytují v těsné asociaci s granátem, a to při obvodu jeho zrn.

Vzorek L-2 zastihl kontakt tenčích pásků (mocnost 1.5 cm) granátovce a okolního amfibolitu (obr. 2b). Hlavními složkami granátovce jsou v tomto případě granát a epidot. Granát (obr. 3b) je svým vývinem i velikostí analogický vzorku L-1. Epidot ( $Ep_{51-54}Clz_{46-49}Pie_0$ ) v hornině vytváří mezerní hmotu mezi zrny granátu. Minerální asociaci doplňuje Ca-amfibol v obdobném vývinu jako ve vzorku L-1. Zcela ojediněle byla v granátu zaznamenána drobná inkluze zirkonu. Při kontaktu s amfibolitem (obr. 3c) přistupuje do minerální asociace granátovce i titanit v podobě typických čočkovitých individuí. Kontakt granátovce s okolním amfibolitem je i v mikroměřítku ostrý (obr. 3c). Amfibolit obsahuje jako hlavní složky vápenatý amfibol, intermediální plagioklas, granát a epidot, akcesorický je výskyt zirkonu, titanitu, křemene, pyrotinu, chalkopyritu a Fe-oxidu (pravděpodobně magnetitu). Granát v amfibol-

**Tabulka 1** Příklady chemického složení granátu granátovců z Libodřic. Obsahy v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na základ 12 atomů kyslíku, obsahy koncových členů v mol. %. Celkové železo je rozpočítáno na sumu 8 kationtů. b.d. - pod mezí stanovitelnosti

An. č.	130	124	119	128	133	134	126	60	62	71	95	91	80	97
Vzorek	L-1	L-1	L-1	L-1	L-1	L-1	L-1	L-2	L-2	L-2	L-2	L-2	L-2	L-2
SiO <sub>2</sub>	37.40	37.77	37.90	37.89	37.82	37.99	38.02	37.55	37.68	38.21	38.01	38.35	38.82	38.31
TiO <sub>2</sub>	0.11	0.12	0.14	0.13	0.05	0.06	0.07	0.16	0.15	0.10	0.15	0.08	0.12	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.77	20.74	21.00	21.12	21.15	20.77	21.10	20.65	20.58	20.70	20.39	20.97	20.93	20.96
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.06	b.d.	b.d.	0.05	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18	0.24	b.d.	0.15	0.22	0.35	0.31	0.36	0.39	b.d.	0.12	b.d.	0.31	0.31
MgO	0.92	1.17	1.66	2.20	1.95	2.31	2.59	1.22	1.30	1.34	1.11	2.04	3.82	2.87
CaO	11.23	12.30	12.75	11.64	11.95	11.46	11.63	10.99	10.40	12.19	13.40	12.11	11.06	11.75
MnO	6.95	6.37	5.26	4.44	3.16	2.33	1.91	5.11	3.96	1.99	1.35	0.69	0.35	0.33
FeO	21.75	20.97	20.70	22.11	23.28	23.89	23.70	23.62	25.26	25.47	25.07	25.93	24.68	24.85
Na <sub>2</sub> O	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.09	0.08	b.d.	0.06	b.d.	b.d.	b.d.	0.11	0.13
F	0.11	b.d.	0.12	0.09	b.d.	0.08	0.11	0.08	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Celkem	99.42	99.68	99.53	99.77	99.64	99.33	99.52	99.79	99.78	100.00	99.60	100.17	100.20	99.68
Si <sup>4+</sup>	3.005	3.011	3.011	3.001	3.000	3.020	3.009	3.004	3.014	3.032	3.030	3.024	3.030	3.018
Ti <sup>4+</sup>	0.007	0.007	0.008	0.008	0.003	0.004	0.004	0.010	0.009	0.006	0.009	0.005	0.007	0.010
Al <sup>3+</sup>	1.967	1.949	1.967	1.972	1.977	1.946	1.968	1.947	1.940	1.936	1.916	1.949	1.925	1.946
V <sup>3+</sup>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.004	b.d.	b.d.	0.003	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Fe <sup>3+</sup>	0.011	0.014	b.d.	0.009	0.013	0.021	0.018	0.022	0.023	b.d.	0.007	b.d.	0.018	0.018
Mg <sup>2+</sup>	0.110	0.139	0.197	0.260	0.231	0.274	0.306	0.146	0.155	0.159	0.132	0.240	0.444	0.337
Ca <sup>2+</sup>	0.967	1.051	1.085	0.988	1.016	0.976	0.986	0.942	0.891	1.037	1.144	1.023	0.925	0.992
Mn <sup>2+</sup>	0.473	0.430	0.354	0.298	0.212	0.157	0.128	0.346	0.268	0.134	0.091	0.046	0.023	0.022
Fe <sup>2+</sup>	1.461	1.398	1.375	1.464	1.544	1.588	1.569	1.580	1.690	1.690	1.671	1.710	1.611	1.637
Na <sup>+</sup>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.014	0.012	b.d.	0.009	b.d.	b.d.	b.d.	0.017	0.020
F <sup>-</sup>	0.028	b.d.	0.030	0.023	b.d.	0.020	0.028	0.020	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Catsum	8.000	8.000	7.997	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	7.994	8.000	7.997	8.000	8.000
Alm	48.7	46.6	45.8	48.8	51.5	52.9	52.3	52.7	56.3	56.3	55.7	57.0	53.7	54.6
Grs	30.6	33.9	35.0	31.5	32.9	30.8	31.1	29.2	28.1	34.3	37.3	33.9	29.6	31.6
Sps	15.8	14.3	11.8	9.9	7.1	5.2	4.3	11.5	8.9	4.5	3.0	1.5	0.8	0.7
Prp	3.7	4.6	6.6	8.7	7.7	9.1	10.2	4.9	5.2	5.3	4.4	8.0	14.8	11.2
Adr	0.5	0.7	0.0	0.4	0.7	1.0	0.9	1.1	1.2	0.0	0.4	0.0	0.9	0.9
Ti-Grs	0.3	0.4	0.4	0.4	0.1	0.2	0.2	0.5	0.5	0.3	0.4	0.2	0.4	0.5
F-Kat	0.7	0.0	0.8	0.6	0.0	0.5	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Celkem	99.7	100.6	99.6	99.8	100.1	99.3	98.9	100.0	100.1	100.6	101.3	100.6	100.1	99.6

