

Minerální asociace a chemické složení chloritů z alpských žil od Markovic u Čáslavi (kutnohorské krystalinikum)

Mineral assemblage and chemical composition of chlorites from Alpine-type veins from Markovice near Čáslav (Kutná Hora Crystalline Complex)

ZDENĚK DOLNÍČEK* A JANA ULMANOVÁ

*Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice;
e-mail: zdenek_dolnicek@nm.cz

DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2019) Minerální asociace a chemické složení chloritů z alpských žil od Markovic u Čáslavi (kutnohorské krystalinikum). Bull Mineral Petrolog 27(1): 212-220 ISSN 2570-7337

Abstract

An electron-microprobe study was conducted on chlorites originating from four paragenetically distinct types of Alpine-type veins and host amphibolites and marbles from the quarry Markovice near Čáslav (central Bohemia, Czech Republic). The studied chlorites belong to the trioctahedral chlorites of the clinochlore-chamosite series showing wide ranges of contents of all main constituents [2.76 - 3.70 *apfu* Si, 2.76 - 3.70 *apfu* Al, 0.37 - 4.32 *apfu* Fe, 0.23 - 4.64 *apfu* Mg, $Fe/(Fe+Mg) = 0.07 - 0.95$]. Chlorites from different types of Alpine-type veins show very different trends in the Si vs. $Fe/(Fe+Mg)$ plot and also very different formation temperatures (total range 84 - 354 °C), which were calculated using chlorite thermometers based on amount of tetrahedral Al. The calculated temperatures, however, correlate very well with mineral composition of the studied samples. We interpret all these findings in terms of polyphase crystallization of chlorites, which was associated with episodic opening of veins whereas each episode was characterized by specific composition of fluids and specific physico-chemical parameters. Part of chlorites in a single sample showed enrichment in Ni (up to 0.15 *apfu*), which could indicate some interaction of the parent fluids with (meta)ultrabasic rocks. Moreover, one sample gave evidence for thermal rejuvenation as high as 150 °C during crystallization of chlorite. The obtained results suggest highly dynamic hydrothermal system which is in agreement with previously indicated repeated changes of temperature, pressure and/or chemical composition of parent fluids, which were interpreted from both silicate and sulphide parageneses of Alpine-type veins from Markovice.

Key words: *Alpine-type veins, chlorite, chemical composition, chlorite thermometry, Kutná Hora unit, Bohemian Massif, Czech Republic*

Obdrženo 14. 5. 2019; přijato 8. 7. 2019

Úvod

Fylosilikáty ze skupiny chloritů představují běžné hlavní, vedlejší i akcesorické minerály v nejrůznějších typech vyvěřelých, metamorfovaných a sedimentárních hornin. Při diagenезi a slabé metamorfóze vznikají při zvyšování teploty a tlaku na úkor ostatních fylosilikátů, zejména jílových minerálů. Nejčastěji však chlority vznikají při retrogresi a níže temperovaných hydrotermálních alteracích na úkor tmavých minerálů, zejména biotitu, pyroxenů, amfibolů a granátů (např. Melka, Šťastný 2014). Jsou součástí i řady typů hydrotermálních mineralizací, včetně typických rudních žil. Velmi charakteristická je přítomnost chloritů v trhlínových mineralizacích typu alpských žil (Bernard 1981; Fišera 2000), z nichž pocházejí i četné sběratelsky atraktivní krystalované ukázky.

Činný lom v Markovicích u Čáslavi představuje klasickou lokalitu minerálů alpské parageneze typu „C“ v amfibolitech kutnohorského krystalinika (Bernard 1981; Fišera 2000). Vedle silikátů, obvykle bohatých vápníkem (jmenovitě zeolitů, prehnitu, minerálů epidotové skupiny, albitu, titanitu, vláknitého amfibolu, datolitu a apofylitu),

kteří v minerální výplni zpravidla převažují, se také n žilách často významně uplatňují křemen a kalcit (Kratohvíl 1911; Kratochvíl 1941; Růžička 1947; Konta 1950; Rychlý 1982; Tesař 2010a-c; Pauliš et al. 2011; Vrána et al. 2016). Vzácné jsou oxidické minerály Ti a Fe (ilmenit, rutil), apatit, sulfidy, selenidy, ryzí tellur a telluridy (Kratohvíl 1961; Novák, Drábek 1964; Dolníček, Ulmanová 2018a,b). Chlority představují ve zdejší alpské mineralizaci spíše vedlejší až akcesorickou složku minerální asociace, která navíc obvykle nevytváří makroskopicky estetické ukázky. Možná i proto dosud nebyla chloritům z této lokality věnována podrobnější pozornost ze strany odborné veřejnosti. Chlority představují užitečný zdroj informací o podmínkách vzniku mineralizace vzhledem ke skutečnosti, že jak svým strukturálním uspořádáním, tak chemickým složením citlivě reagují na změny vnějších podmínek - zejména teploty, fugacity kyslíku a fugacity síry (např. Nesbitt 1982; Nesbitt 1986; Bryndzia, Scott 1987; Cathelineau 1988; Melka, Šťastný 2014). V tomto kontextu bude velmi zajímavé posoudit variabilitu chemického složení chloritů v závislosti na minerální paragenezi,

neboť v případě markovických alpských žil se nahromadila řada indicií naznačujících komplikovaný polyfázový vývoj jejich minerální asociace, spojený dokonce i s významnými teplotně-tlakovými rejuvenacemi (srov. Vrána et al. 2016; Dolníček, Ulmanová 2018a,b). Přistoupili jsme proto k podrobnějšímu výzkumu, jehož cílem bylo zdokumentovat výskyt chloritů v markovických alpských žilách a přinést nové informace k jejich chemickému složení. Výsledky předkládáme v tomto článku.

