

Charakteristika mineralizace skarnového výskytu Mýtinka - Vysoká, Krušné hory, Česká republika

Mineral assemblage of a skarn occurrence Mýtinka - Vysoká, Krušné hory Mts., Czech Republic

ZDENĚK DOLNÍČEK^{1)*}, DALIBOR VELEBIL¹⁾ A MILAN GEBOUSKÝ²⁾

¹⁾Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice;

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

²⁾Mírová 528, 357 33 Loket

DOLNÍČEK Z, VELEBIL D, GEBOUSKÝ M (2024) Charakteristika mineralizace skarnového výskytu Mýtinka - Vysoká, Krušné hory, Česká republika. Bull Mineral Petrolog 32(2): 160-176 ISSN 2570-7337

Abstract

Two types of skarns and associated mineral veins were sampled at the Mýtinka - Vysoká skarn site near the Měděnec village (Krušné hory/Erzgebirge Mts., Czech Republic) and studied by means of BSE imaging and electron microprobe analyses. The Type I skarns composed mainly of garnet, epidote, and amphibole clearly prevail at the study site. In contrast, Type II skarn formed by garnet, biotite, and ca. 30 vol. % of magnetite is scarce. The mineral veins cutting skarn are composed of epidote, amphibole, albite, biotite, *phengitic* muscovite, chlorite, quartz, calcite, and K-felspar. The minerals from skarns and veins show the same chemical composition suggesting their coeval origin. In terms of mineral classification, garnets are represented exclusively by grossular (even in case of magnetite-rich skarn), amphiboles by magnesiohornblende, edenite, magnesiohastingsite and actinolite (often potassic and fluorian varieties are present), biotite by phlogopite, chlorites by *ripidolite*, clinocllore and *pennine*, epidote-group minerals by epidote, clinozoisite and allanite-(Ce). A predominance of Mg-endmembers of minerals suggests for a Mg-rich protolith of skarns, which was likely dolomite marble or crystalline dolomite. Both these carbonate rocks are tightly spatially associated with skarns at the study site. The newly found skarn-hosted gahnite probably represents a relic mineral originating from metacarbonate protolith; a Zn-rich spinel was formerly described from calcite dolomite at the study site. Accessory titanite hosted by skarn contains in places a high proportion of CaAlSiO₄F component (up to 33 mol. %), which is the highest content reported from skarns of the Krušné hory Mts., and small contents of Sn (up to 0.007 *apfu*). The input of K, Sn, F, and Fe could indicate a source of skarnization fluids in the granitoid rocks.

Key words: Mýtinka, Krušné Hory Crystalline Complex, Bohemian Massif, skarn, epidote, amphibole

Obdrženo 20. 10. 2024; přijato 12. 12. 2024

Úvod

Skarny jsou charakteristickou minoritní součástí litologicky pestrých partií krystalinických sekvencí saxothuringika Českého masivu. Vytvářejí zpravidla drobnější čočkovitá tělesa (obvykle do 100 m v nejdelším rozměru) a vyskytují se jak v české, tak i německé části Krušných hor. Jejich výskyt je na české straně častý zejména v širokém okolí Měděnce, kam spadá i námi studovaná lokalita. V minulosti byly skarny na řadě lokalit těženy jako železná ruda. Intenzita jejich vědecké prozkoumanosti (hlavně z pohledu jejich mineralogie, ložiskového potenciálu a geneze) je v krušnohorské oblasti značně nerovnoměrná. Na české straně Krušných hor byly skarny souborněji mineralogicky a petrologicky studovány naposledy před více než 30 lety (Kotková 1991; Šrein 1992) a od té doby se objevily jen drobnější články o nálezech vzácnějších druhů minerálů. Hlavní poznatky z výše zmíněné nepublikované kandidátské disertační práce Šreina (1992) byly později zveřejněny v práci Šreina a Šreinové (2000). Naproti tomu v posledních několika letech badatelský zájem o skarny značně vzrostl na německé straně Krušných

hor. Na tyto horniny bývají totiž (vedle Fe) lokálně vázány i ložiskové koncentrace některých dalších užitkových kovů, jako je například Sn, W, Cu, Zn či In. Tyto ložiskově perspektivní lokality skarnů byly nově podrobně studovány (Bauer et al. 2019; Burisch et al. 2019; Lefebvre et al. 2019a,b; Korges et al. 2020; Reinhardt et al. 2021, 2022; Meyer et al. 2024a,b) z pohledu detailního poznání chemického složení jednotlivých minerálů (včetně *in situ* analýz stopových prvků), jejich sukcesních vztahů, charakteru protolitu, původu a vlastností skarnizačních a post-skarnizačních fluid (na základě studia fluidních inkluzí, stabilních izotopů, izotopů Sr a Nd) a stáří jejich vzniku (včetně např. *in situ* U-Pb datování granátu).

V rámci této práce byly pomocí elektronové mikrosondy studovány horninotvorné minerály skarnu a minerály žil pronikajících skarnem z výchozu skarnu na severním svahu vrchu Vysoká, z. od osady Mýtinka a jz. od obce Měděnec v Krušných horách. Lokalita leží v katastrálním území obce Horní Halže, nad pravým břehem Malodolského potoka (též Dolnohalžský potok). Skarnový výchoz (GPS souřadnice 50.4076006° N, 13.0999386° E; obr.

1) se nachází při okraji pinkového pásma, které je pozůstatkem staré těžby železné rudy z magnetitového skarnu. Celé dolové pole zaujímá plochu cca 1.1 ha. Zdejší skarnové těleso bylo v dávnější minulosti nafáráno štolou. Její původní název není znám, ale v 50. letech minulého století byla tato štola během průzkumu na radioaktivní suroviny vyzmáhána a v novější dokumentaci je označována jako štola JD č. 2. Na lokalitě proběhl archeologický výzkum, který prokázal těžbu pomocí železka a mlátku (Bureš 2021).

Lokalita je označována také jako Vysoký Kámen (ve smyslu Šreina 1992) a mezi sběrateli minerálů je známá díky výskytu výrazných ukázek žilných minerálů, prorážejících skarn. To platí zejména pro masivní agregáty epidotu s automorfními krystaly o běžné velikosti 1 - 3 cm a výjimečně až 10 cm vyvinutými do dutin, ale i pro bohaté snopkovité a vějířovité agregáty amfibolu o velikosti až 5 cm, dutinové krystaly adularu o velikosti do 2 cm a až přes 2 cm velké tabulkovité krystaly biotitu.

Geologická pozice

Studované lokalita leží v Českém masivu, oblasti sasko-durynské, regionu krušnohorského-smrčinského krystalinika. Její okolí je budováno zejména granát-muskovitickým až granát-biotit-muskovitickým svorem (stáří protolitu neoproterozoikum až počátek paleozoika) a ortorulou s vločkami skarnu (stáří protolitu starší paleozoikum). Ortorula, z níž vystupuje nevelké těleso skarnu, je zde reprezentována muskovitickou až biotit-muskovitickou facií, drobnozrnnou až středně zrnitou. Rozhraní obou hlavních horninových typů (svorů a ortorul) zde probíhá generálně ve směru SZ - JV. Dále k východu je pak vyvinuta dvojslídlná pararula svorového vzhledu a rovněž hrubozrnná okatá muskovit-biotitická ortorula. Severně od popisované lokality vystupuje na povrch několik těles eklogitu spodnopaleozoického stáří. Z hlediska tektonického postžení oblasti lze zmínit dvě zlomové struktury směru SSZ - JJV, probíhající cca 1 km východně a západně od studované lokality (Šrein 1992).

Materiál a metodika

Všechny studované vzorky byly odebrány autory předložené studie v letech 2022 a 2024. Z reprezentativních vzorků byly následně vyřezány či mechanicky odšlípnují zajímavější partie a z nich byly (P. Sečkář, KU Bratislava; Z. Dolníček, NM Praha) zhotoveny nábrusy. Prvotní dokumentace zhotovených preparátů v odraženém polarizovaném světle byla provedena na polarizačním mikroskopu Nikon Eclipse ME600 vybaveném digitální kamerou Nikon DXM1200F.

Následně byly nábrusy vakuově napařeny uhlíkovou vrstvou o tloušťce 30 nm a studovány na elektronové mikrosondě Cameca SX-100 (Národní muzeum, Praha). Na přístroji byly pořízeny snímky ve zpětně odražených elektronech (BSE) a provedena identifikace jednotlivých fází pomocí energiové disperzní (EDS) spekter. Následně



Obr. 1 Studovaný výchoz skarnu na lokalitě Mýtinka - Vysoká, stav z října 2024. Foto D. Velebil.

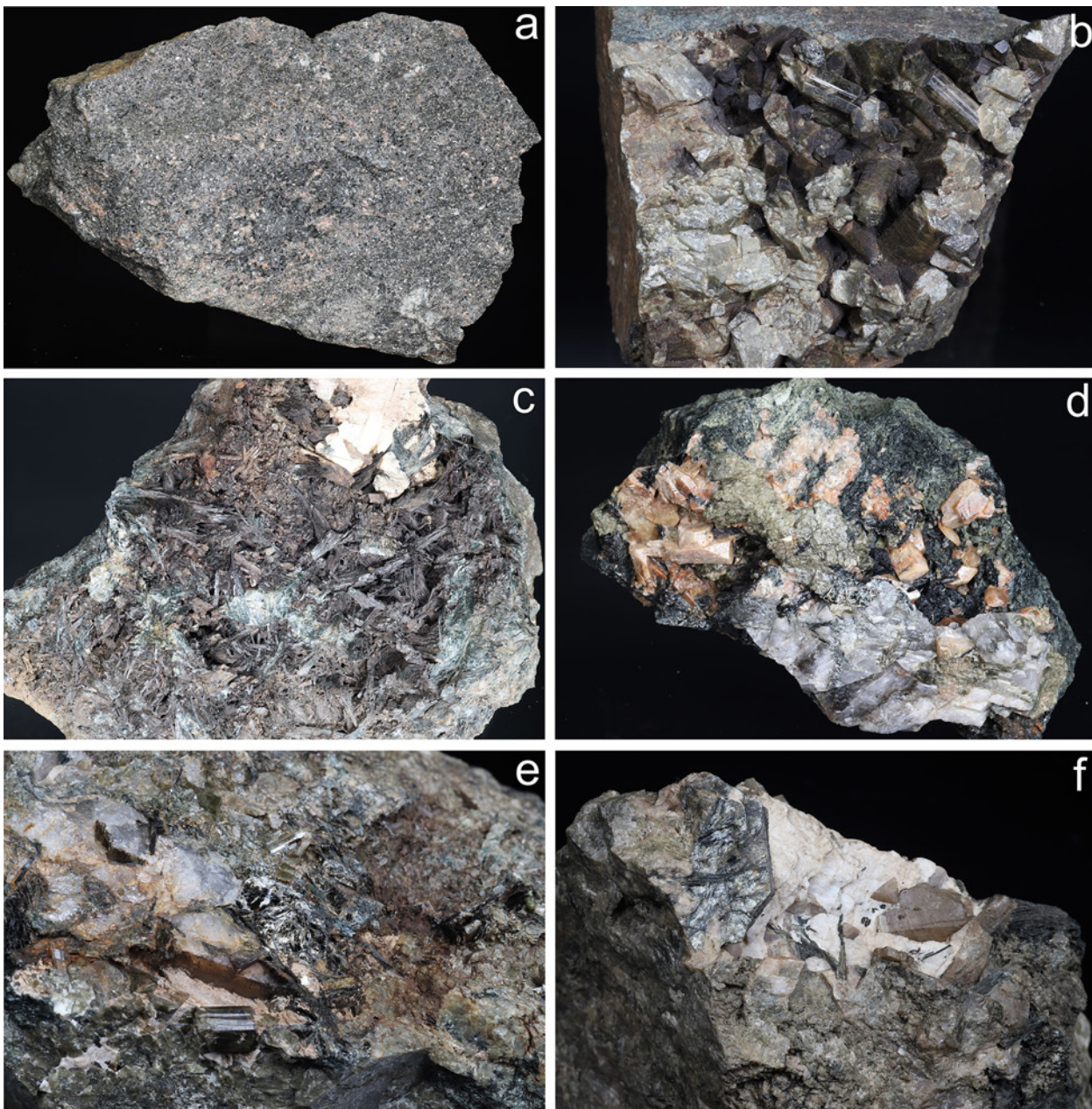
bylo kvantitativně měřeno chemické složení vybraných fází ve vlnově disperzním (WDS) modu. Kvantitativní analýzy minerálů byly provedeny za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 20 nA (granát, allanit, spinelidy, hematit, titanit), respektive 10 nA (všechny ostatní fáze) a průměr elektronového svazku mezi 0.7 a 4 μm . V granátu byly měřeny obsahy Al, As, Ca, Cr, F, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Sb, Si, Sn, Ti, U, V, Y, Zn a Zr, ve spinelidech a hematitu obsahy Al, Ca, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, P, S, Sb, Si, V a Zn, v apatitech Al, As, Ba, Ca, Ce, Cl, F, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Nd, P, Pb, S, Si, Sr, Y a Zn, v titanitu Al, Ca, Ce, F, Fe, Hf, La, Mg, Na, Nb, Nd, P, Pb, Pr, Sc, Si, Sn, Ta, Ti, Y a Zr, v allanitu obsahy Al, As, Ba, Bi, Ca, Ce, Cl, Cu, Dy, Eu, Er, F, Fe, Gd, Hf, Ho, K, La, Lu, Mg, Mn, N, Na, Nd, P, Pb, Pr, S, Sc, Si, Sm, Sr, Tb, Th, Ti, Tm, U, V, Y, Yb a Zr a v amfiolech, pyroxenech, slídách, chloritu, klinozoisit-epidotech a prehnitu obsahy Al, Ba, Ca, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Si, Ti, V a Zn. Při analýzách byly použity následující standardy a analytické čáry: albit (NaKa), almandin (AlKa, FeKa), antimonit (SbLa), apatit (PKa), baryt (BaLa), Bi (BiMa), BN (NKa), celestin (SKa, SrL β), CePO₄ (CeLa), Co (CoKa), Cr₂O₃ (CrKa), Cs-sklo (CsLa), diopsid (MgKa), DyPO₄ (DyL β), ErPO₄ (ErLa), EuPO₄ (EuLa), GdPO₄ (GdLa), halit (ClKa), hematit (FeKa), Hf (HfMa), HoPO₄ (HoL β), chalkopyrit (CuKa), klinoklas (AsLa), LaPO₄ (LaLa), LiF (FKa), LuPO₄ (LuLa), NdPO₄ (NdL β), Ni (NiKa), PrPO₄ (PrL β), Rb-Ge-sklo (RbLa), ronidit (MnKa), sanidin (KKa, SiKa, AlKa), ScVO₄ (ScKa), SmPO₄ (SmLa), TbPO₄ (TbLa), Th (ThMa), TiO₂ (TiKa), TmPO₄ (TmLa), UO₂ (UMa), V (VKa), vanadinit (PbMa), wollastonit (CaKa, SiKa), wulfenit (MoLa), YbPO₄ (YbLa), YVO₄ (YLa), zinkit (ZnKa) a zirkon (ZrLa). Měřicí časy na píku se pohybovaly obvykle mezi 10 a 30 s (pro N 100 s), měřicí 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 a 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. %). Obsahy prvků vzácných zemin (REE) byly normalizovány na C1 chondrit s využitím dat Anderse a Grevesseho (1989), hodnoty Ce a Eu anomálií byly kvantifikovány podle vztahů uváděných McLennanem (1989).