litu vytváří porfyroblasty až 2 mm velké, které často uzavírají drobné inkluze většiny dalších přítomných minerálních fází (amfibolu, sulfidů, plagioklasu, zirkonu; obr. 4a). Tyto inkluze se často koncentrují v oblasti středu granátových zrn. Chemická zonalita v BSE obraze není obvykle u granátů v amfibolitu patrná.

Vzorek L-3 představuje profil přes kontaktní zónu mezi čočkou mramoru a okolním negranátickým amfibolitem (obr. 2c). Skarn vykazuje zonalnost, pokud jde o minerální složení (obr. 4b,c). Partie skarnu přiléhající k amfibolitu obsahuje nezonální klinopyroxen blízký diopsidu, epidot, titanit a granát (obr. 4c). Zastoupení granátu roste směrem k mramoru, zatímco ostatních fází (s výjimkou epidotu) ubývá. Skarn na kontaktu s mramorem se vyznačuje asociací granát + kalcit + epidot a vysokým stupněm automorfie granátu na styku s kalcitem mramoru (obr. 4b). Zrna a místy až celistvé masy granátů v obraze BSE nevykazují žádnou zonalitu.

## Chemické složení granátů

Větší granáty z nejmocnější polohy granátovce ze vzorku L-1 jsou zřetelně zonalní. Jejich v BSE obraze světlejší jádra jsou tvořena Ca-bohatým almandinem se zvýšeným podílem Mn a jen malým zastoupením Mg, Fe<sup>3+</sup> a F (Alm<sub>42-51</sub>Grs<sub>29-38</sub>Sps<sub>11-16</sub>Prp<sub>2-8</sub>Adr<sub>0-3</sub>Ti-Grs<sub>0-1</sub>F-Kat<sub>0-1</sub>; tab. 1). V BSE obraze tmavší okraje větších porfyroblastů a také granáty malých rozměrů jsou tvořeny Ca-bohatým almandinem s nižším podílem Mn a zvýšeným Mg (Alm<sub>49-54</sub>Grs<sub>28-35</sub>Sps<sub>4-10</sub>Prp<sub>7-11</sub>Adr<sub>0-1</sub>F-Kat<sub>0-1</sub>; tab. 1). Jádra velkých porfyroblastů nejsou kompozičně zonalní nebo jen nevýrazně, zatímco okraje vykazují zřetelný postupný pokles obsahů Sps složky doprovázený nárůstem obsahů Prp složky směrem k okrajům. Zastoupení ostatních složek se výrazně nemění (obr. 3a).

Podobný obraz lze generálně konstatovat i v případě granátů z granátovce ve vzorku L-2. Rozdíl je jen v poněkud nižších obsazích Mn, a to jak v jádrech, tak i v okrajích

**Tabulka 2** Příklady chemického složení granátu exokontaktu granátovce, amfibolitu a reakčního skarnu z Libodřic. Obsahy v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na základ 12 atomů kyslíku, obsahy koncových členů v mol. %. Celkové železo je rozpočítáno na sumu 8 kationtů. b.d. - pod mezí stanovitelnosti

An. č.	112	108	109	115	100	102	103	104	105	160	161	165	169	172
Vzorek	L-2	L-2	L-2	L-2	L-2	L-2	L-2	L-2	L-2	L-3	L-3	L-3	L-3	L-3
Pozice	kontakt	kontakt	kontakt	kontakt	amfibolit	amfibolit	amfibolit	amfibolit	amfibolit	skarn	skarn	skarn	skarn	skarn
SiO <sub>2</sub>	37.52	37.93	38.25	38.87	38.31	38.00	38.34	38.29	38.30	38.90	39.00	38.79	38.62	38.70
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.13	0.12	0.14	0.12	0.09	0.04	0.10	0.14	0.67	0.49	0.58	0.58	0.58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.65	20.87	20.62	21.18	20.79	20.34	21.10	21.02	20.72	17.16	17.10	16.80	16.45	16.80
