

<https://doi.org/10.46861/bmp.33.050>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Minerální asociace metakarbonátů s brucitem z lokality Mýtinka - Vysoká, Krušné hory, Česká republika

Mineral assemblage of brucite-bearing metacarbonates from the locality 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;*e-mail: zdenek.dolnicek@nm.cz²⁾Mírová 528, 357 33 Loket

DOLNÍČEK Z, VELEBIL D, GEBOUSKÝ M (2025) Minerální asociace metakarbonátů s brucitem z lokality Mýtinka - Vysoká, Krušné hory, Česká republika. Bull Mineral Petrolog 33(1): 50-61. ISSN 2570-7337

Abstract

Metacarbonate rocks were sampled at the Mýtinka - Vysoká skarn site near the Měděnec village (Krušné hory/Erzgebirge Mts., Czech Republic) and studied by means of electron microprobe. The mineral composition of rocks varies widely between dolomite marble and calcitic dolomite. Non-carbonate phases are common and represented by brucite, chlorite (clinocllore), spinelides (classified as spinel and magnetite), forsterite, hydroxylclinohumite, hydroxylapatite, quintinite, serpentine, sphalerite and *limonite*. Whereas most of these phases are accessories or subordinate minerals, tabular brucite is the major component in all samples taking 5 - 20 vol. % of the rock. Spinel, forsterite, hydroxylapatite, and hydroxylclinohumite represent a prograde-metamorphic assemblage, which crystallized under HT-LP conditions in equilibrium with low-F low-H₂O fluids. The other phases were formed during stepwise retrograde hydration mediated by F-enriched and water-rich fluids. The oldest alteration phase is serpentine, which was followed by chlorite and brucite, and then by quintinite. The retrograde hydration could be at least partly related to the activity of skarnization fluids. The studied rocks display unique mineral composition, which has not an equivalent in the Krušné hory/Erzgebirge area. Until now, dolomite marbles containing forsterite, spinel and humite-group minerals and showing appropriate retrograde alterations of these minerals were only known from the Variegated Group of the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif.

Key words: Krušné Hory Crystalline Complex, dolomite marble, brucite, humite group, forsterite, retrograde hydration

Obdrženo 18. 4. 2025; přijato 30. 5. 2025

Úvod

V loňském roce podali Dolníček et al. (2024) bližší charakteristiku minerální asociace skarnového výskytu situovaného na sv. svahu vrchu Vysoká, v. od osady Mýtinka a jz. od obce Měděnec v Krušných horách (v literatuře je lokalita označována také jako Vysoký Kámen - např. Šrein 1992). Vedle řady dalších poznatků Dolníček et al. (2024) zjistili i přítomnost gahnitu v tomto skarnu. Vzhledem k tomu, že na dalších skarnových lokalitách Krušných hor nebyl gahnit dosud nalezen, citovaní autoři předpokládají, že by mohlo jít o reliktní minerál, „zdeděný“ z protolitu skarnu, jímž byly velmi pravděpodobně Mg-bohaté metakarbonátové horniny, které se na této lokalitě vyskytují v těsné prostorové asociaci se skarny (Šrein 1992; Dolníček et al. 2024). Tato myšlenka byla podpořena i nálezem Zn-bohatého spinelu v metakarbonátech z Mýtinky, uskutečněného Šreinem (1992) a později publikovaného v práci Šreina a Šreinové (2000). Vzhledem k tomu, že obsah Zn v Zn-bohatém spinelu z metakarbonátu byl výrazně nižší než v gahnitu ze skarnu, a také trendy vývoje chemismu (od jader zrn k jejich okrajům) se v obou případech lišily, odebrali autoři předloženého pojednání v terénu i nové vzorky metakarbonátových hornin

a podrobili je orientačnímu studiu na mikrosondě. Výskyt Zn-bohatého spinelidu v nově odebraných vzorcích potvrzen nebyl, byla však zjištěna velmi zajímavá a v dané oblasti neobvyklá minerální asociace těchto hornin. Jejich bližší charakteristice je věnován tento příspěvek.

Lokalita leží v katastrálním území obce Horní Halže, nad pravým břehem Malodolského (též Dolnohalžského) potoka. V minulosti bylo zdejší skarnové těleso zdrojem Fe rud z magnetitového skarnu. O intenzivním dolování svědčí i hornickými pracemi silně přepracovaný reliéf. Celé dolové pole na zájmové lokalitě zaujímá plochu cca 1.1 ha. Vzorky studované v této práci byly odebrány z haldy štoly, již bylo v minulosti zpřístupněno těleso skarnu (obr. 1). 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. GPS souřadnice ústí štoly jsou 50.40788° N a 13.09988° E. Na lokalitě proběhl archeologický výzkum, který prokázal těžbu pomocí želízka a mlátka (Bureš 2021). V současné době je ústí štoly upraveno a zabezpečeno ocelovými dveřmi.

Horninové těleso tvořené metakarbonáty a skarny je na studované lokalitě uloženo ve svorech a ortorulách

krušňohorsko-smrčinského krystalinika. Metakarbonátová poloha o mocnosti 29 m je situována v podloží skarnu (Šrein 1992). Zdejší metakarbonáty nebyly podle našich poznatků moderněji mineralogicky a/nebo petrologicky studovány. Zběžně se jejich minerálním složením zabýval Šrein (1992) ve své kandidátské disertační práci, který je označuje jako dolomitické mramory a kalcitické dolomity a uvádí z nich výskyt flogopitu, forsteritu, Zn-bohatého spinelu, klinohumitu, ludwigitu a hydrotalkitu. Identifikace minerálů byla provedena opticky a na základě mikrosondových analýz. Poznatky získané v této práci byly později v zestručněné verzi publikovány v článku Šreina a Šreinové (2000).

Materiál a metodika

Všechny studované vzorky byly odebrány autory předložené studie v roce 2024. Z reprezentativních vzorků byly následně vyřezány zajímavější partie a z nich byly (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 energiově disperzních (EDS) spekter. Následně 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 (spinelidy), 5 nA (kalcit, dolomit), respektive 10 nA (všechny ostatní fáze) a průměr elektronového svazku mezi 0.7 a 4 μm . Ve spinelidech byly měřeny obsahy Al, Ca, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, P, S, Sb, Si, V a Zn, v kalcitu a dolomitu Al, Ba, Ca, Co, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Si, Sr 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, a v ostatních fázích obsahy Al, Ba, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, F, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Si, Ti, V a Zn. Při analýzách byly použity následující standardy a analytické čáry: albit (NaK α), almandin (AlK α , FeK α), antimonit (SbL α), apatit (CaK α , PK α), baryt (BaL α), celestin (SK α , SrL β), CePO $_4$ (CeL α), Co (CoK α), Cr $_2$ O $_3$ (CrK α), diopsid (MgK α), halit (ClK α), hematit (FeK α), chalkopyrit (CuK α), klinoklas (AsL α), LiF (FK α), NdPO $_4$ (NdL β), Ni (NiK α), rodonit (MnK α), sanidin (KK α , SiK α , AlK α), TiO $_2$ (TiK α), V (VK α), vanadin (PbM α), wollastonit (CaK α , SiK α), YVO $_4$ (YL α) a zinkit (ZnK α). Měřicí časy na píku se pohybovaly mezi 10 a 30 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. %). Data byla automaticky korigována na overlap P-Ca (standard wollastonit, intenzita 10.62 cps/nA).



Obr. 1 Vstup do štol na lokalitě Mýtinka - Vysoká, z jejíž haldy byly odebrány studované metakarbonáty, stav z října 2024. Foto D. Velebil.