Materiál a metodika

Všechny studované vzorky byly odebrány autory předložené studie v květnu 2018 v lomu Markovice, a to hlavně na spodní (aktuálně těžené) etáži, méně i v hloubení sloužícím jako jímka na dešťovou vodu. Vzorky pocházely ze sutí či volných balvanů; in situ v lomové stěně nebyl v době odběru vzorků zaznamenán žádný významnější nález. Z devíti reprezentativních vzorků byly následně diamantovou pilou vyřezány mineralogicky zajímavější partie a z nich byly autory zhotoveny naleštěné zalévané preparáty. Dokumentace zhotovených nábrusů v odraženém světle byla provedena na odrazovém polarizačním mikroskopu Nikon Eclipse ME600.

Následně byly nábrusy 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), provedena identifikace jednotlivých fází pomocí energiově disperzních (EDS) spekter a kvantitativně měřeno chemické složení vybraných fází ve vlnově disperzním (WDS) modu. Při bodových analýzách chloritů bylo použito urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 10 nA a průměr elektronového svazku 5 μm. Použité standardy a analytické čáry: albit (NaKα), almandin (AlKα, FeKα), apatit (PKα), baryt (BaLβ), Co (CoKα), Cr₂O₃ (CrKα), Cs-sklo (CsLa), diopsid (MgKα), halit (ClKα), chalkopyrit (CuKα), LiF (FKα), Ni (NiKα), Rb-Ge-sklo (RbLa), rodonit (MnKα), sanidin (KKα), TiO₂ (TiKα), V (VKα), vanadinit (PbMa), wollastonit (CaKα, SiKα), zinkit (ZnKα). Měřicí časy na píku se pohybovaly mezi 10 a 30 s, měřicí časy pozadí trvaly polovinu času měření na píku. Načtená data byla přepočítána na obsahy oxidů vyjádřené v hm. %, s použitím standardní PAP korekce (Pouchou, Pichoir 1985). Obsahy výše zmíněných prvků, které nejsou uvedeny v tabulkách, byly ve všech případech pod mezí stanovitelnosti.

Výskyt chloritů

Chlority byly v lomu Markovice nalezeny ve čtyřech různých texturně-paragenetických typech žilných mineralizací, označených I, II, III a V (viz tab. 1). Použité značení vzorků a typů mineralizací I - III je shodné s naší dřívější prací o sulfidech (Dolníček, Ulmanová 2018b); nově jsou v této práci definovány žíly typu V.

Žíly typu I jsou tvořeny hlavně světlými minerály, zejména křemenem a albitem, v malé míře i dalšími silikátovými fázemi (chlorit, epidot, amfibol, K-živec) a obecnými sulfidy (pyrit, chalkopyrit, markazit, akcesoricky sfalerit; Dolníček, Ulmanová 2018b; tab. 1). Výplň žil se vyznačuje absencí dutin s krystaly. Chlority byly studovány ve dvou vzorcích náležejících mineralizaci typu I (Ma-1 a Ma-2; tab. 1).

Žíly typu II jsou mineralogicky nejpestřejší (tab. 1). Vedle bílého či narůžovělého albitu (ve vzorku Ma-4 je vedle albitu přítomen i oligoklas) obsahují i podstatné množství Ca-Fe-Mg-Al silikátů (diopsid, amfibol, epidot, titanit), dále menší množství chloritu a někdy i oxidické minerály Fe-Ti (rutil, ilmenit, magnetit) a velmi pestrou asociaci sulfidů (chalkopyrit, pyrhotin, pyrit, sfalerit, millerit, siegenit, kobaltin, pentlandit; Dolníček, Ulmanová 2018b). Ojediněle byly zjištěny i selenidy (clausthalit a naumannit; Dolníček, Ulmanová 2018b). Křemen buď chybí, nebo je zastoupen jen v malé míře. Tmavé silikáty bývají hojněji zastoupeny při okrajích žil, zatímco živec se kumuluje spíše ve středu žíly. Žilovina je opět bez drúzových dutin. V námi studovaném souboru reprezentují tento typ alpských žil tři vzorky (Ma-3, Ma-4 a Ma-11; tab. 1).

Žíly typu III jsou tvořeny hlavně hrubě štěpným kalcitem, který je v dané paragenezi nejmladší minerální fází. Studován byl jeden vzorek (Ma-6; tab. 1). Na okrajích žilné výplně narůstají přímo na okolní horninu drobnozrné agregáty (pásky) pyritu o mocnosti až 3 mm, provázené chloritem (tab. 1). Žíla je opět bez drúzových dutin.

Žíly typu V, zastoupené v námi studovaném souboru jedním vzorkem (Ma-16), obsahují opět zejména hrubozrný bílý kalcit, doprovázený hnízdy drobně zrnitého načervenalého rozpadavého laumontitu. Chlorit a blíže nespecifikovaný silikát bohatý draslíkem, intimně srůstající s chloritem, jsou vedlejšími komponentami dané mineralizace; tab. 1).

Pro srovnání byly orientačně studovány i horninové chlority ve třech horninových vzorcích (2× amfibolit, 1× mramor; tab. 1). U amfibolitů šlo v obou případech o hydrotermálně alterované partie z bezprostředního kontaktu s alpskými žilami typu III (vzorek Ma-5) a V (vzorek Ma-16).