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	b.d.	b.d.	0.06	0.06	b.d.	0.05	0.05	b.d.	b.d.	0.10	0.10	0.11	0.10	0.11
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.51	b.d.	b.d.	0.18	0.08	1.04	0.02	0.24	0.34	5.54	6.00	6.34	7.28	6.71
MgO	1.83	1.73	1.61	2.79	1.44	1.32	1.67	2.81	2.92	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
CaO	9.72	10.60	11.55	11.68	12.04	13.37	13.10	11.48	11.39	34.74	34.70	34.97	34.99	34.71
MnO	3.96	2.88	2.12	0.52	2.21	1.51	0.78	0.67	0.45	0.38	0.38	0.37	0.36	0.42
FeO	25.29	25.88	25.56	25.31	25.18	23.85	25.33	25.16	25.29	2.22	2.23	1.73	0.95	1.39
Na <sub>2</sub> O	b.d.	b.d.	0.09	0.18	0.11	0.14	b.d.	0.07	0.08	b.d.	b.d.	b.d.	0.12	0.11
F	0.08	b.d.	0.11	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.21	0.21	0.20	0.21	0.17
Celkem	99.73	100.02	100.09	100.91	100.28	99.71	100.43	99.84	99.63	99.92	100.21	99.89	99.66	99.76
Si <sup>4+</sup>	3.001	3.015	3.035	3.026	3.030	3.020	3.017	3.016	3.024	3.013	3.015	3.009	3.005	3.004
Ti <sup>4+</sup>	0.010	0.008	0.007	0.008	0.007	0.005	0.002	0.006	0.008	0.039	0.028	0.034	0.034	0.034
Al <sup>3+</sup>	1.947	1.955	1.928	1.944	1.938	1.905	1.957	1.952	1.928	1.567	1.558	1.536	1.509	1.537
V <sup>3+</sup>	b.d.	b.d.	0.004	0.004	b.d.	0.003	0.003	b.d.	b.d.	0.006	0.006	0.007	0.006	0.007
Cr <sup>3+</sup>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.004
Fe <sup>3+</sup>	0.031	b.d.	b.d.	0.011	0.005	0.062	0.001	0.014	0.020	0.323	0.349	0.370	0.426	0.392
Mg <sup>2+</sup>	0.218	0.205	0.190	0.324	0.170	0.156	0.196	0.330	0.344	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ca <sup>2+</sup>	0.833	0.903	0.982	0.974	1.020	1.139	1.105	0.969	0.964	2.883	2.874	2.907	2.917	2.887
Mn <sup>2+</sup>	0.268	0.194	0.142	0.034	0.148	0.102	0.052	0.045	0.030	0.025	0.025	0.024	0.024	0.028
Fe <sup>2+</sup>	1.692	1.720	1.696	1.648	1.665	1.586	1.667	1.658	1.670	0.143	0.144	0.112	0.062	0.090
Na <sup>+</sup>	b.d.	b.d.	0.014	0.027	0.017	0.022	b.d.	0.011	0.012	b.d.	b.d.	b.d.	0.018	0.017
F <sup>-</sup>	0.020	b.d.	0.028	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.051	0.051	0.049	0.052	0.042
Catsum	8.000	8.000	7.999	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Alm	56.4	57.3	56.5	54.9	55.5	52.9	55.6	55.3	55.7	4.8	4.8	3.7	2.1	3.0
Grs	25.2	29.7	31.5	31.4	33.4	34.4	36.5	31.3	30.7	76.4	75.3	75.1	72.6	73.4
Sps	8.9	6.5	4.7	1.1	4.9	3.4	1.7	1.5	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9
Prp	7.3	6.8	6.3	10.8	5.7	5.2	6.5	11.0	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Adr	1.5	0.0	0.0	0.5	0.2	3.1	0.1	0.7	1.0	16.1	17.5	18.5	21.3	19.6
Ti-Grs	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.1	0.3	0.4	2.0	1.4	1.7	1.7	1.7
F-Kat	0.5	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.3	1.2	1.3	1.0
Gol	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Uva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
Celkem	99.9	100.7	99.7	99.3	100.1	99.4	100.6	100.0	100.2	100.4	100.2	100.2	98.8	99.1