Charakteristika studovaných vzorků

Na lokalitě byly odebrány dva základní typy vzorků. Prvním typem je vlastní skarn. Skarn buď neobsahuje magnetit vůbec nebo jen jako akcesorii (skarn typu I). Tento litotyp na lokalitě objemově zcela převažuje. Hlavními fázemi je makroskopicky růžový granát a černý amfibol, k nimž přistupuje lokálně i křemen a epidot. Zrna minerálů dosahují velikosti od zlomku mm do 1 cm. Stavba

horniny je zpravidla všesměrná, charakteristickým rysem je však prostorově nerovnoměrná distribuce jednotlivých minerálních fází, které se někdy koncentrují v bohatší shluky, smouhy či polohy. Tento typ je reprezentován vzorky D-208, D-210, D-213 a My-1. Zcela ojediněle (v jediném volném fragmentu o velikosti kolem 30 cm) byl zaznamenán i magnetitem bohatý skarn, v němž magnetit zaujímá cca 30 obj. % (skarn typu II). V tomto případě jde o poměrně jemnozrnnou masivní horninu, složenou z drobných zrn červeného granátu, černého biotitu a šedého magnetitu (obr. 2a). Zrna zmiňovaných minerálních fází dosahují velikosti do 1.5 mm. Vnitřní stavba horniny je homogenní. Tento typ horniny jako jediný reaguje na permanentní magnet. V analyzovaném souboru vzorků je

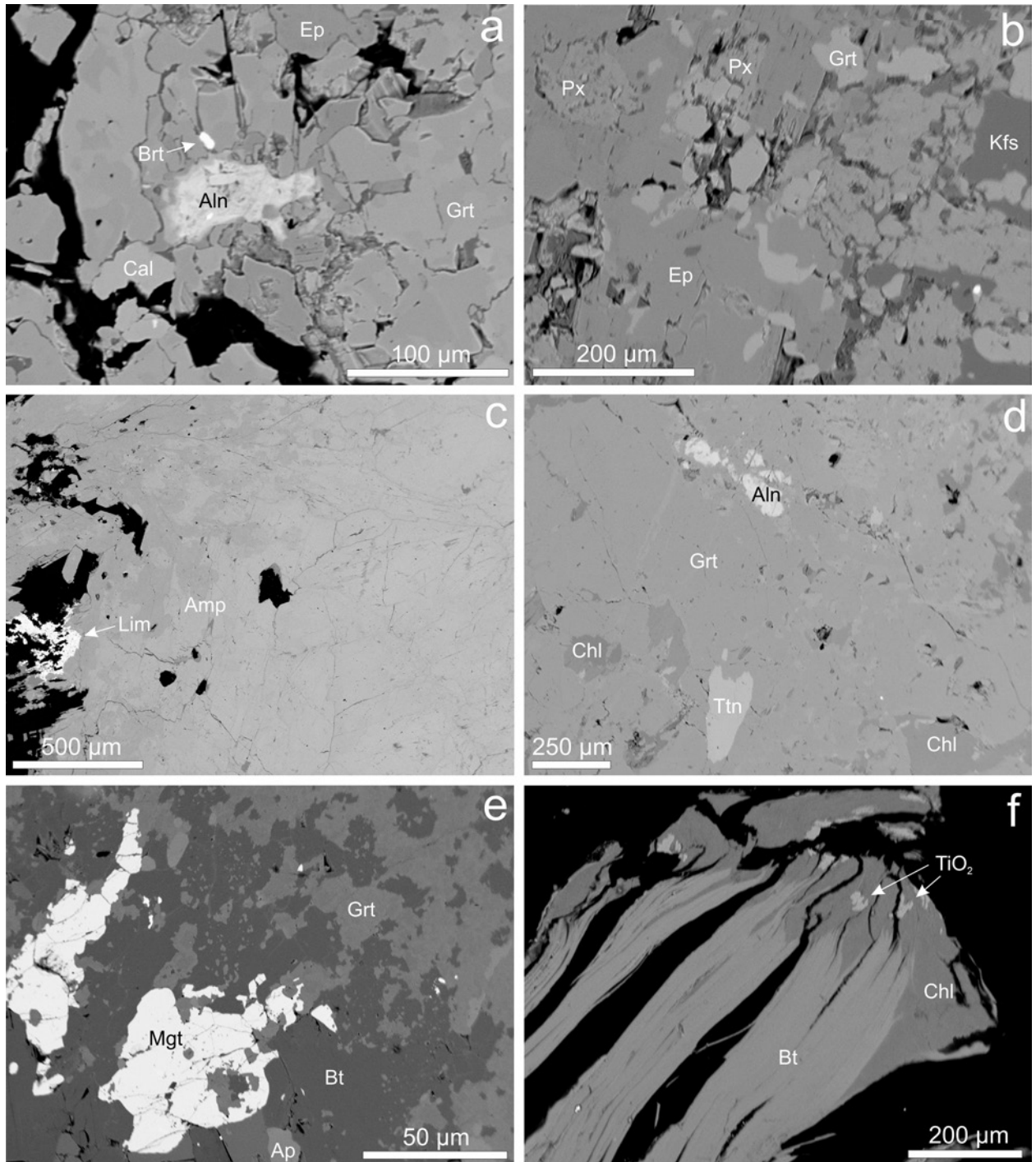


Obr. 2 Makroskopický vzhled charakteristických vzorků. a - skarn typu II s magnetitem, velikost vzorku 10 × 8 cm. b - krystaly epidotů v dutině epidotové žíly, velikost drúzové dutiny 4 × 3.5 cm. c - dutinový agregát amfibolu z mladší žíly, doprovázený reliktem kalcitu (bílý), velikost vzorku 10 × 10 cm. d - narůžovělé krystaly albitu doprovázené tabulkovitým chloritizovaným biotitem (černý), epidotem (šedozelený) a křemenem (bílý) v dutině žíly, velikost vzorku 10.5 × 6 cm. e - tabulky biotitu uzavřené v křemeni v sousedství krystalu epidotu ze žíly, šířka záběru 5 cm. f - automorfní tabulka chloritizovaného biotitu v asociaci s kalcitem (bílý) a krystaly křemene (šedé) ze žíly, šířka záběru 7 cm. Všechny snímky D. Velebil.

skarn typu II reprezentován nábrusem My-3.

Druhý typ vzorků prezentují mladší žíly, které protínají skarny typu I. Žíly se vyznačují variabilní mocností i minerálním složením (obr. 2b-f). Bylo zaznamenáno několik typů, které se liší minerálním složením, i když v některých případech je zřejmé, že mezi různými typy žil pravděpodobně existují pozvolné přechody. Nejnápadnější jsou až 20 cm mocné žíly tvořené převážně hrubě krystalickým zeleným epidotem s četnými dutinami, do nichž daný mi-

nerál vytváří ukončené skelně lesklé neprůhledné krystaly o velikosti až 2×1 cm (obr. 2b), někdy v doprovodu malého množství krystalů albitu, adularu či křemene. Tento typ je v námi analyzovaném souboru zastoupen vzorky D-209 a D-214. Jiný hojný typ žil obsahuje jako hlavní komponentu černý amfibol, jenž narůstá na stěny žil a do dutin vytváří snopkovitě uspořádané agregáty složené z dlouhých jehlic. Dutinové agregáty amfibolu dosahují délky až 3 cm a šířky do 0.5 cm. Zbýlý volný prostor byl po-



Obr. 3 Minerální asociace studovaných vzorků na BSE snímcích. a - slabě zonální granát (Grt) zatlačovaný epidotem (Ep) a uzavírající zrna allanitu až REE-bohatého epidotu (Aln) a barytu (Brt) v doprovodu kalcitu (Cal) ze skarnu typu I, vzorek D-208. b - epidot uzavírající korodovaná zrna granátu, pyroxenu (Px), K-živce (Kfs) a titanitu (Ttn) ze skarnu typu I, vzorek My-1. c - zonální agregát amfibolu (Amp) z amfibolem bohaté žíly, vzorek D-210. d - granát (Grt) uzavírající zrna REE-bohatého epidotu (Aln), titanitu a chloritu (Chl) ze skarnu typu I, vzorek My-1. e - jemnozrnný biotit (Bt) v asociaci s granátem, magnetitem (Mgt) a apatitem (Ap) ze skarnu typu II, vzorek My-3. f - biotit ze žíly, zčásti zatlačený chloritem a TiO_2 fází (TiO_2), vzorek My-2. Snímky Z. Dolníček.

Tabulka 1 Příklady chemického složení granátu z Mýtinky. Obsahy v hm. %, hodnoty apfu a rozpočet Fe jsou kalkulovány na základ 12 atomů kyslíku a 8 kationtů, obsahy koncových členů v mol. %

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Vzorek	D-208	D-208	D-208	D-208	D-208	D-208	D-208	My-1	My-1	My-1	My-3	My-3	My-3	My-3
SiO ₂	37.71	38.21	37.79	37.36	38.68	38.82	37.76	38.24	38.84	37.94	38.41	38.54	37.68	38.09
TiO ₂	1.09	0.74	0.98	1.20	0.97	0.74	1.12	0.34	0.28	0.27	0.54	0.35	0.16	0.33
Al ₂ O ₃	18.10	18.56	18.37	14.66	20.27	19.14	14.82	19.66	20.17	19.73	17.39	18.30	17.91	17.04
Fe ₂ O ₃	5.46	5.34	5.78	9.83	2.71	4.29	9.23	1.62	1.81	2.37	6.25	6.09	6.54	7.07
MgO	0.94	1.19	1.05	0.48	0.09	0.71	0.72	0.52	1.19	0.69	0.91	1.37	2.43	2.16
CaO	31.97	31.30	32.11	34.01	35.13	33.25	33.59	24.31	23.64	23.96	30.89	29.21	26.10	27.48
MnO	0.37	0.65	0.63	0.64	1.37	0.68	0.66	1.47	1.49	1.55	1.60	1.50	1.18	0.74
FeO	3.06	3.47	2.42	0.67	0.57	2.53	1.17	12.47	12.77	12.11	3.59	5.45	6.24	6.03
F	0.62	0.40	0.45	0.31	0.68	0.38	0.35	0.32	0.31	0.25	0.24	0.30	0.23	0.27
O=F	-0.26	-0.17	-0.19	-0.13	-0.29	-0.16	-0.15	-0.13	-0.13	-0.11	-0.10	-0.13	-0.10	-0.11
Celkem	99.06	99.70	99.39	99.02	100.18	100.38	99.27	98.82	100.37	98.77	99.71	100.98	98.37	99.09
Si	2.943	2.955	2.933	2.953	2.954	2.971	2.973	3.018	3.010	2.995	2.988	2.979	2.966	2.985
Ti	0.064	0.043	0.057	0.071	0.056	0.043	0.066	0.020	0.016	0.016	0.031	0.020	0.009	0.019
Al	1.665	1.692	1.681	1.366	1.825	1.726	1.375	1.828	1.843	1.836	1.595	1.651	1.662	1.574
Fe ³⁺	0.321	0.311	0.338	0.585	0.156	0.247	0.547	0.096	0.106	0.141	0.366	0.351	0.387	0.417
Mg	0.109	0.137	0.122	0.057	0.010	0.081	0.084	0.061	0.137	0.081	0.105	0.156	0.285	0.252
Ca	2.674	2.594	2.671	2.881	2.875	2.726	2.833	2.055	1.963	2.027	2.575	2.396	2.201	2.308
Mn	0.024	0.043	0.041	0.043	0.089	0.044	0.044	0.098	0.098	0.104	0.105	0.098	0.079	0.049
Fe ²⁺	0.200	0.224	0.157	0.044	0.036	0.162	0.077	0.823	0.828	0.799	0.234	0.349	0.410	0.395
F	0.153	0.098	0.110	0.078	0.164	0.092	0.087	0.080	0.076	0.062	0.058	0.072	0.057	0.067
Catsum	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Sps	0.8	1.4	1.4	1.4	3.0	1.5	1.5	3.3	3.3	3.5	3.5	3.3	2.6	1.6
Prp	3.6	4.6	4.1	1.9	0.3	2.7	2.8	2.0	4.6	2.7	3.5	5.2	9.5	8.4
Adr	16.0	15.6	16.9	29.2	7.8	12.3	27.3	4.8	5.3	7.0	18.3	17.5	19.4	20.8
Grs	66.1	66.3	66.5	61.3	81.2	74.1	61.6	60.7	57.4	58.2	64.5	59.5	52.1	53.4
Ti-Grs	3.2	2.2	2.9	3.6	2.8	2.1	3.3	1.0	0.8	0.8	1.6	1.0	0.5	1.0
Alm	6.7	7.5	5.2	1.5	1.2	5.4	2.6	27.4	27.6	26.6	7.8	11.6	13.7	13.2
F-Kat	3.8	2.4	2.8	1.9	4.1	2.3	2.2	2.0	1.9	1.6	1.5	1.8	1.4	1.7
Celkem	100.2	99.9	99.7	100.8	100.3	100.4	101.3	101.3	100.9	100.4	100.6	100.0	99.2	100.1