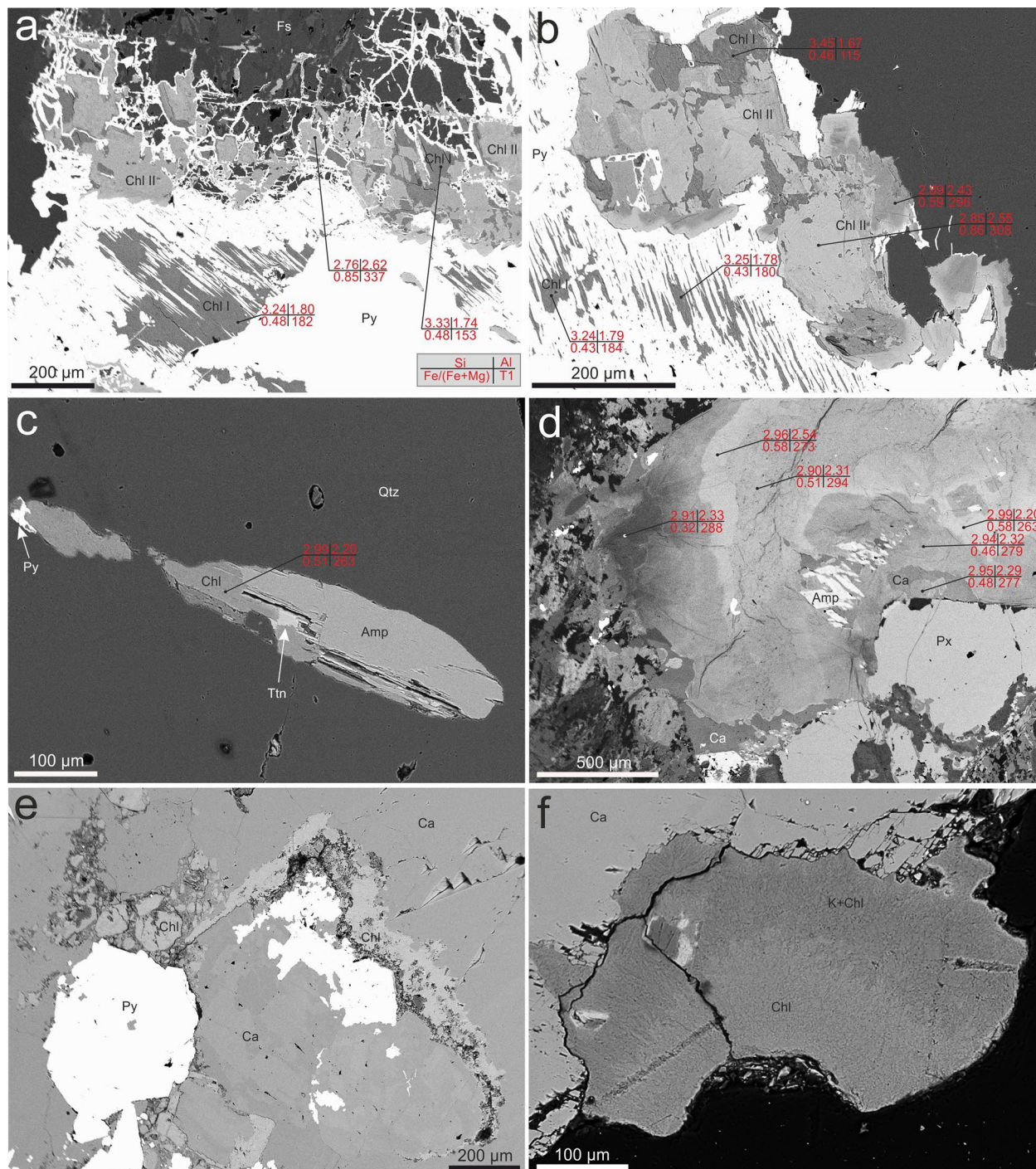
Tabulka 1 Minerální asociace studovaných vzorků

Vzorek	Typ vzorku	Forma výskytu chloritu	Minerální asociace ve vzorku
Ma-1	žíla, typ I	primární	křemen, albit, epidot, sulfidy
Ma-2	žíla, typ I	hlavně primární, ojediněle zatlačuje amfibol	křemen, albit, K-živec, amfibol, titanit, sulfidy
Ma-3	žíla, typ II	primární	albit, pyroxen, amfibol, titanit, sulfidy, selenidy
Ma-4	žíla, typ II	vzácné inkluze v epidotu	plagioklas, pyroxen, epidot, kalcit, Na-Ca zeolit, sulfidy
Ma-11	žíla, typ II	ojedinělá inkluze v rutilu	pyroxen, epidot, titanit, ilmenit, rutil, magnetit, albit, křemen
Ma-6	žíla, typ III	primární	kalcit, pyrit
Ma-16	žíla, typ V	primární	kalcit, laumontit, K-bohatý minerál
Ma-16	amfibolit	inkluze v amfibolu, žilky v amfibolu	amfibol, plagioklas
Ma-5	amfibolit	pseudomorfózy po amfibolu	amfibol, plagioklas, minerál SiO ₂ , zeolit
Ma-8	mramor	okrouhlé zrno v hornině	kalcit, dolomit

Charakteristika chloritu

Chlorit reprezentuje na studovaných alpských žilách i v horninových vzorcích vedlejší až akcesorickou složku jejich minerální asociace. Podle pozice v žilné výplni a texturních rysů lze rozlišit dva základní typy chloritu. První

je reprezentován chlority primárně krystalizujícími ve volných prostorách v podobě povlaků či až automorfně omezených polokulovitých agregátů složených z hypoparalelně uspořádaných šupinek (obr. 1a,b,d-f). Tyto chloritové agregáty dosahují velikosti maximálně 1.5 mm. V obraze



Obr. 1 Minerální asociace a vývin chloritů z alpských žil Markovic na BSE snímcích. a,b - dvě generace chloritu v asociaci se sulfidy (Py) a živci (Fs). Starší tmavší hrubě tabulkovitý niklem obohacený chlorit I (Chl I) je silně zatlačován pyrit-markazitovými agregáty s uzavřeninami chalkopyritu (Py) a mladším světlejším chloritem II (Chl II). Pro analyzovaná místa jsou indikovány hodnoty vybraných parametrů [apfu Al a Si vypočítané na bázi 14 atomů O, poměr Fe/(Fe+Mg) a teplota indikovaná chloritovým termometrem podle Cathelineau (1988)]. Alpská žíla typu I, vzorek Ma-2. c - sekundární chlorit, vznikající spolu s titanitem (Ttn) zatlačováním amfibolu. Qtz - křemen, Py - pyrit. Alpská žíla typu I, vzorek Ma-2. d - agregát chloritu se zřetelnou růstovou zonálností, narůstající na pyroxen (Px) a uzavírající jehlicovitý amfibol (Amp). Ca - kalcit. Alpská žíla typu II, vzorek Ma-3. e - kompozičně homogenní agregáty chloritu, narůstající na starší pyrit. Ca - kalcit. Alpská žíla typu III, vzorek Ma-6. f - polokulovitý agregát chloritu (Chl), v mladší zóně intimně prorostlý s nespécifikovaným K-bohatým silikátem, obklopený kalcitem (Ca). Alpská žíla typu V, vzorek Ma-16. Všechny snímky Z. Dolníček.