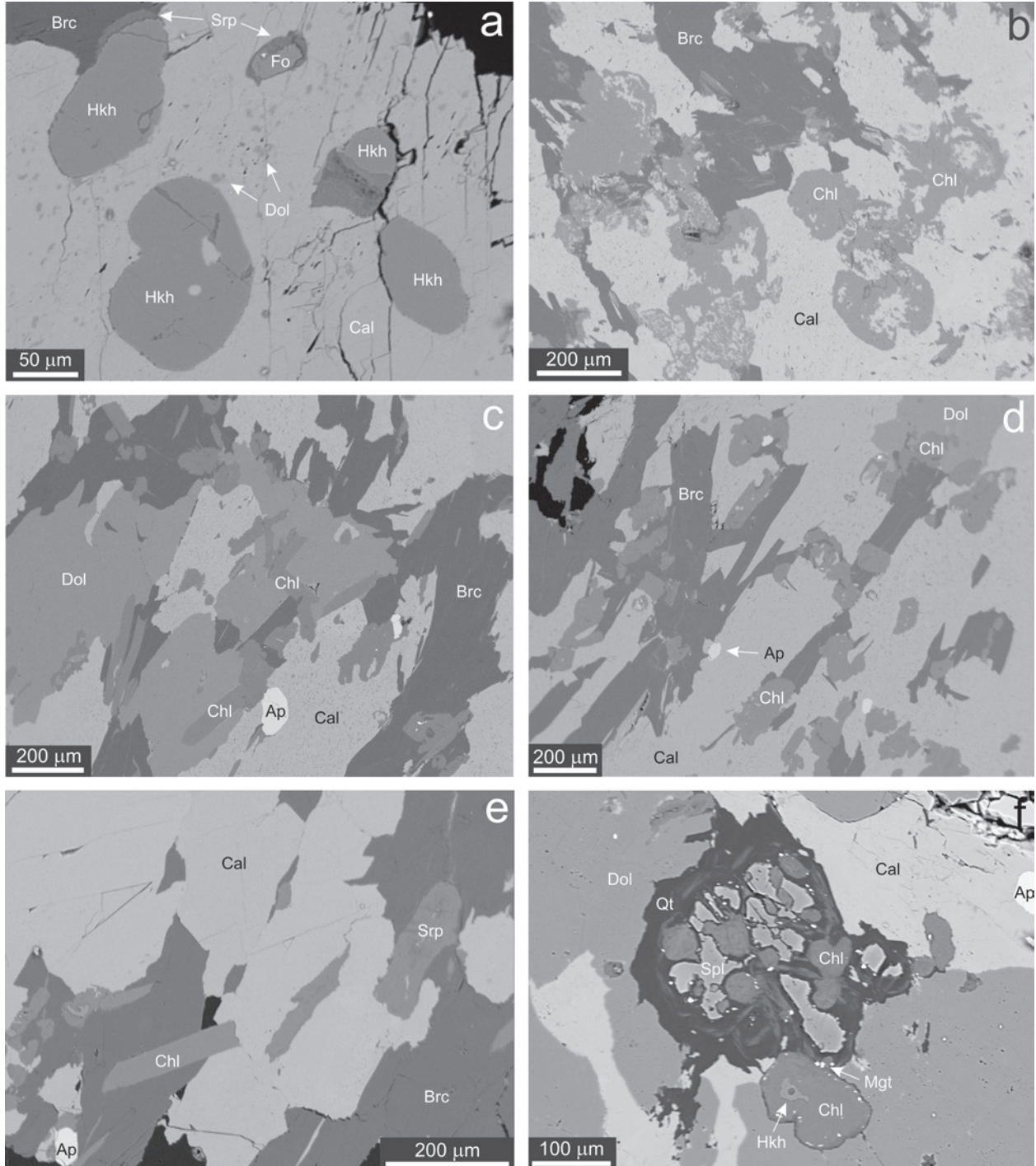


Obr. 2 Makroskopický vzhled charakteristického vzorku metakarbonátu z Mýtinky. Formát vzorku 9 × 6 cm. Foto D. Velebil.

Charakteristika metakarbonátů

Metakarbonáty přítomné v haldovém materiálu mají zřetelně páskovanou stavbu (obr. 2). Střídají se v nich čistě bílé a šedé polohy o několikamilimetrové až několikacentimetrové mocnosti, které se liší nejen barvou, ale

i minerálním složením. Bílé pásy odpovídají svým složením dolomitickému mramoru s jen nízkým obsahem nekarbonátových fází, zatímco šedé partie jsou až kalci- tické dolomity, často s vyšším obsahem (odhadem až kolem 25 obj. %) nekarbonátových minerálů. Zrna hlavních



Obr. 3 Minerální asociace studovaných metakarbonátů na BSE snímcích. a - druhotnou serpentinizací (Srp) téměř nepostížená zrna hydroxyklinohumitu (Hkh) a forsteritu (Fo), uzavíraná v kalcitu (Cal) s hojnými inkluzemi dolomitu (Dol). Brc - brucit. Vzorek My-4b. b - okrouhlé úplné pseudomorfozy po prográdních Mg silikátech, tvořené chloritem (Chl) typu II a kalcitem, uložené v kalcit-brucitové matrici, vzorek My-4c. c - lištovitý průřez chloritu typu I, uložené spolu se zrnem apatitu (Ap) v kalcit-dolomit-brucitové hmotě, vzorek My-4a. d - růžicovitý agregát lištovitých průřezů brucitu v kalcit-dolomitové matrici. Brucit zčásti uzavírá okrouhlé agregáty chloritu typu II. Vzorek My-4a. e - automorfni lištovitý průřez tvořený chloritem typu I, uzavíraný spolu s apatitem a agregátem serpentinu v kalcit-brucitové hmotě. Vzorek My-4a. f - relikt spinelu (Spl) zatlačovaný křemíkem (Qt) s inkluzemi magnetitu (Mgt). Spinel uzavírá okrouhlé inkluze tvořené chloritem typu I; v analogickém objektu uzavíraném v sousedním dolomitu je ještě zachován relikt hydroxyklinohumitu. Vzorek My-4d. Snímky Z. Dolníček.

složek dosahují velikosti do 2 mm, nejčastěji do 0.5 mm. Struktura horniny je granoblastická až lepidogranoblastická, někdy se zřetelněji naznačenou přednostní orientací tabulkovitých minerálů. Podrobnější mineralogické studium bylo provedeno na čtyřech různých vzorcích, přičemž bylo zjištěno značně variabilní složení, pokud jde o kvantitativní zastoupení hlavních složek, i pokud jde o povahu přítomných akcesorií. Studium na mikrosondě ukázalo přítomnost kalcitu, dolomitu, brucitu, chloritu, spinelidů, forsteritu, hydroxylklinohumitu, hydroxylapatitu, quintinitu, fáze blízké minerálu serpentínové skupiny, sfaleritu a limonitu. Blížší charakteristika jednotlivých minerálů je předmětem následujících odstavců.

Kalcit je hlavní složkou studovaných vzorků, ale jeho kvantitativní zastoupení silně kolísá. Zcela převažující komponentou je v bílých páscích, kde jeho obsah může dosahovat až kolem 80 obj. %, naproti tomu v šedých páscích jeho obsah klesá až k cca 20 obj. %. Jeho zrna, dosahující velikosti až 2 mm, mají zpravidla izometrický tvar a xenomorfní omezení. Mohou uzavírat inkluze dolomitu či nekarbonátových minerálů. Velmi drobné inkluze dolomitu bývají v některých partiích horniny v kalcitu distribuovány velmi hojně, pravidelně a homogenně, takže budí dojem textury vzniklé rozpadem pevného roztoku (obr. 3a). Kalcit bývá i součástí některých okrouhlých pseudomorfóz po Mg-silikátech, tvořených zejména chloritem (obr. 3b) a případně i brucitem. Chemicky se ovšem kalcity z jednotlivých pásků či vzorků, charakterizovaných různým zastoupením kalcitu, neliší. V BSE obraze jsou zrna homogenní, což potvrdily i bodové mikrosondové analýzy (tab. 1). Kalcit je vždy charakterizován jen nepatrnými obsahy Mn, nulovým obsahem Fe a zvýšeným obsahem Mg ($Ca_{95.3-97.9}Mg_{2.0-4.7}Rdc_{0.0-0.1}$). Pozoruhodné jsou také uniformně zvýšené obsahy P (0.005 - 0.012 *apfu*; báze přepočtu 1 kationt kovů na vzorcovou jednotku).