Tabulka 2 Příklady chemického složení pyroxenu z Mýtinky. Obsahy v hm. %, hodnoty apfu jsou kalkulovány na základ šesti atomů kyslíku. b. d. - pod mezi stanovitelnosti, F/FM = Fe²⁺/(Mg+Fe²⁺)

An. č.	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	51.49	51.86	51.37	51.21	51.04	49.33	51.64
Al ₂ O ₃	1.48	1.90	1.12	0.67	0.39	4.23	2.03
MgO	8.35	8.18	8.26	8.24	8.54	7.62	6.48
MnO	0.76	0.92	0.84	0.91	0.74	0.67	0.55
FeO	13.65	14.30	13.55	13.80	13.42	15.45	14.48
ZnO	0.22	0.16	0.15	0.17	0.29	0.58	0.41
CaO	21.93	22.17	22.57	22.59	22.56	21.42	22.13
Na ₂ O	0.73	0.49	0.46	0.37	0.42	0.59	0.33
K ₂ O	b. d.	0.24	b. d.	b. d.	b. d.	0.28	0.13
Celkem	98.61	100.22	98.32	97.96	97.40	100.17	98.18
Si	2.000	1.988	2.004	2.010	2.013	1.908	2.018
Al	0.068	0.086	0.051	0.031	0.018	0.193	0.094
Mg	0.483	0.467	0.480	0.482	0.502	0.439	0.378
Mn	0.025	0.030	0.028	0.030	0.025	0.022	0.018
Fe	0.443	0.458	0.442	0.453	0.443	0.500	0.473
Zn	0.006	0.005	0.004	0.005	0.008	0.017	0.012
Ca	0.913	0.911	0.943	0.950	0.953	0.888	0.927
Na	0.055	0.036	0.035	0.028	0.032	0.044	0.025
K	b. d.	0.012	b. d.	b. d.	b. d.	0.014	0.006
Catsum	3.994	3.993	3.988	3.989	3.994	4.025	3.951
F/FM	0.48	0.50	0.48	0.48	0.47	0.53	0.56

sléze většinou vyplněn bílým kalcitem, jenž je však často druhotně vyloučen (obr. 2c). Tento typ žil je zastížen na vzorcích D-210, D-211, D-215 a D-216. Minoritní typy žil reprezentují žily tvořené zejména světlou slídou (tabulky do 0.5 cm) v doprovodu malého množství chloritu a K-živce (vzorek My-1), dále žily s automorfními krystaly biotitu (šestiboké tabulky o velikosti až 2.5 cm narostlé do dutin, velmi často je ovšem biotit chloritizován), s křemenem a kalcitem (vzorek My-2; obr. 2e,f) a také žilky tvořené krystaly křemene a kalcitem.

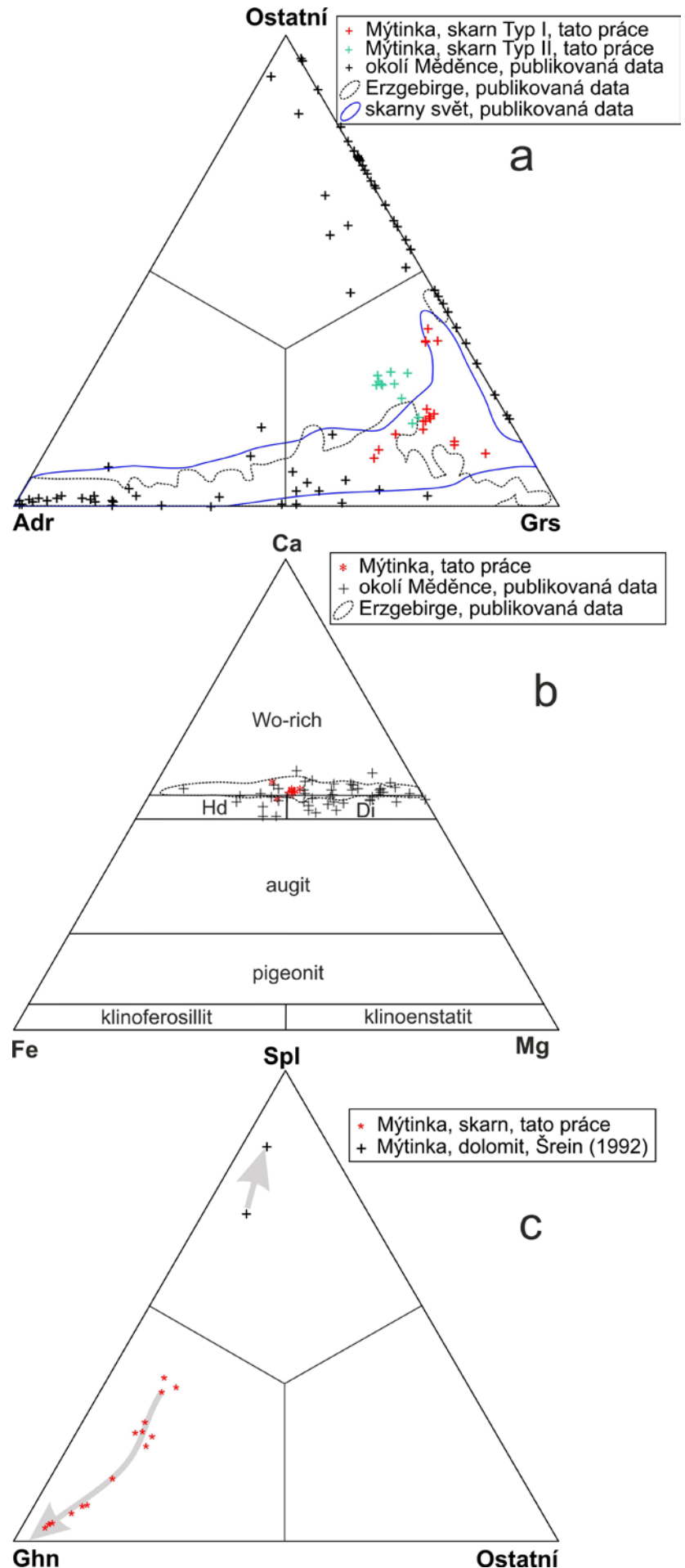
Charakteristika zjištěných minerálů

Granát je jednou z hlavních složek obou typů skarnů, zatímco v žilách nebyly granáty zjištěny. Xenomorfně omezená izometrická zrna granátu dosahují velikosti až 1 cm, běžně však do 2 mm. Bývají intenzivně zatlačovány minerály epidotové skupiny (obr. 3a,b). V BSE obraze granáty většinou nevykazují výraznější zonalitu (obr. 3a,b), ačkoliv bodové analýzy ukázaly relativně variabilní složení (tab. 1). V analyzovaných vzorcích skarnů bez magnetitu (D-208 a My-1) jde klasifikačně vždy

o **grosulár** se zvýšeným podílem andraditové komponenty a mírně zvýšeným obsahem některých dalších granátových složek ($Grs_{57-81}Adr_{5-29}Alm_{1-28}Ti-Grs_{1-4}Sps_{1-5}F-Kat_{2-4}Prp_{0-5}$; tab. 1, obr. 4a). Složení granátu ze skarnu s magnetitem rovněž odpovídá grosuláru ($Grs_{52-65}Adr_{14-21}Alm_{8-16}Ti-Grs_{0-2}Sps_{2-4}F$).

Pyroxeny byly zastiženy pouze sporadicky v jednom vzorku skarnu typu I (My-1). Vytváří xenomorfně omezená izometrická zrna o velikosti do 100 μm silně zatlačovaná a uzavíraná epidotem (obr. 3b). V BSE obraze je nezonální. Průměty chemického složení (tab. 2) do klasifikačního digramu Morimota et al. (1989) padají na rozhraní **Wo-rich pyroxenu, hedenbergitu** a diopsidu ($Wo_{49-52}En_{21-27}Fs_{22-27}$; obr. 4b). Obsah johannsenitové složky je nízký (2 - 3 mol. %). Obsahy Al kolísají mezi 0.02 a 0.19 *apfu*. Zajímavé jsou průběžně slabě zvýšené obsahy Zn (0.004 - 0.016 *apfu*).

Amfiboly ve vzorcích charakteristicky zatlačují granát a samy jsou korodovány chlority. Bývají vedlejší či hlavní složkou studovaných vzorků skarnů i žil. Masivní monominerální agregáty amfibolu jsou v nábrusech při okrajích doprovázeny i jemnými jehlicemi, uzavíranými v křemen-živcové matici. V BSE obraze bývají někdy slabě zonální (obr. 3c), s tmavšími objemnými jádry a světlejšími tenkými okraji, jindy však bývá zonalita i opačná (obr. 3c). Podle provedených bodových WDS analýz (tab. 3), rozpočtených na bezvodou bázi 23 atomů kyslíku a 13eCNK (Leake et al. 1997), jsou ve



Obr. 4 Variace v chemismu granátů, pyroxenů a spinelidů ze skarnů z Mýtinky a jejich porovnání s publikovanými daty. a - granáty v diagramu Adr-Grs-ostatní, srovnávací data pro skarny z Měděnce jsou ze Šreina (1992), z německé strany Krušných hor (Erzgebirge) z Lefebvra et al. (2019b); Reinhardt et al. (2021) a Meyera et al. (2004b) a ze světových skarnů z Meinerta (1992). b - pyroxeny v diagramu Fe-Ca-Mg (Morimoto et al. 1989), srovnávací data pro skarny z Měděnce jsou ze Šreina (1992), z německé strany Krušných hor (Erzgebirge) z Meyera et al. (2004b). c - spinelidy v diagramu Ghn-Spl-ostatní, srovnávací data z krystalického dolomitu z Mýtinky jsou ze Šreina (1992). Šipky indikují krystalizační trend.

studovaných vzorcích přítomny čtyři minerální druhy ve smyslu výše citované práce. Jádra krystalů jsou zpravidla tvořena **magneziohornblendem**, méně často **magneziohastingsitem** či **edenitem**. Okrajové zóny jsou tvořeny buď výše zmíněným magneziohornblendem či **aktinolit**em (obr. 5). Obsahy Na (0.03 - 0.52 *apfu*) v amfibolech vždy převažují nad K (0.02 - 0.32 *apfu*). Jako draselné („potassic“) lze ve smyslu Leakeho et al. (1997) charakterizovat pouze analýzy magneziohastingsitu. Obsahy F se pohybují mezi 0.14 a 0.43 *apfu*. Všechny analyzované aktinolity, edenity a magneziohastingsity lze charakterizovat jako fluorové („fluorian“) ve smyslu klasifikace Leakeho et al. (1997); v případě magneziohornblendu má tuto charakteristiku jen asi polovina naměřených analýz. V části

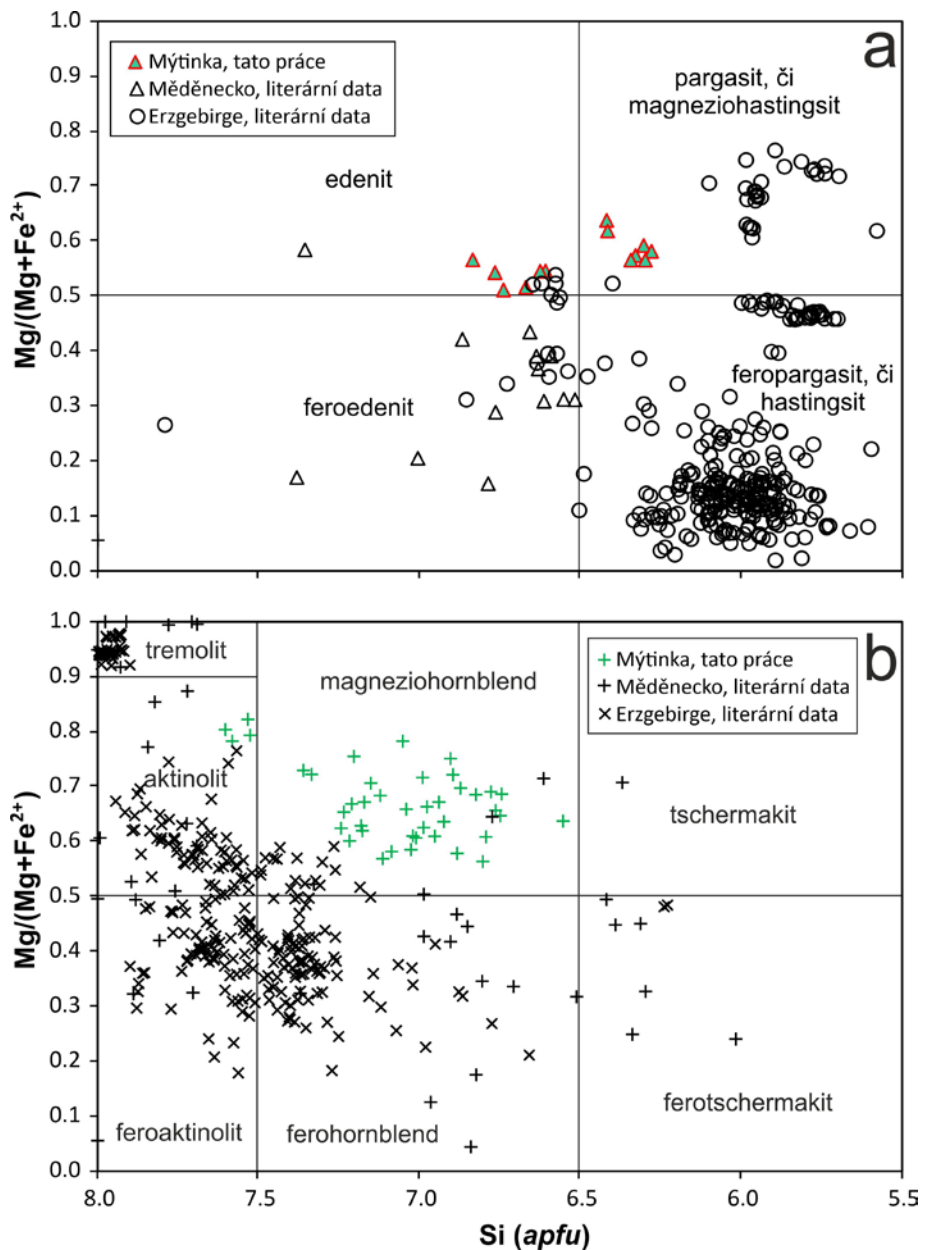
analýz byly zjištěny i slabě zvýšené obsahy P (do 0.023 *apfu*), Zn (do 0.040 *apfu*) a/nebo Cl (do 0.031 *apfu*). Nebyly zjištěny významné rozdíly v chemismu mezi amfiboly skarnů a žil.