BSE mohou vykazovat zřetelnou růstovou zonálnost, přičemž starší partie bývají tmavší než krystalizačně mladší okraje agregátů (obr. 1a,b,d). Někdy byla pozorována i složitější oscilační zonálnost chloritových agregátů, charakterizovaná střídáním světlejších a tmavších zón, případně zatlačování staršího chloritu mladší generací téhož minerálu (vzorek Ma-2, obr. 1a,b). Chloritové agregáty jsou vždy mladší než pyroxeny a amfiboly (obr. 1c,d). Vůči sulfidům (hlavně pyritu) se chlorit jeví většinou jako starší (ve vzorku Ma-2 je dokonce starší hrubě tabulkovitá generace chloritu zřetelně obrůstána a zatlačována agregáty sulfidů; obr. 1a,b), pouze ve vzorku Ma-6 chlorit narůstá na pyrit (obr. 1e). Kalcit a zeolity jsou taktéž vždy mladší než chlorit.

Druhý typ představuje chlorit zatlačující starší tmavé silikáty, zejména pyroxen a amfibol (obr. 1c). V alpských žilách jde obvykle jen o objemově nevýznamné shluky

jemnozrnného chloritu, které jsou situovány podél trhlin nebo na okrajích zrn zmiňovaných starších silikátů. Naproti tomu v alterovaných amfibolitech byly někdy pozorovány i úplné pseudomorfozy chloritů neobsahující žádné reliktů původního minerálu.

Ojedinele byly pozorovány ve vzorcích žiloviny a v horninách i drobné inkluze chloritu, izolovaně uzavřené ve větších zrnech jiných silikátů (epidotu, amfibolu; tab. 1). V těchto případech není zřetelně patrná vazba chloritu na mladší trhliny v hostitelském minerálu, je tedy možné, že jde v porovnání s hostitelským minerálem buď o fázi starší, nebo stejně starou.

Chemické složení chloritů z alpských žil bylo studováno prostřednictvím 64 bodových WDS analýz, zatímco z okolních hornin byly chlority studovány jen okrajově (12 analýz). Reprezentativní výběr analýz je uveden v tabulce 2 a celkový přehled rozsahů základních parametrů

Tabulka 2 Příklady chemického složení chloritů ze studovaných vzorků. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na základ 14 atomů kyslíku. T1 - teplota (°C) podle Cathelineau (1988), T2 - teplota (°C) podle Jowetta (1991), A - amfibolit, M - mramor.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
typ vzorku	žíla I	žíla I	žíla I	žíla I	žíla I	žíla I	žíla I	žíla I	žíla I	žíla I	žíla II	žíla II	žíla II	žíla II
vzorek	Ma-1	Ma-1	Ma-1	Ma-1	Ma-2	Ma-2	Ma-2	Ma-2	Ma-2	Ma-2	Ma-3	Ma-3	Ma-3	Ma-3
P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.14	0.20	0.00	0.08	0.05	0.10	0.12	0.07	0.00	0.06	0.00	0.07
SiO ₂	24.60	26.64	26.85	28.97	31.56	32.43	33.90	24.28	27.48	28.79	27.86	28.24	28.92	30.10
Al ₂ O ₃	20.10	20.48	19.79	21.02	14.82	14.36	14.14	19.56	19.61	17.93	16.76	19.97	17.07	15.33
V ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	2.64	9.70	9.83	11.52	15.62	15.20	16.99	3.86	11.92	14.79	12.11	18.27	10.97	14.52
FeO	43.02	31.91	31.23	28.16	25.89	25.33	23.20	40.50	30.10	27.40	31.75	21.17	33.03	28.63
MnO	0.12	0.18	0.25	0.26	0.25	0.37	0.37	0.08	0.18	0.08	0.11	0.26	0.13	0.12
NiO	0.00	0.00	0.34	0.38	1.82	1.64	1.18	0.00	0.10	0.00	0.09	0.00	0.00	0.26
CuO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
CaO	0.06	0.19	0.31	0.31	0.20	0.37	0.48	0.08	0.03	0.09	0.20	0.06	0.09	0.28
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.06	0.12	0.00	0.00	0.00
Celkem	90.59	89.15	88.74	90.82	90.27	89.78	90.67	88.46	89.61	89.34	89.00	88.07	90.21	89.49
P ⁵⁺	0.005	0.005	0.013	0.017	0.000	0.007	0.004	0.010	0.011	0.006	0.000	0.005	0.000	0.006
Si ⁴⁺	2.757	2.845	2.879	2.958	3.243	3.331	3.396	2.761	2.889	2.991	2.990	2.882	3.063	3.150
^{iv} Al ³⁺	1.238	1.151	1.108	1.025	0.757	0.662	0.600	1.230	1.101	1.003	1.010	1.112	0.937	0.844
T sum	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
^{vi} Al ³⁺	1.417	1.427	1.393	1.505	1.038	1.077	1.070	1.392	1.329	1.192	1.110	1.290	1.193	1.047
V ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg ²⁺	0.441	1.544	1.571	1.753	2.393	2.328	2.537	0.654	1.868	2.290	1.937	2.780	1.732	2.265
Fe ²⁺	4.032	2.850	2.800	2.405	2.225	2.176	1.944	3.851	2.646	2.380	2.850	1.807	2.925	2.506
Mn ²⁺	0.011	0.016	0.023	0.022	0.022	0.032	0.031	0.008	0.016	0.007	0.010	0.022	0.012	0.011
Ni ²⁺	0.000	0.000	0.029	0.031	0.150	0.136	0.095	0.000	0.008	0.000	0.008	0.000	0.000	0.022
Cu ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014
Ca ²⁺	0.007	0.022	0.036	0.034	0.022	0.041	0.052	0.010	0.003	0.010	0.023	0.007	0.010	0.031
K ⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000
Na ⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.070	0.000	0.000	0.012	0.025	0.000	0.000	0.000
Subtot.	5.908	5.859	5.852	5.751	5.859	5.789	5.798	5.914	5.877	5.903	5.963	5.911	5.872	5.896
Catsum	9.908	9.859	9.852	9.751	9.859	9.789	9.798	9.914	9.877	9.903	9.963	9.911	9.872	9.896
Fe/(Fe+Mg)	0.90	0.65	0.64	0.58	0.48	0.48	0.43	0.85	0.59	0.51	0.60	0.39	0.63	0.53
T1	338	310	299	274	182	153	133	337	296	263	263	298	240	212
T2	356	320	309	282	188	160	138	354	304	269	272	300	250	219

v jednotlivých vzorcích, respektive typech mineralizací, je prezentován v tabulce 3.