Dolomit je rovněž hlavní složkou studovaných vzorků, jehož obsahy negativně korelují s obsahy kalcitu. Převažující komponentou je v šedých páscích, kde jeho obsah může dosahovat až kolem 60 obj. %, naproti tomu v bílých páscích jeho obsah klesá až k cca 10 obj. %. Zrna dolomitu dosahují velikosti až 1 mm a mají obvykle izometrický tvar a xenomorfní omezení (obr. 3c). Mohou uzavírat inkluze kalcitu či nekarbonátových minerálů. Chemicky se dolomity z jednotlivých pásků či vzorků, charakterizovaných různým obsahem kalcitu a dolomitu, neliší. V BSE obraze jsou zrna homogenní. Provedené bodové analýzy (tab. 2) ukázaly, že jde o velmi čistý dolomit s jen nepatrnými obsahy Mn a/nebo Fe ($Dol_{99.3-100.0}Ank_{0.0-0.4}Ktn_{0.0-0.4}$). Ve všech analýzách lze konstatovat mírný přebytek Ca oproti teoretickému složení (1.020 - 1.059 *apfu* Ca; báze přepočtu dva kationty kovů na vzorcovou jednotku). Podobně jako kalcity, i dolomity mají uniformně zvýšené obsahy P (0.009 - 0.029 *apfu*).

Brucit je nejméně zastoupenou hlavní složkou všech blíže studovaných vzorků metakarbonátů. Jeho zastoupení jak v různých vzorcích, tak v rámci jednoho vzorku silně kolísá (5 - 20 obj. %), přičemž nebyla zjištěna žádná korelace jeho výskytu s obsahem dolomitu v hornině. Hlavní část brucitu vytváří xenomorfně omezená izometrická zrna (obr. 3b-d) či tence až tlustě tabulkovité, hypautomorfně omezené krystaly o velikosti až 1 mm, které jsou zpravidla subparalelně orientované a jednotlivě uzavírané v karbonátové matici (obr. 3c). Tabulky místy růžicovitě srůstají (obr. 3d). Zrna brucitu často uzavírají automorfně omezené tabulky chloritu typu I (obr. 3c,e) či okrouhlé

pseudomorfózy po hydroxylklinohumitu či forsteritu, tvořené quintinitem, chloritem II či minerálem ze serpentínové skupiny (obr. 3b,d,e). V malé míře bývá drobnozrnny brucit i součástí těchto pseudomorfóz. V BSE obraze jsou zrna i krystaly brucitu homogenní. Bodové WDS analýzy ukázaly stále složení dobře reflektující ideální vzorec brucitu (tab. 3). Hořčík je nepatrně zastupován Fe (0.002 - 0.009 *apfu*; báze přepočtu jeden kationt kovů na vzorcovou jednotku) a v části analýz i Ca či Mn (každý max. 0.001 *apfu*). Hydroxylová skupina je většinou slabě substituována F (max. 0.024 *apfu*), méně i Cl (0.001 - 0.006 *apfu*).

Chlorit je vedlejším minerálem studovaných hornin. Je přítomen ve dvou morfologických a chemických typech. Chlorit typu I většinou vytváří automorfně až hypautomorfně omezené tabulkovité krystaly o velikosti až 0.25 mm, jednotlivě zarostlé v karbonátech či brucitu (obr. 3c,e). V jednom případě byl zjištěn chlorit typu I i v okrouhlých pseudomorfózách uzavíraných v částečně alterovaném spinelu (obr. 3f). V BSE obraze se chlorit I většinou jeví jako homogenní. Značnou homogenitu slo-

Tabulka 1 Příklady chemického složení kalcitu z metakarbonátů z Mýtinky. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou kalkulovány na základ jednoho atomu kovů na vzorcovou jednotku, obsahy koncových členů v mol. %. b.d. - pod mezí stanovitelnosti

An. č.	1	2	3	4	5	6
P ₂ O ₅	0.35	0.84	0.42	0.72	0.75	0.63
MgO	1.66	0.79	1.33	1.87	1.71	1.17
CaO	53.81	54.28	54.30	53.01	53.45	54.49
MnO	b.d.	0.08	b.d.	b.d.	0.10	0.10
Celkem	55.82	55.99	56.05	55.60	56.01	56.39
P	0.005	0.012	0.006	0.010	0.011	0.009
Mg	0.041	0.020	0.033	0.047	0.043	0.029
Ca	0.959	0.979	0.967	0.953	0.956	0.970
Mn	b.d.	0.001	b.d.	b.d.	0.001	0.001
Cal	95.9	97.9	96.7	95.3	95.6	97.0
Mag	4.1	2.0	3.3	4.7	4.3	2.9
Rdc	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1

Tabulka 2 Příklady chemického složení dolomitu z metakarbonátů z Mýtinky. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou kalkulovány na základ dvou atomů kovů na vzorcovou jednotku, obsahy koncových členů v mol. %. b.d. - pod mezí stanovitelnosti

An. č.	1	2	3	4	5	6
P ₂ O ₅	0.36	0.61	0.55	0.38	0.52	1.08
CaO	30.91	30.95	31.17	31.12	31.07	30.79
MgO	20.95	20.11	20.43	21.37	21.34	20.36
MnO	0.08	b.d.	0.12	0.09	b.d.	0.14
FeO	0.08	0.08	b.d.	0.11	b.d.	0.13
Celkem	52.38	51.75	52.27	53.07	52.93	52.50
P	0.009	0.016	0.015	0.010	0.014	0.029
Ca	1.027	1.049	1.044	1.020	1.023	1.038
Mg	0.969	0.949	0.952	0.975	0.977	0.955
Mn	0.002	b.d.	0.003	0.002	b.d.	0.004
Fe	0.002	0.002	b.d.	0.003	b.d.	0.003
Dol	99.6	99.8	99.7	99.5	100.0	99.3
Ktn	0.2	0.0	0.3	0.2	0.0	0.4
Ank	0.2	0.2	0.0	0.3	0.0	0.4

žení chloritu typu I doložily i provedené WDS analýzy, a to v rámci jednoho zrna i při porovnání analýz z různých individuí. Jemnozrnný chlorit typu II buď samostatně nebo spolu s minerálem ze serpentinové skupiny, či brucitem zčásti či úplně zatlačuje zrna starších Mg silikátů - forsteritu a hydroxylklinohumitu (obr. 3b,d). V BSE obraze bývá tento typ kompozičně méně homogenní, což doložily i bodové analýzy. Z pohledu chemického složení (tab. 4) náleží všechny analyzované chlority trioktaedrickým Mg-Fe-Al chloritům klinochlor-chamositové řady (Bayliss 1975; Wiewióra, Weiss 1990). Přestože jde v obou případech o Mg-dominantní složení (tj. klinochlor v pojetí