Minerály epidotové skupiny jsou hlavní až vedlejší složkou některých partií skarnu a hlavní složkou epidotových žil. Bodové WDS analýzy ukázaly převahu běžných členů řady epidot-kliноzoisit bez zvýšených obsahů REE a s jen malými obsahy Mn (tab. 4). Ve skarnových vzorcích tato fáze různě intenzivně zatlačuje granát a pyroxen (obr. 3a,b). Zonalita obvykle není v BSE obraze patrná. Klasifikačně se ve většině případů jedná o **epidot** (Ep⁵³⁻⁸³Clz₁₆₋₄₇Pie₁₋₂), pouze tři analýzy z jediného vzorku (D-212) odpovídají **kliноzoisitu** (Ep₃₈₋₄₄Clz₅₆₋₆₀Pie₁₋₂). Vedle

Tabulka 3 Příklady chemického složení amfibolů (*Mhs* - magneziohastingsit, *Edn* - edenit, *Mhb* - magneziohornblend, *Act* - aktinolit) z Mýtinky. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* a rozpočet železa jsou kalkulovány na základě 23 atomů kyslíku a 13 eCNK. b.d. - pod mezí stanovitelnosti, M/MF = Mg/(Mg+Fe²⁺)

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Mhs	Mhs	Mhs	Edn	Edn	Edn	Mhb	Mhb	Mhb	Mhb	Mhb	Act	Act	Act
Vzorek	D-210	D-210	D-210	D-216	D-216	D-216	D-215	D-215	D-211	D-211	D-216	D-210	D-210	D-210
P ₂ O ₅	0.11	0.10	0.13	0.14	0.06	0.05	0.10	0.11	b.d.	b.d.	b.d.	0.08	0.10	0.15
SiO ₂	41.49	42.71	41.88	46.05	43.73	44.84	48.75	46.25	48.11	47.73	45.85	52.85	52.49	53.24
TiO ₂	0.15	0.23	0.15	0.17	0.19	0.24	0.24	0.22	0.29	0.25	0.21	0.05	0.03	0.03
Al ₂ O ₃	11.63	10.25	11.28	8.70	9.81	9.80	5.76	7.77	8.04	8.45	9.16	1.30	1.46	1.48
Fe ₂ O ₃	7.26	6.89	6.78	2.38	3.83	3.83	8.21	7.27	1.03	2.43	2.79	7.21	7.58	6.25
MgO	9.14	10.96	9.53	10.85	9.87	9.85	14.38	12.54	11.37	11.49	10.64	16.91	16.02	16.16
CaO	11.47	11.80	11.55	12.21	12.12	12.01	11.91	12.31	12.15	12.01	12.22	12.39	12.17	12.44
MnO	0.58	0.59	0.56	0.64	0.58	0.55	0.60	0.60	0.64	0.65	0.64	0.60	0.65	0.61
FeO	12.53	11.10	12.62	14.83	14.66	16.79	7.11	10.01	14.56	13.29	14.70	6.51	7.43	8.00
ZnO	0.21	0.19	0.38	0.16	0.25	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.17	b.d.	0.20
Na ₂ O	1.26	1.44	1.53	1.42	1.27	1.78	0.60	0.79	1.08	1.12	1.30	0.34	0.27	0.12
K ₂ O	1.60	1.34	1.49	0.83	1.21	1.15	0.38	0.65	0.58	0.49	0.90	0.14	0.15	0.15
F	0.70	0.91	0.74	0.50	0.56	0.57	0.54	0.53	0.48	0.54	0.50	0.79	0.59	0.57
Cl	0.11	0.10	0.09	0.05	0.10	0.09	0.04	0.08	0.06	0.03	0.06	b.d.	b.d.	b.d.
O=F+Cl	-0.33	-0.41	-0.34	-0.22	-0.26	-0.26	-0.24	-0.24	-0.22	-0.24	-0.23	-0.33	-0.25	-0.24
Celkem	97.92	98.18	98.37	98.70	97.96	98.35	98.37	98.88	98.17	98.24	98.74	98.99	98.69	99.41
P	0.014	0.013	0.017	0.018	0.008	0.006	0.012	0.014	b.d.	b.d.	b.d.	0.010	0.012	0.018
Si	6.299	6.420	6.330	6.836	6.609	6.740	7.052	6.778	7.087	7.011	6.804	7.534	7.527	7.582
⁷ Al	1.687	1.568	1.654	1.147	1.383	1.253	0.936	1.208	0.913	0.989	1.196	0.218	0.246	0.248
T sum	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	7.761	7.785	7.849
⁹ Al	0.395	0.248	0.356	0.375	0.364	0.483	0.047	0.133	0.483	0.474	0.406	b.d.	b.d.	b.d.
Ti	0.017	0.026	0.017	0.019	0.022	0.027	0.026	0.024	0.032	0.028	0.024	0.005	0.003	0.003
Fe ³⁺	0.829	0.779	0.771	0.266	0.435	0.102	0.894	0.802	0.114	0.269	0.311	0.773	0.818	0.670
Mg	2.068	2.456	2.147	2.401	2.223	2.207	3.100	2.740	2.497	2.516	2.355	3.594	3.424	3.430
Fe ²⁺	1.592	1.395	1.595	1.841	1.854	2.111	0.860	1.227	1.794	1.633	1.824	0.776	0.891	0.953
Mn	0.075	0.076	0.072	0.080	0.074	0.070	0.074	0.074	0.079	0.081	0.080	0.073	0.079	0.074
Zn	0.023	0.021	0.042	0.018	0.028	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.018	b.d.	0.021
O sum	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.239	5.215	5.151
Ca	1.867	1.901	1.870	1.942	1.963	1.934	1.846	1.933	1.918	1.890	1.943	1.892	1.869	1.898
²³ Na	0.133	0.099	0.130	0.058	0.037	0.066	0.154	0.067	0.082	0.110	0.057	0.093	0.074	0.033
³⁹ K												0.015	0.027	0.027
B sum	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.971	1.959
²³ Na	0.237	0.319	0.319	0.351	0.336	0.453	0.016	0.157	0.226	0.209	0.318	b.d.	b.d.	b.d.
³⁹ K	0.311	0.256	0.287	0.157	0.234	0.221	0.069	0.121	0.108	0.092	0.170	0.010	b.d.	b.d.
A sum	0.548	0.576	0.606	0.508	0.569	0.674	0.085	0.278	0.334	0.301	0.488	0.010	0.000	0.000
Catsum	15.548	15.576	15.606	15.508	15.569	15.674	15.085	15.278	15.334	15.301	15.488	15.010	14.971	14.959
F	0.338	0.433	0.354	0.235	0.266	0.271	0.249	0.243	0.226	0.251	0.185	0.357	0.269	0.257
Cl	0.028	0.025	0.023	0.013	0.026	0.023	0.010	0.020	0.015	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
M/MF	0.57	0.64	0.57	0.57	0.55	0.51	0.78	0.69	0.58	0.61	0.56	0.82	0.79	0.78

hlavních složek (Ca, Al, Fe, Mn, Si) byly v klinozoisit-epidotech v části analýz zjištěny i malé obsahy P (do 0.022 *apfu*), F (do 0.069 *apfu*) a Ti (pouze v epidotech; do 0.020 *apfu*). V drobných xenomorfně omezených zrnech o velikosti kolem 50 μm byl ve skarnech vzorků D-208 a My-1 zastižen i člen epidotové skupiny bohatý na REE. Je uložen v granát-epidotové matici. Obsahy REE se v něm pohybují mezi 0.41 a 0.58 *apfu* (tab. 5) a v rámci sumy REE je vždy dominantním prvkem Ce, takže klasifikačně jde o **REE-bohatý epidot až allanit-(Ce)** (obr. 6a). Z dalších prvků je třeba zmínit především zvýšený obsah Th (0.014 - 0.025 *apfu*).



Obr. 5 Variace v chemismu amfibolů ze skarnů z Mýtinky v klasifikačních diagramech podle Leakeho et al. (1997) a jejich porovnání s publikovanými daty. a - amfiboly s $^A(\text{Na}+\text{K}) > 0.5$ *apfu*, b - amfiboly s $^A(\text{Na}+\text{K}) < 0.5$ *apfu*. Srovnávací data pro skarny z Měděnecka jsou ze Šreina (1992) a z německé strany Krušných hor (Erzgebirge) z Meyera et al. (2004b).

Tabulka 4 Příklady chemického složení minerálů řady epidot (Ep) - klinozoisit (Clz) z Mýtinky. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na základ 12.5 atomů kyslíku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti

An. č.	1	2	3	4	5	6	An. č.	1	2	3	4	5	6
Minerál	Clz	Clz	Ep	Ep	Ep	Ep	Minerál	Clz	Clz	Ep	Ep	Ep	Ep
Vzorek	D-212	D-212	D-213	D-209	D-215	D-217	Vzorek	D-212	D-212	D-213	D-209	D-215	D-217
P ₂ O ₅	b.d.	0.11	0.12	0.33	0.25	0.11	P	b.d.	0.007	0.008	0.022	0.016	0.007
SiO ₂	38.53	38.30	38.32	37.80	38.48	38.29	Si	2.997	2.989	2.987	2.978	2.978	3.008
TiO ₂	b.d.	b.d.	0.28	0.07	0.32	0.12	Ti	b.d.	b.d.	0.016	0.004	0.019	0.007
Al ₂ O ₃	28.40	27.78	26.76	26.02	25.83	24.03	Al	2.603	2.555	2.459	2.416	2.356	2.225
Mn ₂ O ₃	0.27	0.13	0.09	b.d.	0.42	0.11	Mn ³⁺	0.013	0.007	0.004	b.d.	0.021	0.006
Fe ₂ O ₃	6.58	7.40	8.93	9.77	10.45	12.46	Fe ³⁺	0.385	0.435	0.524	0.579	0.608	0.737
CaO	24.05	24.02	23.87	23.54	23.96	23.78	Ca	2.004	2.009	1.994	1.987	1.987	2.002
F	0.23	0.23	b.d.	0.22	0.21	b.d.	F	0.057	0.057	b.d.	0.055	0.051	b.d.
Celkem	98.06	97.97	98.37	97.75	99.92	98.90	Catsum	8.003	8.002	7.991	7.987	7.986	7.991
							Clz	60.2	55.7	46.5	41.8	36.2	23.3
							Pie	1.3	0.7	0.4	0.0	2.1	0.6
							Ep	38.4	43.6	53.1	58.2	61.7	76.2

Tabulka 5 Chemické složení REE-bohatého epidotu (REE-Ep) až allanitu (Aln) z Mýtinky. Obsahy v hm. %, hodnoty apfu a rozpočet Fe jsou kalkulovány na základ 12.5 atomů kyslíku a (kde možno) 8 kationtů. b.d. - pod mezí stanovitelnosti