Společnou charakteristikou získaného datového souboru je, že jde ve všech případech o trioktaedrické Fe-Mg-Al chlority klinochlor-chamositové řady (Bayliss 1975; Wiewióra, Weiss 1990). Posuzovány jako celek, naměřené analýzy vykazují velmi široké rozsahy většiny klíčových charakteristik. Obsahy Si kolísají mezi 2.76 a 3.70 *apfu*, obsahy celkového Al mezi 2.76 a 3.70 *apfu*, z čehož ^{vi}Al zaujímá mezi 0.84 a 1.49 *apfu*, dále obsahy Fe se pohybují mezi 0.37 a 4.32 *apfu*, obsahy Mg mezi 0.23 a 4.64 *apfu* a poměr Fe/(Fe+Mg) se pohybuje mezi 0.07 a 0.95 (tab. 3). V malém množství jsou v analyzovaných chloritech pravidelně přítomny ještě Mn (0.004 - 0.064 *apfu*) a Ca (0.002 - 0.106 *apfu*). V některých analýzách byly dále zaznamenány i nízké koncentrace V (≤ 0.011 *apfu*), Cr (≤ 0.018 *apfu*) a Ni (≤ 0.030 *apfu*) - v případě poslední jmenovaného prvku s výjimkou části chloritů ve vzorku Ma-2, které jsou niklem řádově bohatší.

Mezi obsahy Al a Si existuje statisticky velmi významná nepřímá úměrnost ($R^2 = 0.92$; obr. 2a), zatímco mezi obsahy Mg a Fe je patrná dokonce téměř ideální nepřímá úměra ($R^2 = 0.98$; obr. 2b). Mezi obsahy minoritních komponent (Mn, Ca, Ni) na jedné straně a obsahy hlavních složek (Si, Al, Fe, Mg) na straně druhé naproti tomu žádné korelace neexistují ($R^2 \leq 0.14$).

Chlority z mramorů se vyznačují v rámci celého datového souboru nejnižšími poměry Fe/(Fe+Mg) mezi 0.07 a 0.36 a středními obsahy Si (3.09 - 3.47 *apfu*). V klasifikaci Melky (1965) odpovídá jejich chemické složení penninu až klinochloru (obr. 3a).

Chlority z hydrotermálně alterovaných amfibolitů mají střední až vysoké obsahy Si (3.18 - 3.70 *apfu*) a střední hodnoty poměru Fe/(Fe+Mg) mezi 0.31 a 0.52 (tab. 3). V klasifikaci Melky (1965) jde o pennin (obr. 3a).

Chlority z alpských žil typu I vykazují největší variabilitu v chemickém složení. Obsahy Si kolísají mezi 2.76 a 3.45 *apfu*, poměry Fe/(Fe+Mg) mezi 0.42 a 0.95 (tab. 3).

Tabulka 2 - pokračování

An. č.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
typ vzorku	žíla II	žíla II	žíla III	žíla III	žíla III	žíla V	žíla V	žíla V	A	A	A	A	M	M
vzorek	Ma-4	Ma-4	Ma-6	Ma-6	Ma-6	Ma-16	Ma-16	Ma-16	Ma-5	Ma-5	Ma-16	Ma-16	Ma-8	Ma-8
P ₂ O ₅	0.04	0.05	0.09	0.12	0.12	0.21	0.06	0.17	0.00	0.11	0.08	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	27.84	28.52	29.16	29.31	31.07	33.87	34.49	36.44	30.16	31.73	33.71	37.37	32.57	34.71
Al ₂ O ₃	20.30	19.25	15.40	16.42	16.45	14.61	14.55	14.09	15.56	13.60	13.84	12.09	17.18	15.28
V ₂ O ₃	0.00	0.00	0.06	0.09	0.10	0.00	0.05	0.00	0.07	0.06	0.00	0.00	0.00	0.05
Cr ₂ O ₃	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	19.16	18.01	13.81	14.04	15.97	22.88	22.22	21.09	15.48	14.70	19.95	19.75	31.43	33.33
FeO	20.41	20.16	27.86	28.32	25.55	15.95	15.98	15.56	25.37	28.17	16.31	17.74	5.64	5.15
MnO	0.28	0.26	0.36	0.33	0.31	0.24	0.24	0.31	0.28	0.23	0.29	0.32	0.25	0.18
NiO	0.20	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CuO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53
CaO	0.08	0.09	0.53	0.42	0.34	0.33	0.37	0.69	0.30	0.34	0.97	0.71	0.22	0.06
K ₂ O	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.21	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Celkem	88.31	86.67	87.30	89.05	89.91	88.12	88.06	88.64	87.41	88.94	85.19	88.01	87.29	89.29
P ⁵⁺	0.003	0.004	0.008	0.011	0.010	0.018	0.005	0.014	0.000	0.010	0.007	0.000	0.000	0.000
Si ⁴⁺	2.829	2.947	3.126	3.077	3.166	3.338	3.399	3.547	3.175	3.319	3.451	3.699	3.091	3.216
^{iv} Al ³⁺	1.168	1.049	0.866	0.912	0.824	0.644	0.596	0.439	0.825	0.671	0.542	0.301	0.909	0.784
T sum	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
^{vi} Al ³⁺	1.264	1.295	1.080	1.119	1.152	1.053	1.094	1.178	1.106	1.006	1.128	1.109	1.012	0.885
V ³⁺	0.000	0.000	0.005	0.008	0.008	0.000	0.004	0.000	0.006	0.005	0.000	0.000	0.000	0.004
Cr ³⁺	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg ²⁺	2.902	2.774	2.207	2.197	2.426	3.362	3.264	3.060	2.429	2.292	3.045	2.914	4.446	4.603
Fe ²⁺	1.735	1.742	2.498	2.486	2.177	1.315	1.317	1.267	2.234	2.464	1.396	1.468	0.448	0.399
Mn ²⁺	0.024	0.023	0.033	0.029	0.027	0.020	0.020	0.026	0.025	0.020	0.025	0.027	0.020	0.014
Ni ²⁺	0.016	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cu ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037
Ca ²⁺	0.009	0.010	0.061	0.047	0.037	0.035	0.039	0.072	0.034	0.038	0.106	0.075	0.022	0.006
K ⁺	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.004	0.000	0.026	0.000	0.000	0.005	0.004	0.000	0.000
Na ⁺	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Subtot.	5.950	5.880	5.888	5.887	5.827	5.789	5.746	5.644	5.849	5.825	5.706	5.598	5.948	5.948
Catsum	9.950	9.880	9.888	9.887	9.827	9.789	9.746	9.644	9.849	9.825	9.706	9.598	9.948	9.948
Fe/(Fe+Mg)	0.37	0.39	0.53	0.53	0.47	0.28	0.29	0.29	0.48	0.52	0.31	0.34	0.09	0.08
T1	315	277	219	235	207	151	132	84	204	157	115	35	231	191
T2	316	279	227	242	212	151	132	85	209	165	116	38	224	184