porfyroblastů, jinak vykazuje chemismus granátu podobné trendy jako ve vzorku L-1 (obr. 3b). Složení granátů z této partie vzorku lze pomocí jednotlivých koncových členů sumárně vyjádřit následovně:  $\text{Alm}_{53-59}\text{Grs}_{27-37}\text{Sps}_{1-12}\text{Prp}_{4-15}\text{Adr}_{0-2}\text{Ti-Grs}_{0-1}\text{F-Kat}_{0-1}$  (tab. 2). Obsahy Mn v granátu dále systematicky klesají ve směru do sousedícího pásku amfibolitu (obr. 3c), kde dosahují nejnižších hodnot (obr. 4a, 5). Granát z exokontaktu pásku granátovce má složení  $\text{Alm}_{55-58}\text{Grs}_{25-34}\text{Sps}_{1-9}\text{Prp}_{6-11}\text{Adr}_{0-2}\text{Ti-Grs}_{0-1}\text{F-Kat}_{0-1}$  (tab. 2), zatímco v amfibolitu dále od pásku granátovce je složení granátu  $\text{Alm}_{55-56}\text{Grs}_{30-37}\text{Sps}_{1-5}\text{Prp}_{5-12}\text{Adr}_{0-3}$  (tab. 2). Uvedené změny v chemickém složení v rámci vzorku L-2 byly zaznamenány na vzdálenosti cca 6 mm příčného profilu.

Granát z kontaktního skarnu mezi mramorem a amfibolitem ze vzorku L-3 má složení odpovídající andraditovou komponentou bohatého grosuláru ( $\text{Grs}_{73-76}\text{Adr}_{16-21}\text{Alm}_{2-5}\text{Ti-Grs}_{1-2}\text{Sps}_1\text{F-Kat}_1\text{Gol}_{0-1}$ ; tab. 2). Zonálnost granátu na profilu skarnem není ani z provedených bodových analýz patrná (obr. 4b,c).