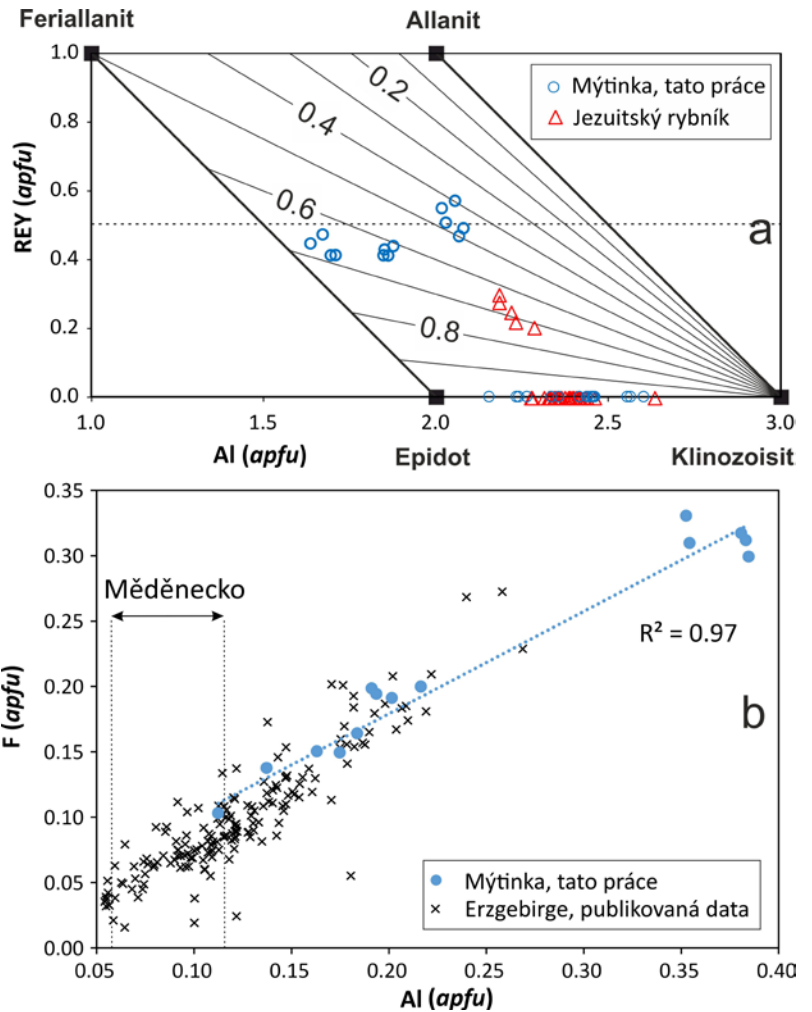
An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Minerál	Aln	Aln	Aln	REE-Ep	REE-Ep	REE-Ep	REE-Ep	REE-Ep	REE-Ep	REE-Ep	REE-Ep	REE-Ep	REE-Ep
Vzorek	D-208	D-208	D-208	D-208	D-208	My-1	My-1	My-1	My-1	My-1	My-1	My-1	My-1
P ₂ O ₅	1.10	1.22	1.03	0.95	0.95	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
SiO ₂	32.27	31.36	33.12	33.17	33.32	33.60	32.94	32.91	33.46	33.46	32.72	33.20	33.26
TiO ₂	0.16	0.17	0.23	0.19	0.14	0.10	0.12	0.14	0.12	0.10	0.11	0.10	0.13
ZrO ₂	b.d.	0.06	0.04	0.07	0.12	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
ThO ₂	1.08	1.14	1.04	1.11	0.97	0.65	0.80	0.88	0.70	0.86	0.72	0.88	0.84
Al ₂ O ₃	17.96	18.20	18.90	18.71	19.11	15.40	14.39	14.70	15.05	16.55	16.55	16.66	16.54
Mn ₂ O ₃	0.48	0.55	0.50	0.51	0.44	0.90	0.83	0.91	0.88	0.96	0.96	0.92	0.94
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	1.92	0.00	0.00	6.74	6.60	5.70	5.83	4.21	3.97	4.63	4.17
Y ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.17	0.26	0.22	0.13	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
La ₂ O ₃	5.81	6.15	5.85	5.26	5.17	3.35	3.49	3.69	3.36	3.31	3.53	3.30	3.43
Ce ₂ O ₃	7.48	7.61	7.54	6.49	6.82	5.66	5.90	6.32	5.71	6.05	6.30	6.04	6.19
Pr ₂ O ₃	0.66	0.70	0.47	0.43	0.68	0.71	0.66	0.73	0.46	0.55	0.63	0.52	0.65
Nd ₂ O ₃	1.55	1.59	1.12	1.21	1.55	1.49	1.68	1.73	1.47	1.39	1.50	1.48	1.64
Sm ₂ O ₃	0.12	0.15	0.14	0.13	0.16	0.22	0.28	0.28	0.29	0.27	0.28	0.25	0.28
Eu ₂ O ₃	0.14	0.10	0.11	0.13	0.17	0.15	0.15	0.16	0.15	0.18	0.14	0.13	0.14
Gd ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.21	0.17	0.23	0.21	0.20	0.14	0.20	0.07
MgO	1.74	1.94	2.13	1.74	1.74	2.07	1.56	1.46	2.03	1.54	0.89	1.12	1.18
CaO	12.77	12.48	14.11	12.86	13.58	13.60	12.78	12.56	12.60	13.73	14.14	14.39	14.14
FeO	7.52	7.52	6.01	7.80	7.74	5.82	7.38	7.84	7.18	6.88	6.93	6.54	6.92
Na ₂ O	0.16	0.13	0.19	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.07	0.05	0.06	0.05
K ₂ O	0.07	0.05	0.10	0.13	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.04	0.05	0.05
F	0.64	0.59	0.56	0.61	0.58	0.37	0.47	0.41	0.40	0.32	0.45	0.41	0.39
Cl	0.08	0.09	0.11	0.09	0.09	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Celkem	91.07	91.12	94.36	91.04	92.88	91.40	90.65	91.06	90.24	90.68	90.05	90.88	91.00
P	0.089	0.099	0.079	0.075	0.074	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Si	3.074	3.004	3.016	3.108	3.076	3.163	3.178	3.174	3.198	3.169	3.147	3.148	3.157
Subtot.	3.163	3.103	3.095	3.184	3.150	3.163	3.178	3.174	3.198	3.169	3.147	3.148	3.157
Ti	0.011	0.012	0.016	0.013	0.010	0.007	0.009	0.010	0.009	0.007	0.008	0.007	0.009
Zr	b.d.	0.003	0.002	0.003	0.005	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Th	0.023	0.025	0.022	0.024	0.020	0.014	0.018	0.019	0.015	0.019	0.016	0.019	0.018
Al	2.017	2.055	2.029	2.067	2.079	1.708	1.636	1.671	1.695	1.848	1.876	1.861	1.850
Mn	0.029	0.033	0.029	0.030	0.026	0.064	0.061	0.067	0.064	0.069	0.070	0.066	0.068
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.132	0.00	0.00	0.478	0.479	0.414	0.419	0.300	0.287	0.330	0.298
Y	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.009	0.013	0.011	0.007	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
La	0.204	0.217	0.196	0.182	0.176	0.116	0.124	0.131	0.118	0.116	0.125	0.115	0.120
Ce	0.261	0.267	0.251	0.223	0.231	0.195	0.208	0.223	0.200	0.210	0.222	0.210	0.215
Pr	0.023	0.024	0.016	0.015	0.023	0.024	0.023	0.026	0.016	0.019	0.022	0.018	0.022
Nd	0.053	0.054	0.036	0.040	0.051	0.050	0.058	0.060	0.050	0.047	0.052	0.050	0.056
Sm	0.004	0.005	0.004	0.004	0.005	0.007	0.009	0.009	0.010	0.009	0.009	0.008	0.009
Eu	0.005	0.003	0.003	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.005	0.004	0.005
Gd	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.007	0.005	0.007	0.007	0.006	0.004	0.006	0.002
Mg	0.247	0.277	0.289	0.243	0.239	0.291	0.224	0.210	0.289	0.217	0.128	0.158	0.167
Ca	1.303	1.281	1.377	1.291	1.343	1.372	1.321	1.298	1.290	1.393	1.458	1.462	1.439
Fe ²⁺	0.599	0.602	0.458	0.611	0.598	0.458	0.596	0.632	0.574	0.545	0.557	0.519	0.549
Na	0.030	0.024	0.034	0.027	0.027	0.026	0.024	0.024	0.026	0.013	0.009	0.011	0.009
K	0.009	0.006	0.012	0.016	0.008	0.007	0.007	0.007	0.009	0.007	0.005	0.006	0.006
Subtot.	4.817	4.890	4.905	4.794	4.847	4.837	4.822	4.826	4.802	4.831	4.853	4.852	4.843
F	0.193	0.179	0.161	0.181	0.169	0.110	0.143	0.125	0.121	0.096	0.137	0.123	0.117
Cl	0.013	0.015	0.017	0.014	0.014	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Catsum	7.980	7.993	8.000	7.977	7.997	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
REE ^{tot}	0.549	0.571	0.508	0.468	0.491	0.413	0.447	0.473	0.412	0.412	0.439	0.412	0.429
La _N /Sm _N	29.94	25.36	25.84	25.02	19.98	9.42	7.71	8.15	7.17	7.58	7.80	8.16	7.58
Ce/Ce*	0.92	0.88	1.09	1.04	0.87	0.88	0.93	0.92	1.10	1.08	1.01	1.11	0.99
Eu/Eu*	>3.88	>2.48	>2.82	>3.46	>4.08	2.12	2.09	1.91	1.84	2.35	2.15	1.76	3.03

Ten je pravděpodobně příčinou metamiktizace dané fáze, na níž lze soudit na základě snížených analytických sum (90 - 94 hm. %) a nestechiometrického složení (obsahy prvků v pozici Si zaujmají při přepočtu na bezvodou bázi 12.5 atomu kyslíku 3.10 - 3.20 *apfu*, i když je všechno železo uvažováno jako Fe^{2+} a zároveň suma kationtů nepřesahuje 8 *apfu*). Důsledkem metamiktizace jsou pravděpodobně i lokálně vysoké obsahy P (0.074 - 0.099 *apfu*) a alkálií (0.015 - 0.045 *apfu* Na+K). Zvýšený je i obsah F (0.09 - 0.18 *apfu*). Chondritem normalizovaná distribuce REE se vyznačuje obvyklým plynulým poklesem křivky od La k Sm (obr. 7). Variabilita tvarů křivek REE je sice celkově poměrně široká ($La_{CN}/Sm_{CN} = 7.2 - 29.9$), avšak v rámci jednotlivých zrn minerálů je rozptyl poměrů La_{CN}/Sm_{CN} jen malý. Ce anomálie chybí ($Ce/Ce^* = 0.87 - 1.11$) a Eu anomálie je vždy zřetelně pozitivní ($Eu/Eu^* = 1.76$ až >4.08).

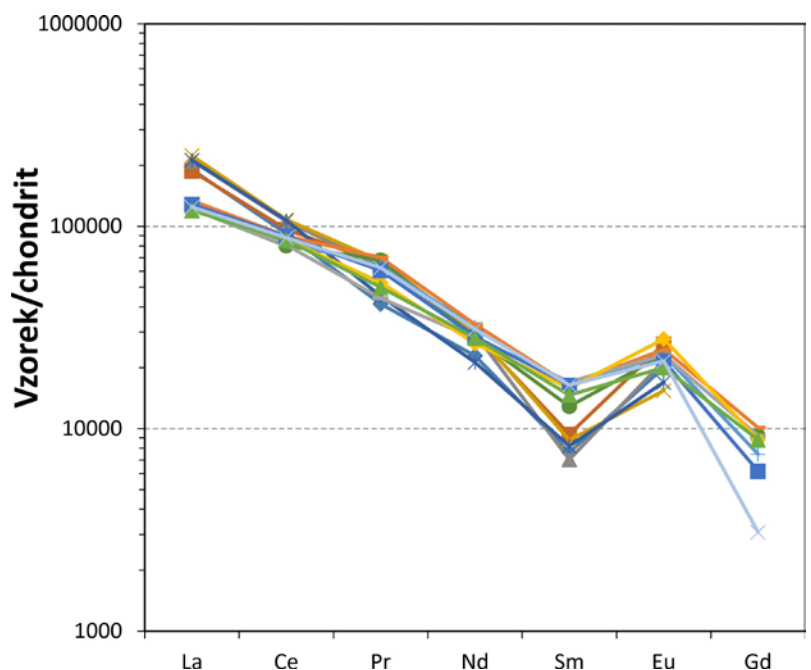
Biotit je hlavní složkou vzorku skarnu s magnetitem (typ II) a vedlejší komponentou některých žil, zatímco ve skarnu typu I zaznamenán vůbec nebyl. Ve skarnu typu II vytváří jemnozrnnou mezerní hmotu mezi zrny granátu a magnetitu (obr. 3e). Na žilách je přítomen v jednotlivých automorfně omezených tabulkách pseudohehexagonálního habitu o velikosti až 2.5 cm, které bývají často zčásti či zcela pseudomorfované chloritem s uzavřeninami TiO_2 fáze (obr. 3f). Chemické složení obou typů se mírně liší, i když klasifikačně jde vždy o **flogopit** (tab. 6, obr. 8a). Biotit ze žil má vyšší poměr $Fe/(Fe+Mg)$ (0.43 - 0.496) a vyšší obsah F (0.17 - 0.24 *apfu*) než biotit ze skarnu ($Fe/(Fe+Mg) = 0.25 - 0.28$, 0.12 - 0.17 *apfu* F). Nižší obsah mezivrstevních kationtů v biotitu ze žily (0.80 - 0.95 *apfu*) může souviset s počínající chloritizací minerálů. Zajímavé jsou slabě zvýšené obsahy Zn (až 0.043 *apfu*), v průměru poněkud vyšší v biotitu ze skarnu.

Světlá slída je hlavní složkou jednoho typu žil, v nichž tvoří hlavní složku, doprovázenou minoritním chloritem a K-živcem (obr. 9a). Tabulky slídy dosahují velikosti až 0.5 cm a na rozdíl od biotitu nerostly do volného prostoru,

Obr. 7 Chondritem normalizované distribuce REE v REE-bohatém epidotu až allanitu.



Obr. 6 Variace v chemismu minerálů epidotové skupiny a titanitu z Mýtinky a jejich porovnání s publikovanými daty. a - minerály epidotové skupiny v diagramu podle Petrika et al. (1995), b - diagram Al - F pro titanit. Srovnávací data pro skarny z Měděnecka (uvedeny pouze obsahy Al) jsou ze Šreina (1992), z německé strany Krušných hor (Erzgebirge) z Meyera et al. (2004b) a ze skarnového výskytu Jezuitský rybník u Golčova Jeníkova z Dolníčka et al. (2020).



takže nemají automorfní omezení. V intergranulárách a podél štěpnosti je slída pronikána chloritem a K-živcem. Chemické složení (tab. 7) odpovídá dioktaedrické slídě (suma 6.97 - 7.02 kationtů při přepočtu na bezvodou bázi 11 atomů kyslíku) blízké muskovitu (dominance K v rámci mezivrstevních kationtů). Slída je oproti ideálnímu vzorci muskovitu silně substituovaná: má značný přebytek Si (3.48 - 3.54 *apfu*) a značný deficit Al (jen 1.87 - 1.99 *apfu*), jenž je kompenzován zvýšenými obsahy Mg (0.39 - 0.45 *apfu*) a Fe (0.18 - 0.20 *apfu*). Obsah mezivrstevních kationtů kolísá mezi 0.906 a 0.975 *apfu*. Obsah F je zvýšený (0.207 - 0.243 *apfu*). Jde tedy o silně *fengitický muskovit* (tj. pevný roztok muskovitu a (alumino)seladonitu) ve smyslu Riederera et al. (1998).