Baylisse 1975), mezi oběma typy jsou významné rozdíly. V typu I kolísají obsahy Si mezi 2.73 a 2.95 *apfu*, obsahy celkového Al mezi 2.16 a 2.50 *apfu*, obsahy Mg mezi 4.62 a 4.86 *apfu*, obsahy Fe mezi 0.05 a 0.07 *apfu* a Ca do 0.02 *apfu* (bezvodá báze přepočtu na 14 atomů kyslíku). Poměr Fe/(Fe+Mg) je v chloritu typu I roven 0.01 (tab. 4). V klasifikaci Melky (1965) odpovídá chemické složení typu I většinou **klinochloru**, s výjimkou jedné analýzy, jež patří **ripidolitu** (obr. 4). V typu II se pohybují obsahy Si mezi 3.14 a 3.45 *apfu*, obsahy celkového Al mezi 0.88 a 1.63 *apfu*, obsahy Mg mezi 5.12 a 5.61 *apfu*, obsahy Fe mezi 0.11 a 0.20 *apfu*, a někdy i Ca do 0.02 *apfu* a/nebo

Tabulka 3 Příklady chemického složení brucitu z metakarbonátů z Mýtinky. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou kalkulovány na základ jednoho atomu kovů na vzorcovou jednotku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti, * - dopočteno ze stechiometrie

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
MgO	68.78	67.93	67.81	67.89	67.99	67.77	68.18	68.22	68.85	67.78	68.63	68.16	68.38	68.37
CaO	0.06	b.d.	0.08	b.d.	b.d.	0.06	0.11	0.13	b.d.	b.d.	b.d.	0.04	0.06	0.05
MnO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.10	0.11	0.11	0.14	0.14	0.12	0.17	0.10	0.09	b.d.
FeO	0.45	0.34	0.37	0.31	0.27	0.66	0.68	0.68	0.68	0.57	0.69	0.34	0.37	0.35
H ₂ O*	30.65	30.25	30.20	30.26	30.31	30.44	30.53	30.63	30.84	30.37	30.69	30.19	30.45	30.48
F	0.41	0.27	0.27	0.20	0.28	b.d.	0.23	0.18	0.15	0.11	0.28	0.77	0.36	0.28
Cl	0.05	0.22	0.34	0.22	0.14	0.23	0.20	0.05	0.20	0.11	0.21	0.07	0.26	0.15
O=F+Cl	-0.18	-0.16	-0.19	-0.13	-0.15	-0.05	-0.14	-0.09	-0.11	-0.07	-0.17	-0.34	-0.21	-0.15
Celkem	100.22	98.85	98.88	98.75	98.94	99.22	99.90	99.94	100.75	98.99	100.50	99.33	99.76	99.53
Mg	0.996	0.997	0.996	0.997	0.997	0.993	0.992	0.992	0.993	0.994	0.993	0.996	0.996	0.997
Ca	0.001	b.d.	0.001	b.d.	b.d.	0.001	0.001	0.001	b.d.	b.d.	b.d.	0.000	0.001	0.001
Mn	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	b.d.
Fe	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.005	0.006	0.006	0.006	0.005	0.006	0.003	0.003	0.003
Subtot.	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
OH*	1.986	1.988	1.986	1.990	1.989	1.997	1.989	1.994	1.992	1.994	1.988	1.975	1.984	1.989
F	0.013	0.008	0.008	0.006	0.009	b.d.	0.007	0.006	0.005	0.003	0.009	0.024	0.011	0.009
Cl	0.001	0.004	0.006	0.004	0.002	0.004	0.003	0.001	0.003	0.002	0.004	0.001	0.004	0.003
Subtot.	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

Tabulka 4 Příklady chemického složení chloritu z metakarbonátů z Mýtinky. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bezvodou bázi 14 atomů kyslíku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti, F/FM = Fe²⁺/(Fe²⁺+Mg), T - chloritový termometr podle Cathelineau (1988)

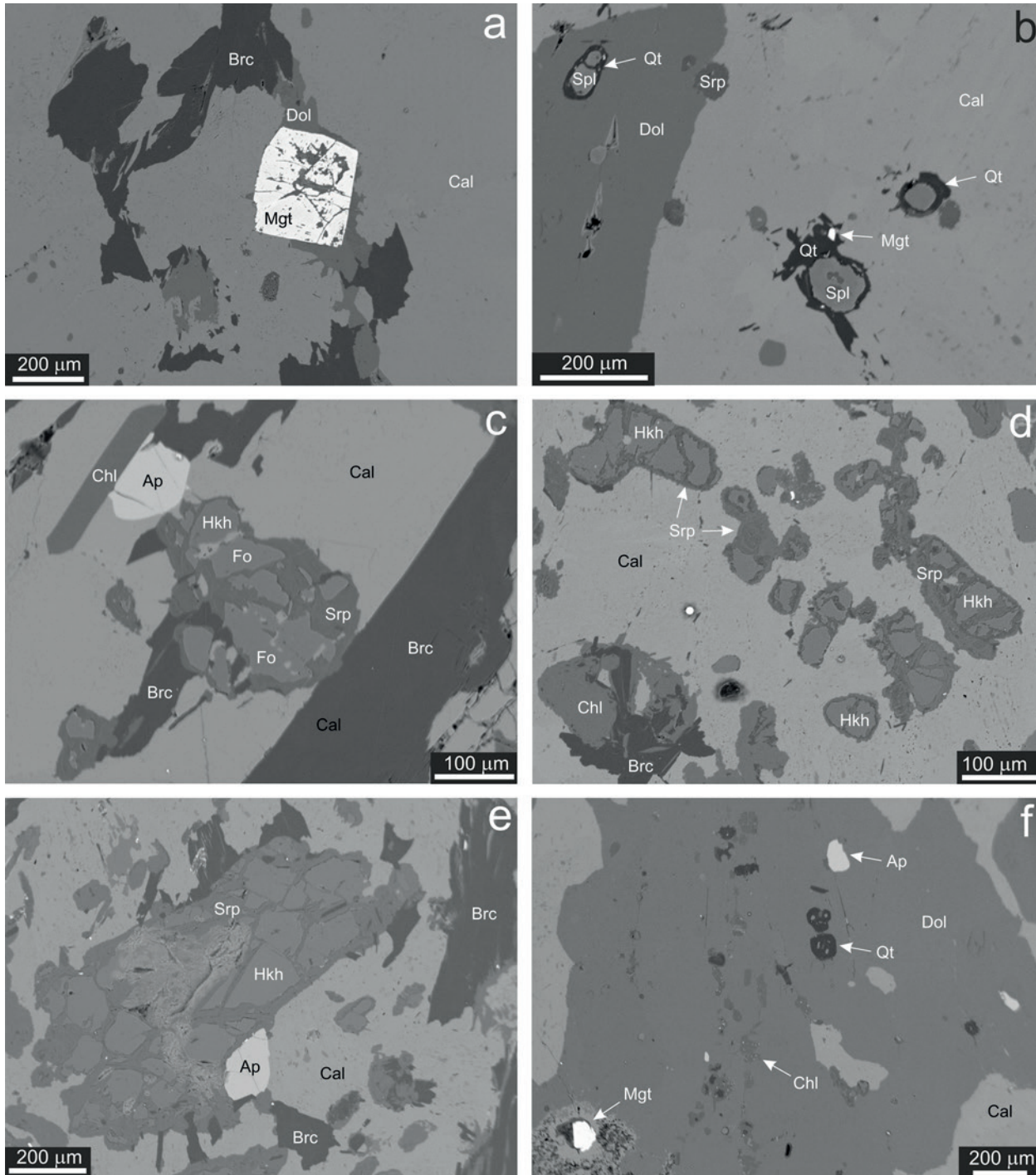
An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Typ	I	I	I	I	I	I	I	I	II	II	II	II	II	II
P ₂ O ₅	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.06	0.06	b.d.	0.09	b.d.	0.10	b.d.	b.d.
SiO ₂	28.51	28.76	29.86	29.57	30.92	31.28	29.21	31.39	33.57	34.22	34.05	33.18	33.21	34.52
Al ₂ O ₃	21.01	21.89	20.15	22.22	20.45	19.70	22.18	19.80	11.85	12.30	11.72	12.94	10.96	11.73
MgO	32.79	33.95	32.81	32.72	34.43	33.87	33.36	35.17	36.82	36.84	36.55	36.46	37.09	37.63
CaO	0.06	0.05	0.19	0.10	0.09	0.11	0.21	0.16	0.14	0.08	b.d.	b.d.	b.d.	0.13
FeO	0.80	0.92	0.87	0.76	0.69	0.71	0.74	0.75	2.01	2.47	2.17	1.97	2.83	2.42
Cl	0.04	0.06	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.22	0.10	0.34	0.18	0.08	0.11
Celkem	83.21	85.63	83.88	85.37	86.58	85.67	85.76	87.33	84.75*	86.10	84.83	84.83	84.17	86.54
P	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.005	0.005	b.d.	0.007	b.d.	0.008	b.d.	b.d.
Si	2.776	2.727	2.879	2.798	2.886	2.947	2.757	2.908	3.245	3.249	3.285	3.194	3.241	3.261
Al	2.411	2.446	2.290	2.478	2.250	2.188	2.467	2.162	1.350	1.377	1.333	1.468	1.261	1.306
Mg	4.759	4.799	4.716	4.616	4.790	4.757	4.694	4.856	5.306	5.214	5.256	5.231	5.396	5.299
Ca	0.006	0.005	0.020	0.010	0.009	0.011	0.021	0.016	0.015	0.008	b.d.	b.d.	b.d.	0.013
Fe	0.065	0.073	0.070	0.060	0.054	0.056	0.058	0.058	0.163	0.196	0.175	0.159	0.231	0.191
Cl	0.007	0.010	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.037	0.017	0.057	0.030	0.014	0.018
Catsum	10.018	10.050	9.976	9.963	9.989	9.959	10.002	10.004	10.079	10.052	10.049	10.060	10.129	10.071
F/FM	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03
T (°C)	332	348	299	325	297	277	337	288	181	178	168	195	182	176