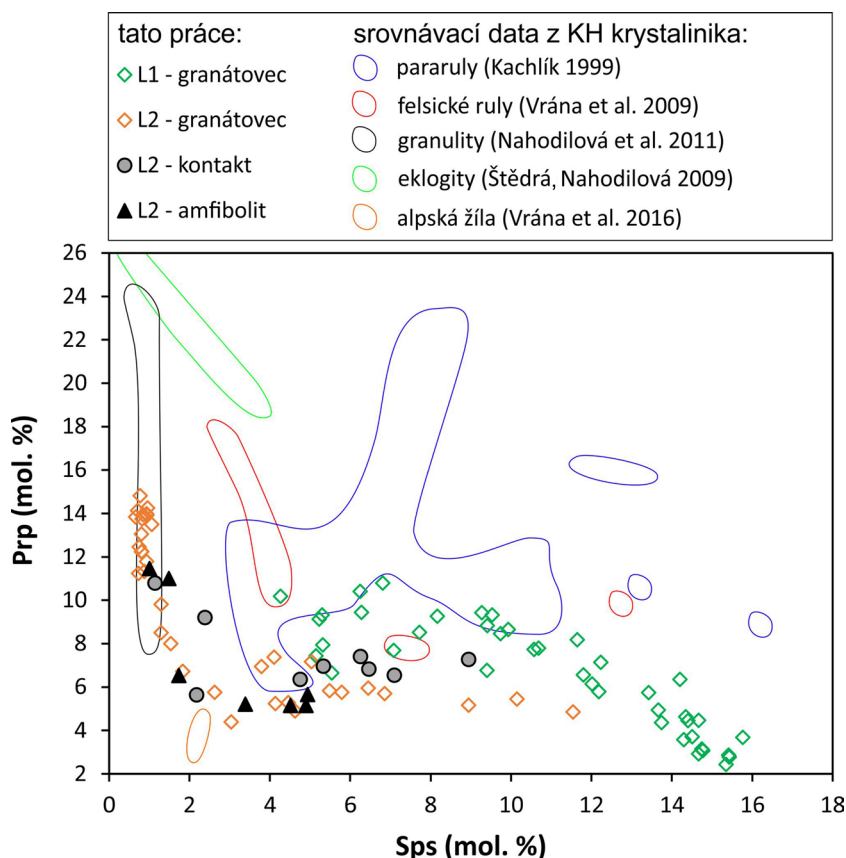
## Diskuse

Granáty z poloh granátovců z Libodřic se vyznačují specifickým chemickým složením, které dosud nebylo v rámci kutnohorského krystalinika zjištěno. V porovnání s granáty metabazitů se námi studované granátovce vyznačují značně zvýšeným obsahem spessartinové komponenty (až 15.8 mol. %; tab. 1), zatímco v granátech metabazitů kutnohorského krystalinika obsahy Sps dosahují podle publikovaných údajů maximálně 3.9 mol. % (Faryad 2009; Štědrá, Nahodilová 2009). Velmi nízký obsah Sps složky (2.1 mol. %) má i grosulár-almandin vzniklý metamorfní přeměnou epidotu alpských žil v amfibolitech z lomu Markovice (Vrána et al. 2016). S námi zjištěnými obsahy Sps složky mají srovnatelné hodnoty

většinou granáty pararul (3.1 - 16.2 mol. %; Kachlík 1999) a felsických rul (2.7 - 27.1 mol. %; Vrána et al. 2009) kutnohorského krystalinika (obr. 5); granáty těchto hornin se však na rozdíl od námi studovaných granátů značně liší obsahy dalších složek, a to zejména nízkým podílem grosulárové komponenty (max. 20.7 mol. % v pararulách, respektive 7.4 mol. % ve felsických rulách; l.c.) a výrazně vyšším zastoupením almandinové složky (min. 61.9 mol. % v pararulách, resp. 67.4 mol. % ve felsických rulách; l.c.).