V klasifikaci Melky (1965) spadají tyto chlority do polí chamositu a penninu, ojediněle i klinochloru (obr. 3a). Větší agregáty chloritů ze vzorku Ma-2 jsou v obraze BSE zřetelně zonální. Starší, hrubě tabulkovitý chlorit I (v BSE obraze tmavší), má vyšší obsahy Si, zvýšený podíl Ni (max. 0.150 *apfu*), nižší obsahy Al a vyšší poměr Fe/(Fe+Mg), než mladší, v BSE obraze světlejší chlorit II (obr. 1a,b).

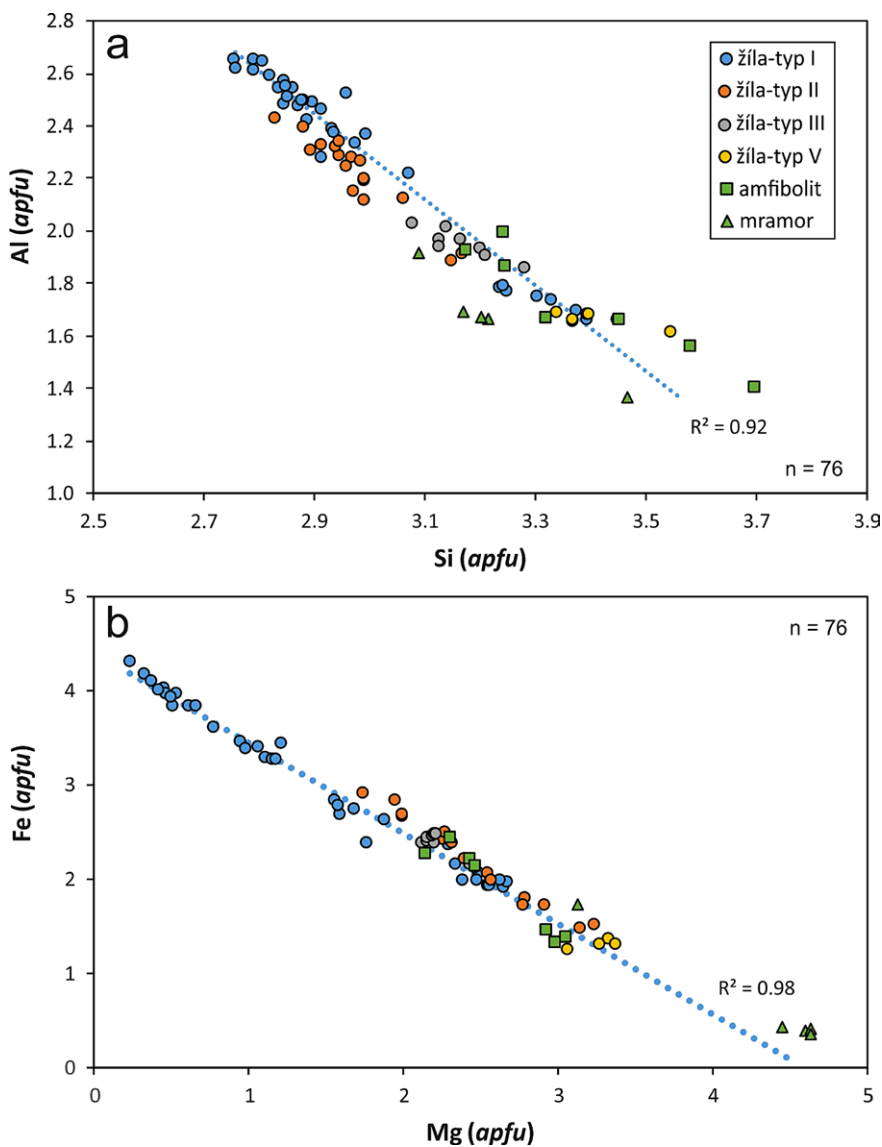
Chlority z alpských žil typu II mají vyšší až střední obsahy Si mezi 2.83 a 3.17 *apfu* a nízké až střední poměry Fe/(Fe+Mg) mezi 0.32 a 0.60 (tab. 3). V klasifikačním schématu Melky (1965) spadají hlavně do polí klinochloru a chamositu, ojediněle i delessitu (obr. 3a). V obraze BSE jsou agregáty zřetelně zonální (obr. 1d). V tomto případě se obsahy Si a Al v různých zónách příliš neliší, rozdíly jsou hlavně v obsazích Fe a Mg (obr. 1d).