* včetně 0.14 hm. %, respektive 0.043 *apfu* F

(0.008 - 0.025 *apfu*) a Ti (0.007 - 0.121 *apfu*). Obsah F je vždy nízký, mezi 0.069 a 0.406 *apfu*, což odpovídá 3.5 - 20.3 mol. % klinohumitové složky.

Hydroxylapatit je běžnou akcesorickou komponentou, přítomnou ve všech detailněji studovaných vzorcích. Vytváří jednotlivá izometrická či mírně protažená zrna o

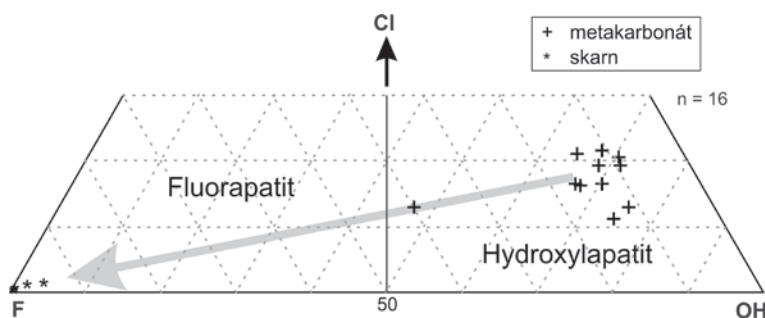
velikosti do 0.2 mm (obr. 3c-f, 5c,e,f). Omezení jeho průřezů je nejčastěji xenomorfní, méně často hypautomorfní. V BSE obraze není zonální. Z pohledu chemismu (tab. 8) jde o stechiometrický hydroxylapatit se zvýšeným obsahem Cl a F (2.99 - 3.03 *apfu* P, 0.09 - 0.40 *apfu* F a 0.11 - 0.22 *apfu* Cl při přepočtu na bázi pěti kationtů v pozici



Obr. 5 Minerální asociace studovaných metakarbonátů na BSE snímcích. a - automorfní krystal magnetitu (Mgt) v asociaci kalcitu (Cal), dolomitu (Dol) a brucitu (Brc). Vzorek My-4b. b - zatlačování spinelu (Spl) quintinitem (Qt) s inkluzemi magnetitu, vzorek My-4d. c - forsterit (Fo) ve srůstu s hydroxylkinohumitem (Hkh), uložené spolu se zrnem apatitu (Ap) a automorfní tabulkou tvořenou chloritem (Chl) typu I v kalcit-brucitové matrici. Oba Mg silikáty jsou zčásti serpentinizovány (Srp). Vzorek My-4a. d - bohatý shluk zrn hydroxylkinohumitu, jež jsou různou měrou zatlačována serpentinem. V levém dolním rohu snímku je kompletní pseudomorfóza tvořená chloritem a brucitem. Vzorek My-4a. e - největší, od okrajů a po trhlinách zčásti serpentinizované zrna hydroxylkinohumitu, spolu s apatitem uzavřené v kalcit-brucitové hmotě, vzorek My-4a. f - úplné pseudomorfózy quintinitu po spinelu, uzavírané spolu s inkluzemi magnetitu, chloritu a serpentinu v dolomitu, vzorek My-4d. Snímky Z. Dolníček.

Tabulka 8 Chemické složení apatitu z metakarbonátů z Mýtinky. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na bázi pěti kationtů v pozici Ca na vzorcovou jednotku, obsahy koncových členů v mol. %. b.d. - pod mezí stanovitelnosti

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SO ₃	0.05	0.07	b.d.	b.d.	0.05	b.d.	0.09	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
P ₂ O ₅	42.65	42.66	42.25	42.26	42.35	42.81	42.45	42.19	42.34	42.20	42.46
CaO	56.33	56.27	55.60	55.72	55.81	55.86	55.77	55.32	55.66	55.56	55.76
F	0.55	0.43	0.53	0.63	1.51	0.50	0.61	0.46	0.35	0.33	0.40
Cl	0.80	0.94	1.50	1.18	0.92	1.18	1.16	1.36	1.37	1.46	1.53
O=F+Cl	-0.41	-0.39	-0.56	-0.53	-0.84	-0.48	-0.52	-0.50	-0.46	-0.47	-0.51
Celkem	99.97	99.98	99.32	99.26	99.80	99.87	99.56	98.83	99.26	99.08	99.64
S	0.003	0.004	b.d.	b.d.	0.003	b.d.	0.006	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
P	2.991	2.995	3.002	2.997	2.998	3.028	3.007	3.013	3.005	3.001	3.009
Subtot.	2.995	3.000	3.002	2.997	3.001	3.028	3.013	3.013	3.005	3.001	3.009
Ca	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
F	0.144	0.113	0.141	0.167	0.399	0.132	0.161	0.123	0.093	0.088	0.106
Cl	0.112	0.132	0.213	0.168	0.130	0.167	0.165	0.194	0.195	0.208	0.217
OH	0.744	0.755	0.646	0.666	0.470	0.701	0.674	0.683	0.713	0.704	0.677
Subtot.	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
F-Ap	14.4	11.3	14.1	16.7	39.9	13.2	16.1	12.3	9.3	8.8	10.6
Cl-Ap	11.2	13.2	21.3	16.8	13.0	16.7	16.5	19.4	19.5	20.8	21.7
OH-Ap	74.4	75.5	64.6	66.6	47.0	70.1	67.4	68.3	71.3	70.4	67.7



Obr. 6 Variace v chemismu apatitů z metakarbonátů z Mýtinky v diagramu F-Cl-OH a jejich porovnání s publikovanými daty ze skarnů z téže lokality (Dolníček et al. 2024). Šipka indikuje možný vývoj chemismu od metakarbonátů ke skarnům.