Chlorit často silně zatlačuje biotit v žilkách (obr. 3f) a v malé míře i granáty, amfiboly a/nebo gahnit v horninové matici (obr. 3d, 9b). Doprovází také muskovit ve slídou bohaté žíle (obr. 9a). Z pohledu chemického složení (tab. 8) jde o trioktaedrické Fe-Mg-Al chlority klinochlor-chamositové řady (Bayliss 1975; Wiewióra, Weiss 1990). Obsahy Si kolísají mezi 2.36 a 3.62 *apfu*, obsahy celkového Al mezi 1.65 a 2.72 *apfu*, obsahy Fe se pohybují mezi 1.47 a 2.35 *apfu*, obsahy Mg mezi 2.09 a 3.17 *apfu*. Obsah Mn je nízký (0.03 - 0.09 *apfu*). Zajímavé jsou zvýšené obsahy Zn (až 0.097 *apfu*), přičemž nejvyšší obsahy byly zastíženy v chloritu zatlačujícím gahnit. Obsah Ca je mezi 0.005 a 0.074 *apfu* a zvýšené jsou u části analýz ze žil (vzorek D-216) i obsahy alkálií (max. 0.046 *apfu*), jejichž výskyt

Tabulka 6 Příklady chemického složení biotitu z Mýtinky. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bezvodou bázi 11 atomů kyslíku. b.d. - pod mezi stanovitelnosti, $F/FM = Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$

An. č.	1	2	3	4	5	6	7
Vzorek	My-2	My-2	My-2	My-3	My-3	My-3	My-3
SiO ₂	37.13	37.93	37.49	37.72	34.00	37.50	37.85
TiO ₂	1.18	1.22	1.17	0.27	0.21	0.34	0.33
Al ₂ O ₃	14.54	13.87	13.91	13.83	14.20	14.86	14.57
MgO	12.87	11.40	10.59	16.90	16.24	16.43	16.52
MnO	0.33	0.36	0.32	0.12	0.19	0.07	0.12
FeO	17.66	17.60	18.59	10.30	14.22	10.56	10.29
ZnO	0.24	0.28	0.33	0.39	0.68	0.33	0.29
CaO	b.d.	0.06	0.12	b.d.	b.d.	0.04	b.d.
BaO	b.d.	b.d.	b.d.	0.18	b.d.	0.28	b.d.
K ₂ O	8.80	8.79	8.28	9.77	6.64	9.71	9.63
F	0.98	0.70	0.74	0.63	0.51	0.48	0.57
Cl	0.13	0.12	0.11	0.11	0.07	0.06	0.06
O=F+Cl	-0.44	-0.32	-0.34	-0.29	-0.23	-0.22	-0.25
Celkem	93.42	92.01	91.31	89.93	86.73	90.44	89.98
Si	2.881	2.978	2.976	2.947	2.782	2.910	2.939
Ti	0.069	0.072	0.070	0.016	0.013	0.020	0.019
Al	1.330	1.283	1.301	1.274	1.370	1.359	1.334
Mg	1.489	1.334	1.253	1.968	1.981	1.901	1.912
Mn	0.022	0.024	0.022	0.008	0.013	0.005	0.008
Fe	1.146	1.156	1.234	0.673	0.973	0.685	0.668
Zn	0.014	0.016	0.019	0.022	0.041	0.019	0.017
Ca	b.d.	0.005	0.010	b.d.	b.d.	0.003	b.d.
Ba	b.d.	b.d.	b.d.	0.006	b.d.	0.009	b.d.
K	0.871	0.880	0.838	0.974	0.693	0.961	0.954
F	0.240	0.174	0.186	0.156	0.132	0.118	0.140
Cl	0.017	0.016	0.015	0.015	0.010	0.008	0.008
Catsum	7.821	7.749	7.723	7.887	7.867	7.871	7.852
F/FM	0.435	0.464	0.496	0.255	0.329	0.265	0.259

většinou koreluje s měřitelnými obsahy Ti (do 0.015 *apfu*), což nasvědčuje tomu, že jde pravděpodobně o chloritizovaný biotit. Poměr Fe/(Fe+Mg) v chloritech se pohybuje mezi 0.32 a 0.57 (tab. 8). V klasifikaci Melky (1965) odpovídá chemické složení většinou Mg-bohatým členům od *ripidolitu* přes *klinochlor* až po *pennin* (obr. 8c). Jen ve dvou analýzách převažuje Fe nad Mg; tato složení padají do polí *chamositu* a *delessitu* (obr. 8c).

Prehnit byl zastížen v nepatrném množství v jednom vzorku (D-212). Chemicky má obvyklé složení s nepatrnou příměsí Mn (do 0.011 *apfu*) či Fe (do 0.004 *apfu*).

Titanit je akcesorickou komponentou skarnů i mladších žil. Vytváří shluky automorfně omezených zrn o velikosti do 50 μm v asociaci s amfibolem, granátem, křemenem a K-živcem (obr. 3b,d, 9c). Titan je variabilně zastupován zejména Al (0.11 - 0.38 *apfu*; tab. 9), jehož obsahy velmi dobře pozitivně korelují ($R^2 = 0.97$; obr. 6b) s obsahy F (0.10 - 0.33 *apfu*). Z dalších příměsí lze zmínit malé obsahy Fe (0.007 - 0.063 *apfu*), Mg (do 0.049 *apfu*), Sn, V (oba do 0.007 *apfu*), Ce a Mn (oba do 0.003 *apfu*).

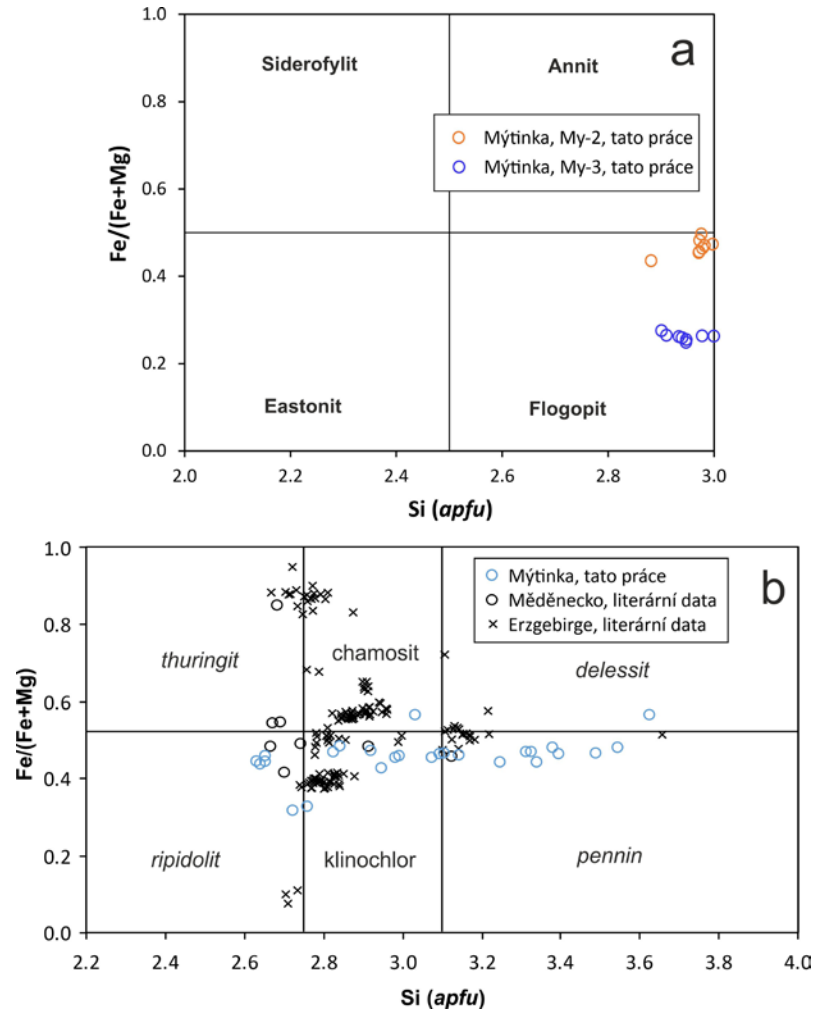
Spinelidy jsou hlavní až akcesorickou komponentou studovaných vzorků. Byly zjištěny dva kompoziční typy spinelidů. **Magnetit** je akcesorickou komponentou skarnu typu I a hlavní složkou skarnu typu II. Ve skarnu typu I vytváří samostatná izometrická zrna s hypautomorfním omezením, o velikosti do 0.5 mm. Chemicky je velmi čistý, obsahuje jen nepatrné příměsi Ti, Al, Ca a Zn (do 0.016 *apfu*; tab. 10). Magnetit ze skarnu typu II vytváří jednotlivá xenomorfní oválná zrna o velikosti až 1 mm (obr. 3e, 9e). V BSE obraze je nezonální. V porovnání s magnetitem ze skarnu typu I obsahuje vyšší podíly Ti, Mn a v části analýz i malé obsahy Zn či Mg ($Mg_{0.90-98}Ulv_{2-7}MgFe_{0.4}Hrc_{0.1}Fra_{0.1}Jkb_{0.1}$; tab. 11). **Gahnit** vytváří až 0.8

Tabulka 7 Příklady chemického složení muskovitu z Mýtinky. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bezvodou bázi 11 atomů kyslíku. b.d. - pod mezi stanovitelnosti, I^{tot} - suma mezivrstevních kationtů

An. č.	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	50.38	49.48	50.83	51.41	50.99	49.88	51.08
TiO ₂	0.18	0.22	0.20	0.18	0.21	0.19	0.18
Al ₂ O ₃	24.16	23.52	23.77	24.39	23.78	24.18	22.83
MgO	3.95	3.80	3.55	3.88	3.93	3.80	4.34
MnO	b.d.	b.d.	0.07	0.06	b.d.	0.08	b.d.
FeO	3.43	3.28	3.09	3.09	3.49	3.19	3.44
Na ₂ O	0.06	0.13	0.08	b.d.	0.08	0.13	b.d.
K ₂ O	10.70	10.65	10.70	10.58	10.68	10.37	10.24
F	1.06	1.06	1.08	0.99	1.06	0.94	1.09
Cl	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	0.02	0.05
O=F+Cl	-0.45	-0.45	-0.46	-0.43	-0.46	-0.40	-0.47
Celkem	93.50	91.72	92.94	94.19	93.82	92.38	92.78
Si	3.477	3.484	3.522	3.505	3.505	3.475	3.541
Ti	0.009	0.012	0.010	0.009	0.011	0.010	0.009
Al	1.965	1.952	1.941	1.960	1.927	1.986	1.865
Mg	0.406	0.399	0.367	0.394	0.403	0.395	0.449
Mn	b.d.	b.d.	0.004	0.003	b.d.	0.005	b.d.
Fe	0.198	0.193	0.179	0.176	0.201	0.186	0.199
Na	0.008	0.018	0.011	b.d.	0.011	0.018	b.d.
K	0.942	0.957	0.946	0.920	0.937	0.922	0.906
I^{tot}	0.950	0.975	0.957	0.920	0.947	0.939	0.906
Catsum	7.006	7.015	6.980	6.969	6.994	6.996	6.970
F	0.231	0.236	0.237	0.213	0.230	0.207	0.239
Cl	0.004	0.004	0.004	0.005	0.007	0.002	0.006

mm velká izolovaná, xenomorfně omezená zrna uzavřená v silikátové matici skarnu typu I. Obvykle hojně uzavírají inkluze okolních silikátů. V BSE obraze jsou gahnity zřetelně zonální. Tmavší jádra zrn, bohatší na Mg, jsou silně zatlačována, obrůstána a žilkovitě pronikána světlejším (v obraze BSE) Zn-bohatším a Mg-chudším spinelidem (obr. 9b,d). Obvykle jsou přítomny jen dvě kompozičně rozdílné matrice, výjimečně byla zastížena i v BSE obraze středně šedá zóna s přechodným složením. Složení jader odpovídá gahnitu s významnou příměsí spinelové a méně i hercynitové komponenty (Ghn₅₄₋₆₇Spl₂₀₋₃₄Hrc₆₋₁₂Mgt₂₋₅Gal₀₋₁; tab. 10, obr. 4c). Světla mladší zóna je tvořena kompozičně mnohem čistším gahnitem (Ghn₈₃₋₉₃Spl₂₋₇Hrc₃₋₇Mgt₁₋₂; tab. 10, obr. 4c). Ojedinelá přechodná zóna je kompozičně na pomezí obou majoritních typů (Ghn₇₆Spl₁₃Hrc₉Mgt₃; tab. 10).

Obr. 8 Variace v chemismu fylosilikátů z Mýtinky a jejich porovnání s publikovanými daty. a - biotit v diagramu podle Riederera et al. (1998), b - chlorit v klasifikačním diagramu podle Melky (1998). Srovnávací data pro skarny z Měděnecko jsou z práce Šreina (1992) a z německé strany Krušných hor (Erzgebirge) z práce Meyera et al. (2004b).



Tabulka 8 Příklady chemického složení chloritu z Mýtinky. Obsahy v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na bezvodou bázi 14 atomů kyslíku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti, F/FM = $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$, T - chloritový termometr podle Cathelineau (1988)

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Vzorek	D-216	D-216	D-216	D-208	D-208	D-208	D-208	My-1	My-1	My-1	My-2	My-2	My-2
SiO ₂	28.97	28.7	27.72	27.34	26.11	25.89	25.78	29.73	27.89	30.14	30.50	32.78	33.09
TiO ₂	0.09	0.19	0.13	b.d.	b.d.	b.d.	0.05	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Al ₂ O ₃	19.00	19.12	19.26	21.69	22.76	22.37	22.60	15.26	15.98	13.77	14.51	13.88	13.29
MgO	15.56	16.75	14.96	21.34	16.35	16.82	16.44	14.36	14.36	15.75	16.21	15.78	13.69
CaO	0.13	0.19	0.13	0.16	0.06	0.06	0.05	0.13	0.08	0.17	0.39	0.61	0.63
MnO	0.80	0.68	0.78	0.42	0.6	0.59	0.62	0.67	0.69	0.57	0.36	0.33	0.41
FeO	23.53	22.25	23.89	17.67	23.28	23.31	23.46	23.37	24.07	21.28	20.53	20.08	19.64
ZnO	0.26	0.43	0.17	0.67	1.29	1.17	1.25	0.18	b.d.	0.43	0.27	0.21	0.22
K ₂ O	0.09	0.12	0.09	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.08	0.05	0.10	0.84
Celkem	88.43	88.58	87.13	89.32	90.48	90.24	90.28	83.7	83.07	82.19	82.82	83.77	81.81
Si	2.991	2.946	2.919	2.722	2.652	2.639	2.630	3.246	3.093	3.324	3.312	3.488	3.624
Ti	0.007	0.015	0.010	b.d.	b.d.	b.d.	0.004	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Al	2.312	2.313	2.391	2.545	2.725	2.688	2.718	1.964	2.089	1.790	1.857	1.741	1.715
Mg	2.395	2.563	2.348	3.167	2.476	2.556	2.500	2.337	2.374	2.590	2.624	2.503	2.235
Ca	0.014	0.021	0.015	0.017	0.007	0.007	0.005	0.015	0.010	0.020	0.045	0.070	0.074
Mn	0.070	0.059	0.070	0.035	0.052	0.051	0.054	0.062	0.065	0.053	0.033	0.030	0.038
Fe	2.032	1.910	2.104	1.471	1.978	1.987	2.002	2.134	2.232	1.963	1.864	1.787	1.799
Zn	0.020	0.033	0.013	0.049	0.097	0.088	0.094	0.015	b.d.	0.035	0.022	0.016	0.018
K	0.012	0.016	0.012	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.011	0.007	0.014	0.034
Catsum	9.852	9.905	9.882	10.006	9.985	10.017	10.007	9.772	9.863	9.786	9.763	9.648	9.536
F/FM	0.46	0.43	0.47	0.32	0.44	0.44	0.44	0.44	0.46	0.47	0.47	0.47	0.57
T (°C)	263	277	286	350	372	376	379	181	230	156	160	103	59