Charakter zonální stavby granátů z granátovců a hostitelských amfibolitů nasvědčuje formování porfyroblastů během dvou růstových epizod. Ve starší fázi vznikaly jádra porfyroblastů. Vzhledem k existenci výrazného gradientu v chemismu jader granátů v závislosti na jejich pozici v rámci pozorované stavby (pokles obsahu Mn od středů pásku granátovce, přes jeho exokontakt, až k sousedící pásce amfibolitu) lze v tomto případě usuzovat na rozhodující vliv chemismu protolitu na složení granátu a tedy relativní geochemickou uzavřenost celého systému. Naproti tomu chemismus okrajů granátů je vzájemně mnohem více podobný bez ohledu na jejich pozici v rámci sledované horninové asociace (obr. 5). Z toho lze usuzovat na více otevřenější geochemický systém během růstu okrajů porfyroblastů, pufrovaný hostitelským amfibolitem, a také na významnou roli fluid při transportu prvků. Značně široký rozptyl složení se „středními“ obsahy Sps a Prp (obr. 5) pak může indikovat částečnou reekvilibraci vnějších partií granátů vykrystalizovaných během první epizody růstu, na něž pak přirostla během pozdější etapy mladší růstová zóna s odlišným složením. Identifikace dvou epizod růstu granátových porfyroblastů je zcela v souladu s široce akceptovanou představou polyfázové metamorfózy hornin kutnohorského krystalinika (Kachlík 1999; Faryad 2009; Štědrá, Nahodilová 2009; Vrána et al. 2009).

**Obr. 5** Variace v obsazích pyropové a spessartinové složky granátů z granátovce a okolního amfibolitu z Libodřic a jejich porovnání s publikovanými daty pro granáty z různých typů hornin kutnohorského krystalinika.





Zajímavou otázkou je původ zvýšených obsahů Mn. Získané poznatky jasně ukazují, že Mn byl vázán v protolitu granátovců a nikoliv v okolních metabazitech. Jak už bylo zmíněno výše, v oblasti kutnohorského krystalinika byly zvýšené obsahy Mn v granátech zaznamenány ve felsických rulách a v pararulách. Ve felsických rulách byl Mn vázán hlavně ve spessartinovou komponentou bohatých granátech granitoidních hornin, jejichž metamorfózou felsické ruly vznikly (Vrána et al. 2009). Naproti tomu v pararulách svorové zóny kutnohorského krystalinika jsou ojedinělé zvýšené (a také snížené) obsahy Mn vysvětlovány buď rychlými změnami podmínek při sedimentaci jejich protolitu či změnami redox potenciálu během následné metamorfózní přeměny (Kachlík 1999). V našem případě je vzhledem k velmi jednoduchému minerálnímu složení pásků granátovců (křemen+granát±amfibol či epidot+granát±amfibol) velmi pravděpodobné, že protolitem mohl být Mn-obohacený chemogenní precipitát s obsahem Si, Al, Fe, Mn a případně i Ca. Analogická interpretace je uplatňována i v případě četných dalších výskytů granátem bohatých hornin s vysokým obsahem  $\text{SiO}_2$  a často i Mn (Buriánek, Otava 2007; Kropáč et al. 2012). Třebaže definitivní potvrzení geneze protolitu může v budoucnu přinést až detailní geochemické zhodnocení studovaných hornin, již jejich prostorová asociace s mramory jasně ukazuje, že chemogenní (s.l.) sedimentární materiál byl v horninové asociaci protolitu libodřického amfibolitového tělesa nepochybně přítomen.