Chlority z alpských žil typu III mají střední obsahy Si mezi 3.08 a 3.28 *apfu* a střední poměry Fe/(Fe+Mg) mezi 0.47 a 0.53 (tab. 3). V Melkově klasifikaci padají průměrné body analýz na hranici mezi delessitem a penninem, ojediněle i do pole chamositu (obr. 3a). Chemická zonálnost agregátů není na BSE snímcích patrná.

Chlority z alpských žil typu V mají z celého souboru žilných chloritů nejvyšší obsahy Si mezi 3.34 a 3.55 *apfu* a nejnižší poměry Fe/(Fe+Mg) mezi 0.28 a 0.29 (tab. 3). V Melkově klasifikaci jde o penninu (obr. 3a).

Diskuse

Porovnání získaných výsledků s publikovanými údaji ukazuje, že chemické složení chloritů z alpských žil z Markovic kolísá ve velmi širokých mezích. V empirickém diagramu Liarda (1988) průměrné body chemismu chloritů z Markovic výrazně přesahují pole chloritů mafických hornin (obr. 3b). V porovnání se širokou variabilitou che-



Obr. 2 Variace v obsazích hlavních komponent v markovicových chloritech. a - diagram Si - Al, b - diagram Mg - Fe.

Tabulka 3 Variace vybraných parametrů chemického složení chloritů ve studovaných vzorcích a z nich vypočítaných teplot

Vzorek	Typ vzorku	n	Si (<i>apfu</i>)	Al ^{tot} (<i>apfu</i>)	Ni (<i>apfu</i>)	Fe/(Fe+Mg)	T1 (°C)	T2 (°C)
Ma-1	žíla, typ I	18	2.757 - 2.995	2.341 - 2.656	0.000 - 0.031	0.58 - 0.95	262 - 338	272 - 356
Ma-2	žíla, typ I	18	2.761 - 3.451	1.661 - 2.621	0.000 - 0.150	0.42 - 0.89	115 - 337	121 - 354
Ma-3	žíla, typ II	13	2.882 - 3.168	1.891 - 2.403	0.000 - 0.030	0.32 - 0.60	206 - 298	213 - 300
Ma-4	žíla, typ II	2	2.829 - 2.947	2.344 - 2.431	0.016 - 0.017	0.37 - 0.39	277 - 315	279 - 316
Ma-11	žíla, typ II	1	2.971	2.154	0.006	0.32	269	269
Ma-6	žíla, typ III	8	3.077 - 3.281	1.867 - 2.032	0.000 - 0.007	0.47 - 0.53	170 - 235	177 - 242
Ma-16	žíla, typ V	4	3.338 - 3.547	1.617 - 1.697	0.000 - 0.007	0.28 - 0.29	84 - 151	85 - 151
Ma-16	amfibolit	3	3.451 - 3.699	1.410 - 1.670	0.000	0.31 - 0.34	35 - 115	38 - 116
Ma-5	amfibolit	4	3.175 - 3.319	1.677 - 2.003	0.000	0.47 - 0.52	157 - 204	165 - 209
Ma-8	mramor	5	3.091 - 3.468	1.372 - 1.922	0.000	0.07 - 0.36	109 - 231	112 - 224

n - počet WDS analýz, T1 - chloritový termometr podle Cathelineau (1988), T2 - chloritový termometr podle Jowetta (1991)

mismu chloritů z Markovic ostře kontrastuje malý rozsah chemismu chloritů z alpských žil od Libodřic u Kolína (obr. 3a,b), přestože jsou obě lokality situovány ve shodném litologickém prostředí téže geologické jednotky. Nelze však vyloučit, že malá variabilita chemismu libodřických chloritů může být zapříčiněna malým množstvím analýz ($n = 6$; Šamánková 2012).