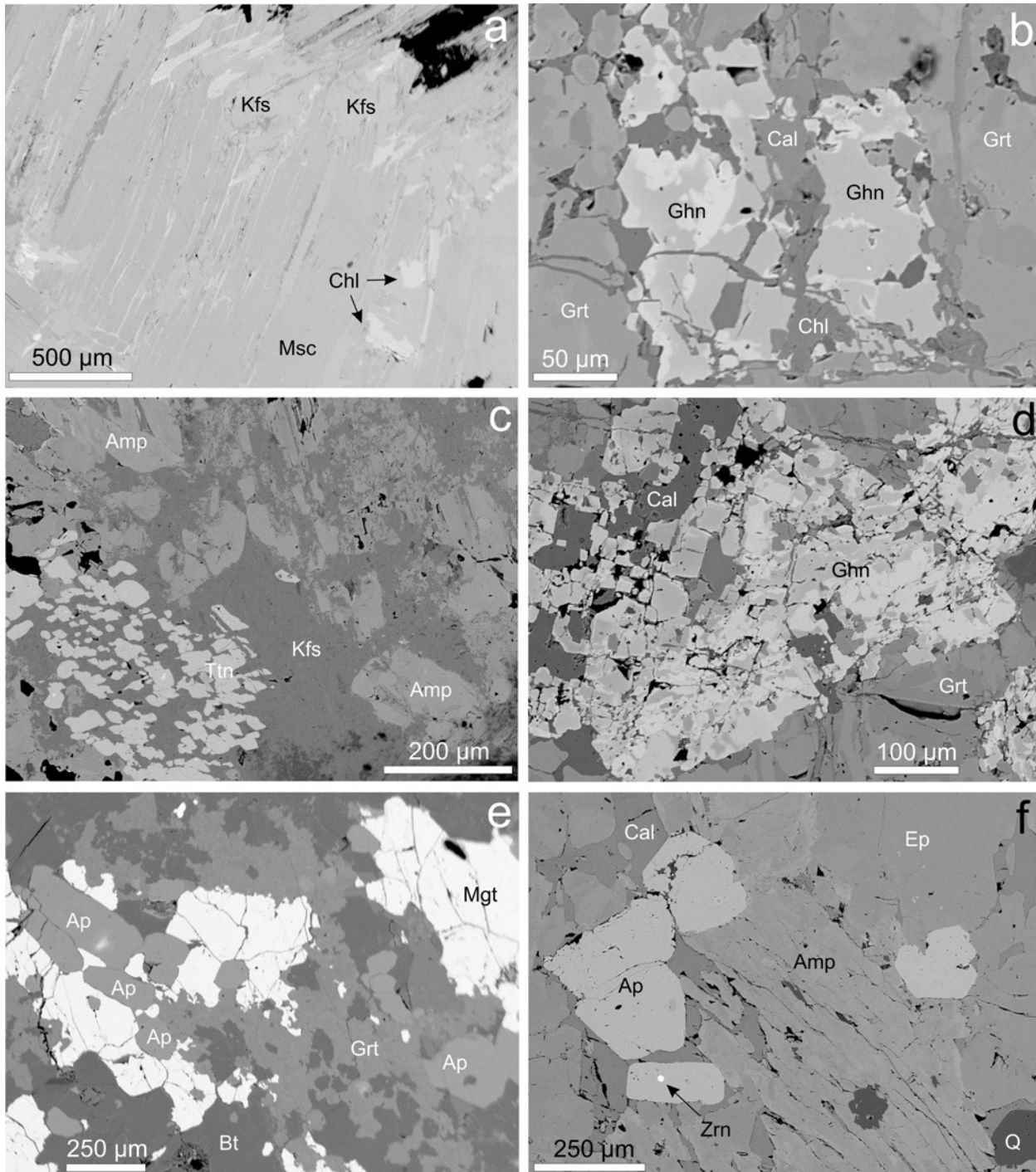
Hematit zatlačuje místy ve skarnu typu I magnetit a dědí po něm i velmi jednoduchý chemismus (tab. 10). Vedle Fe jsou v něm přítomny jen malé příměsi Ti, Al a Ca (do 0.007 *apfu*).

TiO₂ fáze vytváří drobná xenomorfně omezená zrna o velikosti do 80 μm , uzavíraná v chloritu ze žil, pseudomorfujícím biotit (obr. 3f). Chemicky nebyl blíže studován.

Apatit je akcesorickou komponentou. Vytváří izometrická či mírně protažená zrna o velikosti do 0.2 mm, která

místy vytvářejí v hornině (skarn typu I i II) početnější shluky (obr. 3e, 9e,f). V BSE obraze není zonální. Jde o stechiometrický fluorapatit (2.98 - 3.01 *apfu* P a 0.95 - 1.04 *apfu* F při přepočtu na bázi 5 kationtů v pozici Ca; tab. 12). Vápník je nepatrně zastupován Fe (do 0.027 *apfu*) a Y (do 0.007 *apfu*), zatímco F je slabě substituován Cl (0.004 - 0.006 *apfu* Cl).

Křemen je akcesorickou až vedlejší komponentou skarnů a hlavní až vedlejší komponentou mladších žilek.



Obr. 9 Minerální asociace studovaných vzorků na BSE snímcích. a - muskovit (Msc) ze slídou bohaté žíly s pronikou K-živce (Kfs) a chloritu (Chl), vzorek My-1. b - zonální agregát gahnitu (Ghn) uzavřený v granátu (Grt) a žilkovitě pronikáný a zatlačovaný kalcitem (Cal) a chloritem ze skarnu typu I, vzorek D-208. c - shluk krystalů titanitu (Ttn) v asociaci s amfibolem (Amp) a K-živcem z amfibolem bohaté žíly, vzorek D-215. d - zonální agregát gahnitu uzavřený v granátu a pronikáný kalcitem, skarn typu I, vzorek D-208. e - hojně krystaly apatitu (Ap) v asociaci s granátem, magnetitem (Mgt) a biotitem (Bt) v matrici skarnu typu II, vzorek My-3. f - shluk zrn apatitu z amfibolem bohaté žíly, srůstající s amfibolem, kalcitem, epidotem (Ep) a zirkonem (Zrn), vzorek D-214. Snímky Z. Dolníček.

Zirkon byl velmi vzácně identifikován ve skarnu typu I. Vytváří izometrická zrna o velikosti do 10 µm, uzavíraná buď v silikátech nebo v apatitu (obr. 9f). Chemicky nebyl blíže studován.

Diskuse

Chemické složení jednotlivých minerálů z lokality Mýtinka je většinou velmi podobné jiným skarnovým lokalitám v oblasti Krušných hor, avšak v některých případech lze konstatovat určité rozdíly. Granáty z Mýtinky odpoví-

Tabulka 11 Příklady chemického složení magnetitu ze skarnu typu II z Mýtinky. Obsahy v hm. %, hodnoty apfu a rozpočet železa jsou kalkulovány na bázi čtyř atomů kyslíku a tří kationtů na vzorcovou jednotku. Obsahy koncových členů v mol. %, b.d. - pod mezí stanovitelnosti

An. č.	1	2	3	4	5	6	7
TiO ₂	2.33	1.77	1.67	1.09	0.84	0.62	0.54
Al ₂ O ₃	0.54	0.53	b.d.	0.30	0.21	0.14	b.d.
Fe ₂ O ₃	63.80	64.73	65.29	66.64	67.34	68.74	67.58
MgO	0.06	b.d.	0.12	b.d.	0.09	0.67	b.d.
MnO	0.27	0.22	0.19	0.18	0.19	0.08	0.09
FeO	32.67	32.19	31.97	31.77	31.45	30.87	31.28
ZnO	0.25	0.31	b.d.	0.24	0.17	b.d.	b.d.
Celkem	99.92	99.75	99.24	100.22	100.29	101.12	99.49
Ti	0.067	0.051	0.049	0.031	0.024	0.018	0.016
Al	0.024	0.024	b.d.	0.014	0.009	0.006	b.d.
Fe ³⁺	1.841	1.874	1.903	1.923	1.942	1.958	1.969
Mg	0.003	b.d.	0.007	b.d.	0.005	0.038	b.d.
Mn	0.009	0.007	0.006	0.006	0.006	0.003	0.003
Fe ²⁺	1.048	1.035	1.035	1.019	1.008	0.977	1.013
Zn	0.007	0.009	b.d.	0.007	0.005	b.d.	b.d.
Catsum	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Ulv	6.7	5.1	4.9	3.1	2.4	1.8	1.6
Hrc	1.2	1.2	0.0	0.7	0.5	0.3	0.0
Fra	0.7	0.9	0.0	0.7	0.5	0.0	0.0
Mgt	90.1	92.1	93.8	94.9	95.5	93.9	98.1
Mgfe	0.3	0.0	0.7	0.0	0.5	3.8	0.0
Jkb	0.9	0.7	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3
Celkem	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Tabulka 12 Chemické složení apatitu z Mýtinky. Obsahy v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na bázi pěti kationtů v pozici Ca na vzorcovou jednotku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti

An. č.	1	2	3	4
Vzorek	D-214	D-214	D-210	D-210
P ₂ O ₅	41.97	42.24	42.16	42.16
Y ₂ O ₃	0.13	0.16	0.13	0.10
CaO	55.60	55.89	55.14	55.39
FeO	0.00	0.10	0.15	0.38
F	3.60	3.71	3.91	3.91
Cl	0.04	0.03	0.03	0.03
O=F+Cl	-1.53	-1.57	-1.65	-1.65
Celkem	99.81	100.56	99.87	100.32
P	2.979	2.978	3.011	2.989
Y	0.006	0.007	0.006	0.004
Ca	4.994	4.986	4.984	4.969
Fe	0.000	0.007	0.011	0.027
F	0.954	0.977	1.043	1.035
Cl	0.006	0.004	0.004	0.004

dají vždy grosuláru, na rozdíl od ostatních lokalit skarnů v oblasti Krušných hor. Prakticky kompletní rozsah složení granátů od andraditu (popisovaného jako starší) ke grosuláru (mladší) je uváděn ze skarnů z německé strany Krušných hor (Lefebvre et al. 2019b; Reinhardt et al. 2021; Meyer et al. 2024a,b; obr. 4a). Z české části Krušných hor, ze skarnů v okolí Měděnce, uvádí Šrein (1992) vedle hojných granátů andradit-grosulárové řady i řadu analýz s odlišným chemismem, vesměs bohatých almandinovou složkou (obr. 4a). Navíc zmiňuje z lokality Měděnec i opačné relativní stáří andraditem a grosulárem bohatých zón (Adr bohaté mladší, Grs bohaté starší). Chemismus amfibolů z dalších krušnohorských skarnů je, pokud jde o obsahy Si, Ca a alkálií, velmi obdobný námi zjištěným typům (obvykle převažují amfiboly typu hornblendu, pargasitu, hastingsitu, aktinolitu a tremolitu), na ostatních publikovaných lokalitách (Šrein 1992; Meyer et al. 2024a,b) jsou však mnohem častější Fe-dominantní členy (obr. 5). Shodným znakem je nicméně v řadě případů i draselný a fluorový charakter amfibolů (klasifikace s adjektivy potassic a fluorian). Složení pyroxenů, při vědomí malého množství nově získaných analýz, odpovídá publikovaným údajům (obr. 4b). Pokud jde o minerály epidotové skupiny, v literatuře je uváděn velmi široký rozsah složení klinozoisit-epidotu (Ep₁₄₋₈₃C-lz₁₆₋₈₄Pie₂; Meyer et al. 2024b), podobně jako na Mýtince, zatímco REE-bohatý epidot či allanit dosud nebyl jinde zjištěn. Chlorit se složením kolísajícím mezi klinochlorem a chamositem se na všech lokalitách vyznačuje velmi nízkým obsahem pennantitové i baileychlorové složky (Šrein 1992; Meyer et al. 2024b; obr. 8c). Titanit z Mýtinky se zčásti vyznačuje nejvyššími obsahy Al a F v rámci skarnů krušnohorského regionu (srov. obr. 6b), naproti tomu obsahy Sn jsou v něm jen velmi malé (z některých lokalit na německé straně Krušných hor jsou popsány extrémně široké variace ve složení minerálů řady titanit-malayait (lokalita Geyer: Ttn₀₋₁₀₀Mly₀₋₁₀₀; Meyer et al. 2024b). Unikátní je gahnit z Mýtinky, který není zmiňován ani ze Zn bohatých skarnů, v nichž je Zn vázán jen ve sfaleritu (Korges et al. 2019; Reinhardt et al. 2021).

Získané výsledky nasvědčují přítomnosti dvou typů Ca-skarnů, lišících se výrazně zejména obsahem Fe. Skarny typu I, představující na studované lokalitě majoritní litotyp, obsahují jen nízké množství železa. To se odráží jak na velmi nízkém obsahu magnetitu (jenž je přítomen maximálně v akcesorickém množství), tak na chemismu horninotvorných silikátů (mezi nimiž, s výjimkou epidotu, zcela chybějí Fe-dominantní koncové členy). Hornina je tvořena hlavně grosulárem a Mg-amfiboly. Naproti tomu skarny typu II mají výrazně vyšší obsahy Fe a K vzhledem k přítomnosti magnetitu a biotitu jako hlavních složek horniny. V tomto kontextu je ovšem zajímavé, že se vysoký obsah Fe ve skarnu typu II neodrazil v chemismu granátu, jenž je velmi blízký granátu ze skarnů typu I (obr. 4a).