## Závěr

V lomu Libodřice u Kolína (kutnohorské krystalinikum) byly pomocí elektronové mikrosondy studovány granáty tří texturně odlišných litologií. Prvním typem jsou běžně přítomné granátické amfibolity, v nichž granát vytváří izolované porfyroblasty mm velikosti s hojnými inkluzemi minerálů základní tkáně horniny (plagioklasu, epidotu, amfibolu, sulfidů). Složení slabě zonálního granátu je  $\text{Alm}_{55-56}\text{Grs}_{30-37}\text{Sps}_{1-5}\text{Prp}_{5-12}\text{Adr}_{0-3}$ . Druhým zjištěným litotypem jsou granátovce, složené z granátu a křemene, či granátu a epidotu, v obou případech s malým množstvím amfibolu, které vytvářejí ojedinělé pásy cm mocnosti v amfibolitech. Granát je výrazně chemicky zonální, se středy obohacenými spessartinovou složkou ( $\text{Alm}_{42-51}\text{Grs}_{29-38}\text{Sps}_{11-16}\text{Prp}_{2-8}\text{Adr}_{0-3}\text{Ti-Grs}_{0-1}\text{F-Kat}_{0-1}$ ) a s okraji ochuzenými Sps a bohatšími pyropovou komponentou ( $\text{Alm}_{49-54}\text{Grs}_{28-35}\text{Sps}_{4-10}\text{Prp}_{7-11}\text{Adr}_{0-1}\text{F-Kat}_{0-1}$ ). Původ výrazného obohacení Mn lze hledat ve specifickém chemickém složení protolitu granátovce, který měl pravděpodobně charakter chemogenního precipitátu bohatého Si, Al, Fe, Mn a případně i Ca. Posledním nalezeným litotypem je reakční skarn na kontaktu uzavřenin mramoru a okolního amfibolitu. Granátem bohatá zóna skarnu obsahuje chemicky homogenní grosulár se složením  $\text{Grs}_{73-76}\text{Adr}_{16-21}\text{Alm}_{2-5}\text{Ti-Grs}_{1-2}\text{Sps}_1\text{F-Kat}_1\text{Gol}_{0-1}$ .

## Poděkování

Práce na článku byly finančně podpořeny Ministerstvem kultury ČR v rámci institucionálního financování výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 – cíl DKRVO 2019/2023 1.II.d) a Ministerstvem vnitra ČR v rámci projektu VI20192022148 (Komplexní instrumentální metodika pro charakterizaci vybraných minerálních fází s vazbou na konkrétní geografický původ). Recenzentům V. Štědré a M. Fišerovi děkujeme za vstřícné posouzení rukopisu.

## Literatura

- BURIÁNEK D, OTAVA J (2007) Tři geneticky rozdílné typy granátovců z hlinské zóny a poličského krystalinika. Acta Mus Moraviae, Sci geol 92: 143-150
- DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2021) Pb-Bi mineralizace v amfibolitech z lomu Libodřice u Kolína (kutnohorské krystalinikum, Česká republika). Bull Mineral Petrolog 29 (1): 6-15
- ĎÁSEK M, PELZ J (1997) Zajímavé nálezy křišťálů v Libodřicích u Kolína. Minerál 5 (1): 19
- FILIPPI M, BŮHMOVÁ V (2010) Prehnitové pseudomorfózy z Libodřic. Minerál 18 (3): 223-229
- FARYAD SW (2009) The Kutná Hora Complex (Moldanubian zone, Bohemian Massif), a composite of crustal and mantle rocks subducted to HP/UHP conditions. Lithos 109: 193-208
- FIŠERA M (1977) Geologie a petrografie kutnohorského krystalinika západně od Kolína. Výzk práce Ústř Úst Geol 16: 19-31
- FIŠERA M, ŠREIN V (1999) Výskyt žilných metaporfyrů v amfibolitovém lomu u Libodřic (jz. od Kolína). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 7: 158-162
- FIŠERA M, VÍCHR P, SEJKORA J (2002) Datolit a nepřeměněný fluorapofylit z alpských žil v amfibolitech z Libodřic (jz. od Kolína). Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 10: 210-215
- FRANĚK J, SLÁMA J (2008) Nález velkých krystalů apofylitu v zonální alpské žíle u Libodřic na Kolínsku. Minerál 16 (4): 340-345
- HOLÁSEK O, DUŠEK K, HRADECKÁ L, KADLECOVÁ R, KLEČÁK J, LOCHMANN Z, MANOVÁ M, MINAŘÍKOVÁ D, NEKOVAŘÍK Č, ŠALANSKÝ K, ŠTĚDRÁ V, ŠVECŮV J, ZELENKA P (2001) Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000 13-321 Svojšíce. Čes geol Úst Praha
- KACHLÍK V (1999) Relationship between Moldanubicum, the Kutná Hora Crystalline Unit and Bohemium (Central Bohemia, Czech Republic): a result of polyphase Variscan nappe tectonics. J Czech Geol Soc 44: 201-291
- KROPÁČ K, BURIÁNEK D, ZIMÁK J (2012): Origin and metamorphic evolution of Fe–Mn-rich garnetites (coticles) in the Desná Unit (Silesicum, NE Bohemian Massif). Chem Erde 72: 219- 236
- MATTE P, MALUSKI H, RAJLICH P, FRANKE W (1990) Terrane boundaries in the Bohemian Massif: result of the large-scale Variscan shearing. Tectonophysics 177: 151-170
- NOVÁK JK, VRBOVÁ H (1996) Petrogenesis and geochemistry of mafic rocks from the Kutná Hora Crystalline Complex and the neighbouring part of the Rataje Micaschist Zone. Geolines 4: 1-41
- NOVÁK F, PAULIŠ P, TIHLAŘÍK M (2001) Albinizovaný apofylit z Libodřic na Kolínsku. Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 9: 303-305
- NOVÁK F, PAULIŠ P, TIHLAŘÍK M (2002) Zajímavý nález albinizovaného apofylitu z Libodřic na Kolínsku. Minerál 10 (1): 5-7
- PAULIŠ P (2000) Nejzajímavější mineralogická naleziště Čech. 1-71, Kuttna, Kutná Hora
- PAULIŠ P, PLECHÁČEK J (2008) Arsenopyrit z Libodřic u Kolína. Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 16 (2): 247
- PAVLICOVÁ Š (1972) Krystalochemický výzkum některých epidotů. MS, diplomová práce, PřF UK Praha