Tabulka 9 Příklady chemického složení quintinitu z metakarbonátů z Mýtinky. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na bezvodou a bezkarbonátovou bázi sedmi atomů kyslíku na vzorcovou jednotku. * - dopočteno ze stechiometrie

An. č.	1	2	3	4	5	6	7
Al ₂ O ₃	21.83	21.95	22.45	21.28	21.72	21.68	22.46
MgO	34.62	34.76	34.64	33.95	34.33	34.58	34.88
CaO	0.11	0.12	0.25	0.20	0.25	0.11	0.09
FeO	0.25	0.22	0.22	0.24	0.25	0.14	0.30
H ₂ O*	34.89	35.04	35.37	34.16	34.71	34.73	35.48
CO ₂ *	9.48	9.51	9.60	9.27	9.42	9.43	9.63
Celkem	101.18	101.60	102.53	99.10	100.68	100.67	102.84
Al	1.990	1.992	2.018	1.981	1.990	1.985	2.013
Mg	3.990	3.989	3.938	3.996	3.978	4.004	3.954
Ca	0.009	0.010	0.020	0.017	0.021	0.009	0.007
Fe	0.016	0.014	0.014	0.016	0.016	0.009	0.019
Subtot.	6.005	6.004	5.991	6.010	6.005	6.007	5.993
C*	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
OH*	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
H ₂ O*	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000

nou složkou těchto pseudomorfóz bývá i chlorit typu II, jenž v minerálu ze serpentínové skupiny vytváří drobné tabulky či nepravidelné agregáty, případně chlorit (někdy spolu s brucitem) serpentínové pseudomorfózy lemuje či (někdy společně s kalcitem) dokonce zatlačuje (obr. 3b). Fáze blízká minerálu serpentínové skupiny je v BSE obzvláště často nehomogenní, skvrnitě zonální. To je patrné i na získaných bodových analýzách (tab. 10), které vykazují širší rozptyl a výraznější odchylky od ideální stechiometrie minerálů serpentínové skupiny. Při přepočtu empirického vzorce na bezvodou bázi sedmi atomů kyslíku lze konstatovat většinou deficit křemíku (až o 0.22 apfu) a přebytek kationtů v pozici hořčíku (až o 0.21 apfu). Neobvyklé jsou i relativně vysoké obsahy F (až 0.19 apfu). Jde pravděpodobně o směsi více minerálních fází s výraznou převahou minerálu ze serpentínové skupiny.

Sfalerit je velmi vzácnou akcesorickou komponentou, zjištěnou ve dvou vzorcích. Vytváří vždy izometrická zrna o velikosti do 5 μm, sporadicky uzavíraná v karbonátech. Charakteristickým rysem je jejich poikilitická (cedníková) stavba definovaná hojnými okrouhlými inkluzemi horninotvorných karbonátů. V EDS spektrech byly ve sfaleritu zaznamenány jen menší příměsi Fe. Kvantitativní WDS analýzy nebyly provedeny.

Limonit byl akcesoricky zjištěn ve dvou vzorcích, v nichž vytváří automorfne omezené průřezy čtvercového či obdélníkového tvaru o velikosti až 200 μm. Jejich vnitřní stavba bývá v obraze BSE nehomogenní, někdy koncentricky zonální. Předpokládáme, že jde o pseudomorfózy po pyritu. Chemicky nebyl limonit blíže studován.

Diskuse

Pozorované vzájemné texturní vztahy mezi zjištěnými minerály umožňují vyčlenit dvě základní geneticky odlišné skupiny přítomných nekarbonátových fází. Zřetelně starší fáze jsou reprezentovány spinelem, forsteritem, hydroxylklinohumitem a pravděpodobně i hydroxylapatitem. Tyto minerální fáze představují produkty progradní vysokoteplotní a nízkotlaké (HT-LP) metamorfózy protolitu (teplota nad 650 - 700 °C; srov. Houzar et al. 2010; Houzar 2023). Tato etapa vývoje byla charakterizována nízkou aktivitou vody a zejména fluoru v koexistujících fluidech, což dokumentují jen malé obsahy F v hydroxylklinohumitu a hydroxylapatitu a naopak zvýšené koncentrace Cl v hydroxylapatitu. Minerály vzniklé v progradní fázi metamorfózy byly během dalšího vývoje zčásti či zcela zatlačeny serpentinem, quintinitem, brucitem a chloritem. Tyto minerály vznikaly v retrogradní fázi vývoje horniny za nižších teplot a tlaků (pod cca 400 - 300 °C) a za vysoké aktivity vody ve fluidech. Intenzita retrogrese byla lokálně značně variabilní, čemuž nasvědčují různá stádia zatlačování pozorovaná v různých vzorcích. V této fázi vývoje lze také předpokládat vyšší aktivitu F v koexistujících fluidech, a to vzhledem k naměřeným obsahům F i v takových minerálech, v nichž OH skupina obvykle fluorem substituovaná nebývá (brucit, serpentin). Pozorované texturní vztahy dokumentují složitý postupný vývoj retrogradní mineralizace, přičemž se jako starší alterační fáze jeví serpentin (tvořící částečné pseudomorfózy po progradních Mg silikátech; obr. 5c-e), který byl posléze místy sám zatlačován asociací chlorit+brucit (jimiž bývají

tvořeny úplné pseudomorfózy; obr. 3b,d, 5d) a tyto minerály jsou pak lemovány nejmladším quintinitem (obr. 3f). Část pseudomorfóz obsahuje dokonce i významný podíl kalcitu (obr. 3b), což ilustruje i procesy remobilizace základních karbonátových minerálů studovaných hornin. Intenzivní rekrystalizace základních komponent metakarbonátových hornin během jejich retrogradního vývoje byla doložena na německé straně Krušných hor na základě mikrostrukturního studia kalcitu a dolomitu (Leiss a Lapp 2001). Autoři uvádějí, že původní stavba, vzniklá během duktilní deformace hornin, byla těmito mladšími procesy téměř kompletně setřena.

Vzhledem k těsné prostorové asociaci studovaných metakarbonátů se skarny lze usuzovat, že alterace metakarbonátů způsobily (minimálně zčásti) stejné roztoky, které zapříčinily i vznik skarnů. Získaná mineralogická data z metakarbonátů (tato práce) a ze skarnů (Dolníček et al. 2024) pro uvedenou interpretaci poskytují několik indicií. Za prvé, v souladu s takovou představou by byl chemismus akcesorické magnetitu ze studovaných metakarbonátů, jenž vykazuje podobný trend ($Mgt_{69-78}Mgf_{12-28}Spl_{0-6}Jkb_{2-3}Ulv_{0-1}Fra_{0-1}$) jako magnetit ze skarnů ($Mgt_{90-98}Ulv_{2-7}Mgf_{0-4}Hrc_{0-1}Fra_{0-1}Jkb_{0-1}$; Dolníček et al. 2024). Pozdnímu vzniku magnetitu v metakarbonátech by nasvědčovala i jeho asociace s quintinitem (obr. 3f, 5b). Za druhé, podpůrným argumentem uvedené interpretace by mohl být i pozorovaný „lineární trend“ ve složení apatitů z metakarbonátů a skarnů z Mýtinky, kdy by ojedinělá hodnota z metakarbonátu s vyšším F mohla představovat produkt částečné reekvilibrace chemismu původního

apatitu působením F-bohatých skarnizujících fluid. Za třetí, shodným rysem je v obou případech i široký rozsah teplot, indikovaný chloritovou geotermometrií (metakarbonáty: 115 - 348 °C; tab. 4; skarny: 59 - 379 °C; Dolníček et al. 2024), nasvědčující v obou případech dlouhodobému vývoji retrogradních nerostných asociací obsahujících chlorit.