Získané poznatky potvrzují, že studované skarny představují polygenetickou minerální asociaci, vzniklou během dlouhodobého složitého vývoje. Původní skarnové minerální fáze (granáty, magnetit a pyroxeny) byly různě intenzivně během mladšího vývoje zatlačovány mladšími fázemi (epidotem, amfibolem, slídkami, chlority, karbonáty, hematitem). Významné hydrotermální přepracování původní skarnové asociace vedle texturních charakteristik pozorovaných v matrici vlastního skarnu dokládají i pozorované nerostné asociace několika ge-

nerací žil ve skarnech. Tyto žíly představují výplně trhlin v původní hornině, jimiž do horninového tělesa migrovaly vodné roztoky, které retrogradní procesy epidotizace, amfibolizace, chloritizace, karbonatizace, martitizace, atd. způsobovaly. Vazbu na jeden a týž minerogenetický proces u některých minerálů (např. u amfibolů a epidotů), přítomných v žilách i ve vlastním skarnu, dokládá jejich shodný chemismus. Mineralizace žil pravděpodobně vznikala v následující posloupnosti: epidot - amfibol - živce, biotit - křemen - chlorit - kalcit. Dlouhodobému vývoji mineralizace nasvědčuje i přítomnost několika typů amfibolů a také velmi široký rozsah teplot indikovaný chloritovou termometrií (59 - 379 °C; tab. 8).

Vznik popisovaných skarnových minerálních asociací můžeme v souladu s předchozími výzkumy v daném regionu (Burisch et al. 2019; Korges et al. 2020; Reinhardt et al. 2022; Meyer et al. 2024a,b) spatřovat ve skarnizaci vhodného protolitu. Vzájemný vztah skarnů s hostitelskými horninami nelze v současné době vzhledem k absenci vhodných výchozů na lokalitě Mýtinka studovat. V případě skarnů typu I mohl být protolitem Mg-bohatý (meta)karbonát, a to vzhledem k vysokému obsahu Mg a nízkému obsahu Fe v hornině. S tím je zcela v souladu pozorovaná prostorová asociace skarnů s dolomitickými mramory až krystalickými dolomity, jejichž četné úlomky lze sbírat na odvalu průzkumné štoly JD č. 2, situované od námi vzorkované lokality cca 30 m níže ve svahu. Interpretace původu železem bohatých skarnů typu II je nejasná, vzhledem k tomu, že se nepodařilo ověřit ani jejich vztah se skarny typu I, ani s okolními horninami (ostrá hranice či pozvolný přechod?). Je možné, že tyto horniny vznikly buď ze specifického Fe-bohatého protolitu (a tedy reprezentují metaferolit) nebo jsou jen výsledkem lokálního a časově omezeného zvýšeného přínosu Fe skarnizačními roztoky. Vzhledem k tomu, že granáty mají v obou typech velmi podobný chemismus, zdá se pravděpodobnější spíše druhá možnost.

Původ skarnizačních a post-skarnizačních roztoků lze, v souladu se závěry podrobných genetických studií skarnů na německé straně Krušných hor (Lefebvre et al. 2019a,b; Korges et al. 2020; Reinhardt et al. 2021, 2022; Meyer et al. 2024a,b), spatřovat ve variských granitoidních intruzích a metamorfních procesech. Radiometrické datování granátů skarnů metodou U-Pb na německé straně Krušných hor ukázalo tři etapy vzniku skarnů - nejstarší během pikové variské regionální metamorfózy (cca 340 Ma; Burisch et al. 2019; Lefebvre et al. 2019a; Reinhardt et al. 2022), následovaná dvěma mladšími epizodami časově koincidujícími s intruzemi variských granitoidů (325 - 313 Ma a 308 - 295 Ma; Burisch et al. 2019; Meyer et al. 2024a). Nejmladší skarnizační epizoda je často doprovázena i přínosem cínu za vzniku kassiteritu či Sn-obtuhujících silikátů (granátu, amfibolu, stokesitu, členů řady titanit-malayait; Lefebvre et al. 2019a; Meyer et al. 2024a,b). Na lokalitě Mýtinka byl slabě zvýšený obsah Sn zaznamenán pouze v titanitu (max. 0.007 *apfu*), u nějž nelze vyloučit vznik během některé z mladších naložených hydrotermálních epizod (je uzavírán v amfibolu), což by bylo rámcově v souladu s výše uvedenými poznatky. I zvýšené obsahy F (jak v amfibolu, tak v muskovitu a zejména u titanitu) a K (v některých amfibolech a v biotitu) by korespondovaly s představou původu těchto pozdních alteračních fluid v granitoidních horninách.

Pozitivní Eu anomálie, zaznamenaná na námi studo-

vané lokalitě u REE-bohatého epidotu až allanitu (obr. 7), je uváděna i u epidotů z krušnohorského skarnu Geyer (Meyer et al. 2024b) a pravděpodobně odráží zvýšení Eh fluid s původně nízkým redox potenciálem (např. Bau a Möller 1992; Lee et al. 2003). Zvýšení Eh může být důsledkem interakce s Fe³⁺ obohaceným tělesem skarnu nebo míšení skarnizačních fluid s meteorickými vodami (Korges et al. 2020; Meyer et al. 2024b). Vyloučit nelze ovšem ani zdědění pozitivní Eu anomálie z alterovaných raných skarnových fází (zejména granátů; viz Meyer et al. 2024b).

Vedle minerálů vzniklých při skarnizaci a při následných alteracích nemůžeme na studované lokalitě vyloučit ani možnou přítomnost reliktních minerálů, pocházejících z protolitu skarnů. Pravděpodobným kandidátem je v tomto směru gahnit, jenž je charakteristickým minerálem mramorů, a to nejen v krušnohorské oblasti. Z kalcitového dolomitu z prostoru námi studované lokality popisuje Zn bohatý spinel ($Spl_{70-84}Ghn_{12-23}Hrc_{2-6}Mgt_{1-2}Gal_1$) Šrein (1992). Tento spinel se však vyznačuje opačným trendem v chemismu (vyšší obsahy Zn ve středu zrna než na okraji; obr. 4c) než náš nález. Zjištěné malé příměsi Zn v některých silikátech (tab. 2, 3, 6) a magnetitu (tab. 10, 11) jsou rovněž v souladu s představou primární přítomnosti Zn v protolitu skarnů.

Závěr

Na lokalitě Mýtinka - Vysoká byly podrobněji mineralogicky studovány skarny a doprovodné žilné mineralizace. Na lokalitě zcela převažují skarny typu I složené hlavně z granátu, epidotu a amfibolu. Výjimečný byl nález skarnu typu II tvořeného zejména granátem, biotitem a cca 30 obj. % magnetitu. Žíly protínající skarn jsou složeny z epidotu, amfibolu, albitu, biotitu, *fengitického* muskovitu, chloritu, křemene, kalcitu a K-živce. Studium chemismu minerálů na mikrosondě ukázalo shodný chemismus minerálů skarnů i žil, nasvědčující současnému vzniku různých morfoloogických forem minerálů. Klasifikačně jsou granáty reprezentovány pouze grosulárem (a to i v magnetitem bohatém skarnu), amfiboly magneziohornblendem, edenitem, magneziohastingsitem a aktinolitem (přičemž jde často o draselné a fluorové variety), biotit flogopitem, chlority *ripidolitem*, klinochlorem a *penninem*, minerály epidotové skupiny epidotem, klinozoisitem a allanitem-(Ce). Zřetelná převaha Mg-koncových členů minerálů nasvědčuje Mg-bohatému protolitu skarnů, jímž byl pravděpodobně dolomitický mramor až dolomit. Tyto karbonátové horniny se na studované lokalitě vyskytují v těsné prostorové asociaci se skarny. Ve skarnu nově zjištěný gahnit může reprezentovat reliktní minerál pocházející z metakarbonátů, z nichž byl již dříve popsán výskyt Zn-bohatého spinelu. Akcesorický titanit ve skarnu místy obsahuje vysoký podíl CaAlSiO₄F komponenty (až 33 mol. %), jenž je nejvyšší dosud zjištěný v krušnohorských skarnech, a malý obsah Sn (do 0.007 *apfu*). Přínos K, Sn, F a Fe by mohl indikovat zdroj skarnizujících fluid v granitoidních horninách.

Poděkování

Práce na článku byly finančně podpořeny Ministerstvem kultury ČR v rámci institucionálního financování výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 - cíl DKRVO 2024-2028/ 1.1.a). Kolegům K. Kropáčovi a V. Šreinovi jsme zavázáni za vstřícné recenzní posouzení rukopisu.

Literatura

- ANDERS E, GREVESSE N (1989) Abundances of the elements: Meteoritic and solar. *Geochim Cosmochim Acta* 53: 197-214
- BAU M, MÖLLER P (1992) Rare earth element fractionation in metamorphogenic hydrothermal calcite, magnesite and siderite. *Miner Petrol* 45: 231-246
- BAUER ME, SEIFERT T, BURISCH M, KRAUSE J, RICHTER N, GUTZMER J (2019) Indium-bearing sulfides from the Hämmerlein skarn deposit, Erzgebirge, Germany: evidence for late-stage diffusion of indium into sphalerite. *Miner Deposita* 54: 175-192
- BAYLISS P (1975) Nomenclature of the trioctahedral chlorites. *Can Mineral* 13:178-180.
- BUREŠ K (2021) Zabezpečení 2 DD „Štola JD č.2“ (č.o.2788) a „Dolní Halže 1“ (č.o.2789) v k. ú. Horní Halže. MS archiv GIS-GEOINDUSTRY, s.r.o., 1-274
- BURISCH M, GERDES A, MEINERT LD, ALBERT R, SEIFERT T, GUTZMER J (2019) The essence of time - fertile skarn formation in the Variscan Orogenic Belt. *Earth Planet Sci Lett* 519: 165-170
- CATHELINEAU M (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Miner* 23: 471-485
- DOLNÍČEK Z, KOVÁŘ M, ULMANOVÁ J (2020) Axinit a doprovodné minerály z lokality Jezuitský rybník východně od Golčova Jeníkova (moldanubikum, Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 28(2): 437-453
- KORGES M, WEIS P, LÜDERS V, LAURENT O (2020) Sequential evolution of Sn-Zn-In mineralization at the skarn-hosted Hämmerlein deposit, Erzgebirge, Germany, from fluid inclusions in ore and gangue minerals. *Miner Deposita* 55: 937-952
- KOTKOVÁ J (1991) Skarns of the central part of the Krušné hory Mts. - mineralogy, geochemistry and their implications for the skarn origin. *Věst Ústř Úst Geol* 66: 215-232
- LEAKE BE, WOOLLEY AR, ARPS CHES, GILBERT MCH, GRICE JD, HAWTHORNE FC, KATO A, KISCH HJ, KRIVOVICHEV VG, LINTHOUT K, LAIRD J, MANDARINO JA, MARESCH WV, NICKEL EH, ROCK NMS, SCHUMACHER JC, SMITH DC, STEPHENSON NCN, UNGARETTI L, ERIC JW, WHITTAKER EJW, YOUZHI G (1997) Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *Can Mineral* 35: 219-246
- LEE SG, LEE DH, KIM Y, CHAE BG, KIM WY, WOO NCH (2003) Rare earth elements as indicators of groundwater environment changes in a fractured rock system: evidence from fracture - filling calcite. *Appl Geoch* 18: 135-143
- LEFEBVRE MG, ROMER RL, GLODNY J, KRONER U, ROSCHER M (2019a) The Hämmerlein skarn-hosted polymetallic deposit and the Eibenstock granite associated greisen, western Erzgebirge, Germany: two phases of mineralization two Sn sources. *Miner Deposita* 54: 193-216
- LEFEBVRE MG, ROMER RL, GLODNY J, ROSCHER M (2019b) Skarn formation and tin enrichment during regional metamorphism: The Hämmerlein polymetallic skarn deposit. *Lithos* 348-349: 105171
- MCLENNAN SM (1989) Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *Rev Mineral* 21: 169-200.
- MEINERT LD (1992) Skarns and skarn deposits. *Geosci Can* 19: 145-162
- MEYER N, MARKL G, GERDES A, GUTZMER J, BURISCH M (2024a) Timing and origin of skarn-, greisen-, and vein-hosted tin mineralization at Geyer, Erzgebirge (Germany). *Miner Deposita* 59: 1-22
- MEYER N, BURISCH M, GUTZMER J, KRAUSE J, SCHEIBERT H, MARKL G (2024b) Mineral chemistry of the Geyer SW tin skarn deposit: understanding variable fluid/rock ratios and metal fluxes. *Miner Deposita*, accepted. <https://doi.org/10.1007/s00126-024-01297-w>
- MORIMOTO N, FABRIES J, FERGUSON AK, GINZBURG IV, ROSS M, SEIFERT FA, ZUSSMAN J (1989) Nomenclature of pyroxenes. *Can Mineral* 27: 143-156
- PETŘÍK I, BROSKA I, LIPKA J, SIMAN P (1995) Granitoid allanite-(Ce) substitution relations, redox conditions and REE distributions (on an example of I-type granitoids, Western Carpathians, Slovakia). *Geol Carpath* 46: 79-94
- POUCHOU JL, PICHOR F (1985) "PAP" (φρZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: ARMSTRONG JT (ed.) *Microbeam Analysis*: 104-106. San Francisco Press, San Francisco
- REINHARDT N, FRENZEL M, MEINERT LD, GUTZMER J, KÜRSCHNER T, BURISCH M (2021) Mineralogy and fluid characteristics of the Waschleithe Zn skarn - a distal part of the Schwarzenberg mineral system, Erzgebirge, Germany. *Ore Geol Rev* 131: 104007
- REINHARDT N, GERDES A, BERANOAGUIRRE A, FRENZEL M, MEINERT LD, GUTZMER J, BURISCH M (2022) Timing of magmatic-hydrothermal activity in the Variscan Orogenic Belt: LA-ICP-MS U-Pb geochronology of skarn-related garnet from the Schwarzenberg District, Erzgebirge. *Miner Deposita* 57: 1071-1087
- RIEDER M, CAVAZZINI G, D'YAKONOV YS, KAMENETSKII VAF, GOTTARDI G, GUGGENHEIM S, KOVAL' PV, MUELLER G, NEIVA AMR, RADOSLOVICH EW, ROBERT JL, SASSI FP, TAKEDA H, WEISS Z, WONES DR (1998) Nomenclature of micas. *Can Mineral* 36: 905-912
- ŠREIN V (1992) Skarny Krušných hor. MS, kandidátská disertační práce. Geologický ústav ČSAV, Praha.
- ŠREIN V, ŠREINOVÁ B (2000) Mineralogy of the skarns of the Bohemian part of the Western and Central Krušné Hory Mountains. *Acta Montana* A17(19): 67-108
- WIEWIÓRA A, WEISS Z (1990) Crystallochemical classifications of phyllosilicates based on the unified system of projection of chemical composition: II. The chlorite group. *Clay Miner* 25: 83-92