- POUCHOU JL, PICOIR F (1985) "PAP" ( $\varphi\rho Z$ ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: ARMSTRONG JT (ed.) *Microbeam Analysis*: 104-106. San Francisco Press, San Francisco
- REIF J, PAULÍŠ P, ŠANČ I (1991) Ferroaxinit z alpské žíly v amfibolitu u Libodřic (západně od Kolína). *Čas mineral geol* 36 (4): 243-246
- SYNEK J, OLIVERIOVÁ D (1993) Terrane character of the north-east margin of the Moldanubian Zone: the Kutná Hora Crystalline Complex, Bohemian Massif. *Geol Rundsch* 82: 566-582
- ŠEDINA M (2018) Allanitem bohatý pegmatit v Libodřicích. *Minerál* 26 (4): 321-329
- ŠEDINA M (2019) Další zajímavý nález apofylitu z Libodřic. *Minerál* 27 (2): 107-112
- ŠEDINA M (2004) Překvapivý výskyt molybdenitu v asociaci minerálů alpské parageneze v Libodřicích u Kolína. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 12: 226-227
- ŠTĚDRÁ V, NAHODILOVÁ R (2009) High-pressure metabasic rocks from the Kutná Hora Complex: geological position and petrology of exotic lithologies along the segmented Moldanubian margin, Bohemian Massif. *J Geosci* 54: 135-157
- VICHR P (2008) Nálezy minerálů alpské parageneze v Libodřicích z let 2000 až 2008. *Minerál* 16 (4): 333-339
- VICHR P, FIŠERA M (2002) Neobvyklá forma výskytu kalcitu v alpské paragenezi z Libodřic na Kolínsku. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 10: 335-337
- VRÁNA S, JANOUŠEK V, LACIOK A, HALODOVÁ P, ŽÁK L (2016) Metamorfní reakce epidotu v žilách alpského typu na granát-anortitové symplektity: Markovice, kutnohorské krystalinikum. *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 24: 224-229
- VRÁNA S, ŠTĚDRÁ V, NAHODILOVÁ R (2009) Geochemistry and petrology of high-pressure kyanite-garnet-albite-K-feldspar felsic gneisses and granulites from the Kutná Hora Complex, Bohemian Massif. *J Geosci* 54: 159-179