Výskyt brucitu je v prostředí metakarbonátů obvykle vázán na kontaktně metamorfované dolomitické mramory až dolomity, v nichž vzniká za vysokých teplot rozkladem dolomitu nejprve periklas a jeho následnou hydratací pak teprve brucit (např. Nakajima et al. 1992; Kuleci et al. 2015). Jsou však i výskyty, kde se předpokládá přímý vznik brucitu dedolomitizací horniny, tj. bez nutnosti tvorby periklasu jako „meziprojektu“ (Bowles et al. 2011; Persikov a Bukhtiyarov 2004; Doroshkevich et al. 2017). Texturní evidence na lokalitě Mýtinka naznačuje, že i v tomto případě je brucit pravděpodobně primární fází a ne pseudomorfózou po starším minerálu.

Pozoruhodné jsou vysoké obsahy P zjištěné ve všech analýzách kalcitu a dolomitu z metakarbonátů z Mýtinky (tab. 1, 2). Srovnatelné obsahy (do 0.6 hm. % P_2O_5) v kalcitu popisují Hurai et al. (2023), kteří je vysvětlují rozpustností fosforu v kalcitové (resp. karbonatitové) tavenině za magmatických teplot. Uvedené vysvětlení lze rámcově akceptovat i na naší studované lokalitě vzhledem k tomu, že pískové podmínky metamorfózy (viz diskuse výše) dosahovaly po-

Tabulka 10 Příklady chemického složení fáze blízké minerálu serpentínové skupiny z metakarbonátů z Mýtinky. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bezvodou bázi sedmi atomů kyslíku na vzorcovou jednotku. b.d. - pod mezí stanovitelnosti, n.a. - neanalyzováno

An. č.	1	2	3	4	5	6	7
SO ₃	0.17	0.13	0.15	0.19	0.25	0.24	n.a.
SiO ₂	38.08	36.51	38.88	38.05	35.90	37.74	37.23
TiO ₂	0.25	b.d.	0.21	b.d.	b.d.	0.12	0.36
Al ₂ O ₃	0.68	b.d.	0.37	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
MgO	41.40	44.03	41.80	42.54	42.34	41.98	47.29
CaO	0.05	0.19	0.15	0.09	0.16	0.16	0.07
FeO	1.56	1.21	1.25	0.76	0.95	1.09	0.91
F	0.42	1.23	0.74	0.83	1.14	0.85	0.36
Cl	0.24	0.21	0.04	0.06	0.10	0.12	b.d.
O=F+Cl	-0.23	-0.57	-0.32	-0.36	-0.50	-0.38	-0.15
Celkem	82.62	82.94	83.27	82.23*	80.34	81.92	86.30*
S	0.006	0.005	0.006	0.007	0.010	0.009	n.a.
Si	1.888	1.823	1.909	1.891	1.842	1.889	1.779
Subtot.	1.894	1.828	1.914	1.901*	1.851	1.898	1.779
Ti	0.009	b.d.	0.008	b.d.	b.d.	0.005	0.013
Al	0.040	b.d.	0.021	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Mg	3.060	3.278	3.059	3.152	3.238	3.132	3.368
Ca	0.003	0.010	0.008	0.005	0.009	0.009	0.004
Fe	0.065	0.051	0.051	0.032	0.041	0.046	0.036
Subtot.	3.176	3.339	3.147	3.189	3.288	3.191	3.430*
Catsum	5.070	5.167	5.062	5.090*	5.139	5.089	5.208*
F	0.066	0.194	0.115	0.130	0.185	0.135	0.054
Cl	0.021	0.018	0.003	0.005	0.009	0.010	b.d.

* včetně 0.07 hm. % P_2O_5 , respektive 0.003 *apfu* P

* včetně 0.23 hm. % MnO, respektive 0.009 *apfu* Mn

dobně vysokých teplot a systém byl saturován apatitem (jenž je v hornině běžnou akcesorií). V této souvislosti není bez zajímavosti, že účast vodou nasycené karbonátové taveniny je někdy uvažována i při interpretacích vzniku brucitových mramorů nejevících texturní znaky dokladující formování periklasu před brucitem (Persikov a Bukhtiyarov 2004; Doroshkevich et al. 2017).

Minerálním složením metakarbonátů se na lokalitě Mýtinka - Vysoká okrajově zabývali již Šrein (1992) a Šrein a Šreinová (2000) při studiu těsně asociujících skarnů. V metakarbonátech uvádějí vedle kalcitu a dolomitu i řadu dalších akcesorií - flogopit, serpentin, forsterit, klinohumit, hydrotalkit, ludwigit a Zn-bohatý spinel. Velmi podobná asociace byla zjištěna i našich vzorcích, s několika odlišnostmi. Za prvé, citovaní autoři vůbec nezmiňují přítomnost brucitu, který v námi studovaných vzorcích představuje vždy jednu z hlavních složek (i když jde většinou o nejméně zastoupenou hlavní komponentu). Za druhé, námi byl analyzován vždy jen OH-koncový člen řady klinohumit-hydroxylklinohumit. Je ovšem možné, že jde v tomto případě jen o době poplatnou nomenklatorickou nepřesnost - analýzy Šreina (1992) neměly stanovený obsah F a hydroxylklinohumit byl jako samostatný minerální druh publikován až v roce 1999 (Gekimiyants et al. 1999). Podobná situace panuje i u řady dalších našich výskytů minerálů této řady, u nichž je často desítky let v literatuře tradovaný název minerálu také korigován až v poslední době díky nově provedeným analýzám (srov. např. Čopjaková et al. 2008; Pauliš 2021). Za třetí, namísto hydrotalkitu byla v přesně stejné paragenetické pozici (lemy kolem zatlačovaného spinelu) v námi studovaných vzorcích zaznamenána přítomnost velmi blízkého minerálu ze skupiny hydrotalkitu, quintinitu, jenž se z hlediska chemického složení od hydrotalkitu liší nižším poměrem Mg/Al. Chemické složení popisovaného hydrotalkitu z Mýtinky není v práci Šreina (1992) blíže specifikováno, takže problém nelze dořešit, nicméně quintinit jako minerální druh byl opět definován až o několik let později (Chao a Gault 1997). Za čtvrté, v námi studovaném materiálu sice nebyla nikdy zjištěna přítomnost flogopitu, avšak morfologie zjištěných tabulkovitých individuí tvořených chloritem I (obr. 3c,e, 5c) naznačuje, že by mohlo jít o kompletně chloritizovanou slídu. Výše uvedené srovnání s dřívějšími poznatky tedy jen potvrzuje, že se metakarbonátové těleso přítomné na lokalitě Mýtinka vyznačuje značně variabilním minerálním složením a také různorodým charakterem naložených alterací.

Závěrem je třeba poznamenat, že v kontextu dosavadních poznatků představují metakarbonáty z lokality Mýtinka - Vysoká svým minerálním složením v rámci saxothuringika unikátní nerostnou asociaci. Výskyty spinelu, forsteritu, brucitu a minerálů skupiny humitu byly v dolomitických mramorech až krystalických dolomitech dosud popisovány v rámci Českého masivu výhradně jen ze západomoravského a jihočeského moldanubika (např. Houzar a Novák 1997; Čopjaková et al. 2008; Houzar 2023; přehled lokalit zmíněných minerálů viz též Pauliš 2021). Shodným znakem je na některých lokalitách moldanubika i zvýšený obsah Zn, přítomného jednak ve spinelidech, jednak ve sfaleritu (srov. Doležalová et al. 2005; Houzar 2015). Vzhledem k nízkému stupni poznání jejich mineralogických poměrů a geneze si krušnohorské metakarbonáty nepochybně v budoucnu zaslouží detailnější pozornost petrologů.

Závěr

Na skarnové lokalitě Mýtinka - Vysoká u Měděnce (Krušné Hory) byly podrobněji mineralogicky studovány metakarbonátové horniny pomocí elektronové mikrosondy. Minerální složení hornin široce kolísá mezi dolomitickým mramorem a kalcitickým krystalickým dolomitem. Nekarbonátové minerály jsou v těchto horninách běžné a jsou reprezentovány brucitem, chloritem (klinochlor), spinelidy (klasifikovanými jako spinel a magnetit), forsteritem, hydroxylklinohumitem, hydroxylapatitem, quintinitem, serpentinem, sfaleritem a *limonitem*. Zatímco většina těchto fází jsou akcesorie či vedlejší komponenty, tabulkovitý brucit je ve všech detailněji studovaných vzorcích hlavní složkou, jež zaujímá 5 - 20 mod. %. Spinel, forsterit, hydroxylapatit a hydroxylklinohumit představují progradně-metamorfní asociaci, která vznikla za HT-LP metamorfních podmínek v rovnováze s fluidy chudými vodou a fluorem. Ostatní fáze krystalizovaly během postupné retrogradní hydratace horniny, jež byla spojena s aktivitou vodou bohatých a fluorem bohatších fluid. Nejstarší alterační fáze je serpentin, jenž byl následován vznikem chloritu a brucitu a posléze quintinitu. Retrogradní hydratace byla pravděpodobně minimálně zčásti zpříčiněna působením skarnizačních fluid. Studované horniny z lokality Mýtinka - Vysoká jsou charakterizovány unikátním minerálním složením, které v krušnohorské oblasti nemá ekvivalent. Dolomitové mramory s obsahem forsteritu, spinelu a minerálů humitové skupiny, vykazující i podobný charakter alterací zmíněných minerálů, byly až dosud v oblasti Českého masivu známy pouze z pestré skupiny moldanubika.

Poděkování

Práce na článku byly finančně podpořeny Ministerstvem kultury ČR v rámci institucionálního financování výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 - cíl DKRVO 2024/2028 1.II.b). M. Novákovi a P. Paulišovi jsou autoři zavázáni za vstřícné recenzní posouzení rukopisu.

Literatura

- BAYLISS P (1975) Nomenclature of the trioctahedral chlorites. *Can Mineral* 13: 178-180.
- BOWLES JFW, HOWIE RA, VAUGHAN DJ, ZUSSMAN J (2011) Rock-forming minerals, Vol. 5A Non-silicates: Oxides, hydroxides and sulphides. The Geological Society London
- 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
- CATHELINEAU M (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Miner* 23: 471-485
- ČOPJAKOVÁ R, VRÁNA S, HOUZAR S, ČERVENÝ A, MALEC J (2008) Zirkonolit, baddeleyit a geikielit v klinohumit-spinel-forsteritových mramorech z okolí Horažďovic a Prachatic, jihozápadní Čechy. *Acta Mus Moraviae, Sci geol* 93: 37-51
- DOLEŽALOVÁ H, HOUZAR S, ŠKODA R (2005) Minerální asociace forsteritových mramorů s Ba-flogopitem a kinoshitalitem na uranovém ložisku Rožná, moldanubikum, západní Morava. *Acta Mus Moraviae, Sci geol* 90: 75-88
- DOLNÍČEK Z, VELEBIL D, GBOUSKÝ M (2024) Charakteristika mineralizace skarnového výskytu Mýtinka - Vysoká, Krušné hory, Česká republika. *Bull Mineral Petrolog* 32(2): 160-176

- DOROSHKEVICH A, SKLYAROV E, STARIKOVA A, VASILIEV V, RIPP G, IZBRODIN I, POSOKHOV V (2017) Stable isotope (C, O, H) characteristics and genesis of the Tazheran brucite marbles and skarns, Olkhon region, Russia. *Mineral Petrol* 111(3): 399-416
- GEKIMYANTS VM, SOKOLOVA EV, SPIRIDONOV EM, FERRARIS G, CHUKANOV NV, PRENCIPE M, AVDONIN VN, POLENOV YUA (1999) Hydroxylclinohumite $Mg_9(SiO_4)_4(OH,F)_2$ - a new mineral of the humite group. *Zap Vseross Mineral Obshch* 128(5): 64-70
- HOUZAR S (2015) Zinkem a baryem bohaté minerální asociace (sfalerit - Zn-spinel - hyalofán - Ba-flogopit) z mramoru u Číchova na západní Moravě (moldanubikum). *Acta Rer Nat* 18: 1-7
- HOUZAR S (2023) Forsterit-serpentinový mramor s klinohumitem a spinelem u Chotěboře (moldanubikum, Český masiv); příklad retrográdní metamorfózy dolomitického mramoru. *Bull Mineral Petrolog* 31(1): 10-17
- HOUZAR S, GADAS P, ČOPJAKOVÁ R (2010) Minerální asociace geikielit-baddeleyit v dolomitických mramorech moravského moldanubika v kontaktní aureole třebičského plutonu. *Acta Mus Moraviae, Sci geol* 95: 71-82
- HOUZAR S, NOVÁK M (1997) Mramory západní části strážického moldanubika mezi Polnou a Chotěboří. *Acta Mus Moraviae, Sci nat* 81(1-2): 53-62
- HURAI V, HURAIOVÁ M, HABLER G, HORSCHINEGG M, MILOVSKÝ R, MILOVSKÁ S, HAIN M, ABART R (2023) Carbonatite-melilitite-phosphate immiscible melts from the aragonite stability field entrained from the mantle by a Pliocene basalt. *Mineral Petrol* 117: 467-496
- CHAO GY, GAULT RA (1997) Quintinite-2H, quintinite-3T, charmarite-2H, charmarite-3T and caresite-3T, a new group of carbonate minerals related to the hydrotalcite-manasseite group. *Can Mineral* 35(6): 1541-1549
- KULECI H, SCHMIDT C, RYBACKI E, PETRISHCHEVA E, ABART R (2015) Hydration of periclase at 350 °C to 620 °C and 200 MPa: Experimental calibration of reaction rate. *Mineral Petrol* 110: 1-10
- LEISS B, LAPP M (2001) Fluid-controlled microstructural and textural evolution of a calcite-dolomite marble from the western Erzgebirge in Germany. *Ztschr Deutsch Geol Gesell* 152(2-4): 527-545
- MELKA K (1965) Návrh na klasifikaci chloritových minerálů. *Věst Ústř Úst geol* 40: 23-27
- NAKAJIMA Y, UCHIDA E, IMAI H, OHNO H (1992) Brucite-bearing white rock and the genetically related basalt dyke in the Nabeyama carbonate formation of the Kuzuu district, Tichigi Prefecture, Japan. *Jap J Min, Petr Econ Geol* 87: 445-459
- PAULIŠ P (2021) Nový přehled minerálů České republiky a jejich lokalit, 3. vyd. Kuttna, Kutná Hora.
- PERSIKOV ES, BUKHTIYAROV PG (2004) Experimental study of the mechanisms of calcite and dolomite melting at high fluid pressures. *Electronic Scientific Information Journal „Herald of the Department of Earth Sciences RAS“* no. 1(22). Dostupné online: http://geo.web.ru/conf/khitariada/1-2004/informbul-1_2004/term13e.pdf
- POUCHOU JL, PICHOT F (1985) "PAP" (ppZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: ARMSTRONG JT (ed.) *Microbeam Analysis*: 104-106. San Francisco Press, San Francisco
- 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