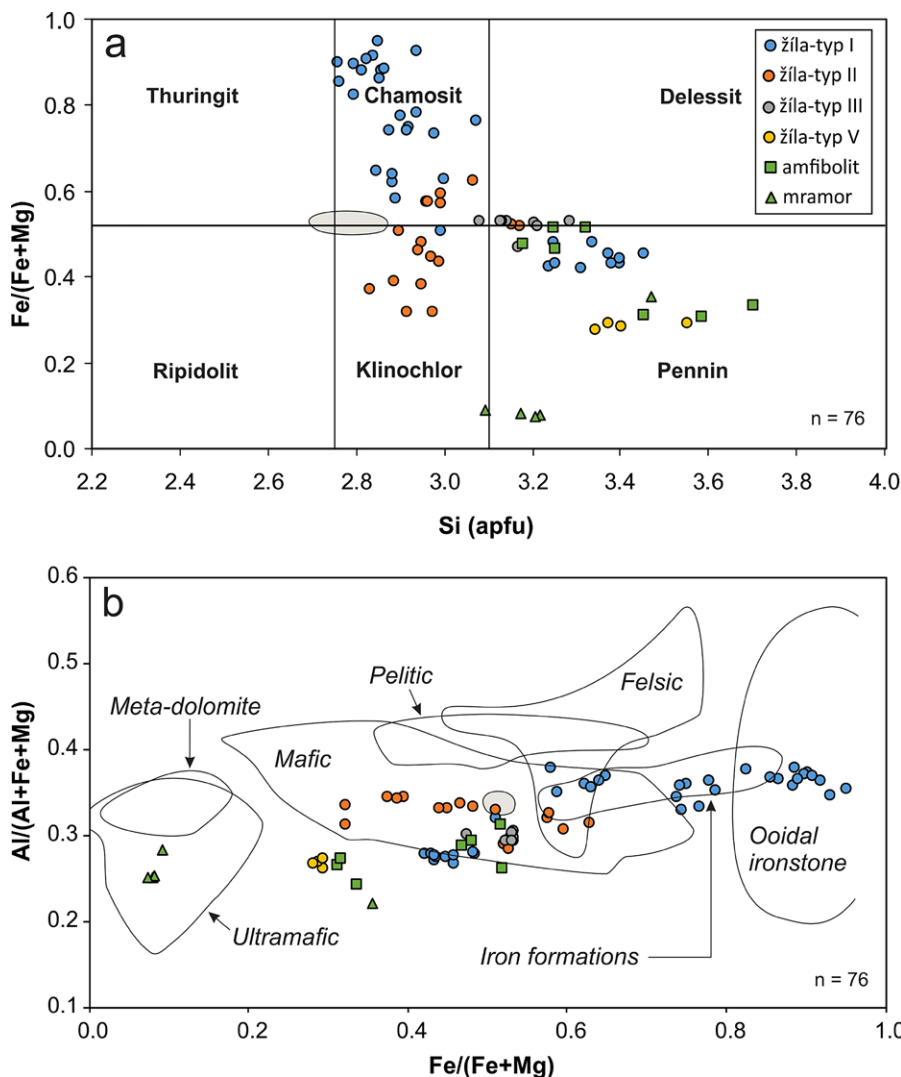
Již zběžný pohled na distribuci naměřených dat v diagramu Si vs. Fe/(Fe+Mg) na obrázku 3a ukazuje na výrazně odlišné trendy v různých vzorcích, respektive typech mineralizací. Zatímco pro chlority ze žil typu I je charakteristický trend poklesu poměru Fe/(Fe+Mg) s nárůstem hodnoty Si, u žil typu II je patrný přímo úměrný trend, kdy s rostoucí hodnotou poměru Fe/(Fe+Mg) narůstají i hodnoty Si. Pro žíly typu III a V je naznačen (vzhledem k malému množství dat) subhorizontální trend, kdy při měnění se hodnotě Si nedochází k žádným výrazným změnám v poměru Fe/(Fe+Mg). Existence diametrálně odlišných trendů v distribuci dat jasně ukazuje, že změny v chemismu chloritů nemohou být v žádném případě způsobeny proměnlivostí jen jednoho genetického faktoru (např. teploty, tlaku, fO_2 , fS_2). Naopak jsou v souladu s představou polyfázového charakteru vzniku chloritů a značné variability podmínek jejich vzniku. Chlority ze dvou studovaných vzorků amfibolitu jsou svým chemismem velmi blízké žilným chloritům v těchto vzorcích, což nasvědčuje vzniku horninových chloritů při alteracích spjatých s formováním příslušných alpských žil.

Chemické složení chloritů citlivě reaguje na změny teploty matečných fluid, čehož se využívá pro interpretaci teplot jejich krystalizace pomocí tzv. chloritové geotermometrie. Ta může být založena na obsazích tetraedrického Al (^{iv}Al); Cathelineau (1988), na obsazích ^{iv}Al a poměru Fe/(Fe+Mg) (Jowett 1991), obsahu oktaedrických vakancí (Kranidiotis, MacLean 1987), případně dalších faktorech (přehledně viz např. de Caritat et al. 1993). V této práci jsme využili dvou výše zmíněných termometrů založených na obsazích ^{iv}Al podle Cathelineau (1988) a Jowetta (1991), neboť poskytují vzájemně dobře srovnatelná data a jsou i nejčastěji používané. Rozsahy vypočítaných teplot v jednotlivých vzorcích jsou uvedeny v tabulce 3 a histogramy vypočítaných teplot jsou na obrázku 4. Relativně nejvyšší teploty byly vypočítány pro chlority z alpských žil typu I (většina hodnot se pohybuje mezi 263 a 354 °C, část hodnot je výrazně nižších, mezi 115 a 184 °C) a II (206 - 316 °C), naproti tomu pro žíly typu III a V byly vypočítány relativně nízké teploty vzniku (170 - 242 °C, resp. 84 - 151 °C). Vypočítané hodnoty teplot jsou ve velmi dobré shodě s minerálním složením žil (přítomnost vysokoteplotních fází jako je pyroxen, amfibol, epidot, živce, pyrhotin a pentlandit v mineralizacích typu I a II, převaha nízkoteplotních fází jako je kalcit a zeolity v mineralizacích typu III a V; (srov. tab. 1 a Dolníček, Ulmanová 2018b).

Kolísání teploty vzniku u chloritů ze žil typu III a V (v obou případech činí rozdíly mezi zjištěným maximem a

minimem přibližně 70 °C) nebylo doprovázeno změnou poměru Fe/(Fe+Mg) (srov. obr. 2a). Toto zjištění je v rozporu s poznatkami Jowetta (1991), který ve svém termometru tuto závislost zohledňuje. Prostorová distribuce vypočítaných teplot v jednotlivých generacích/růstových zónách zonálních chloritů ze žil typu I a II je na několika příkladech ilustrována na obr. 1. U vzorku Ma-3 (mineralizace typu II) se teplota během krystalizace podrobněji studovaného zonálního agregátu (obr. 1d) nijak dramaticky neměnila (rozdíly ve vypočítaných teplotách nepřesahují 30 °C), ale poměr Fe/(Fe+Mg) během krystalizace významně vzrostl (z 0.32 až na 0.58). Naproti tomu u vzorku Ma-2 (mineralizace typu I) během krystalizace dvou ge-

Obr. 3 Pozice analyzovaných chloritů v klasifikačním diagramu Melky (1965) (a) a v empirickém diagramu Liarida (1988) (b). Šedé pole ukazuje variabilitu chemismu chloritů z alpských žil z lomu u Libodřic (Šamánková 2012).



nerací chloritů významně vzrostl jak poměr $Fe/(Fe+Mg)$, tak i teplota vzniku (viz obr. 1a,b). Zcela rozdílné chování vzorků chloritů z různých typů žil tedy opět jasně ukazuje na vícefázovou krystalizaci tohoto minerálu během postupného otevírání žil, z fluid o odlišném chemickém složení. Významný nárůst teploty (o cca 150 °C) během krystalizace dvou generací chloritů ve vzorku Ma-2 (obr. 1a,b) nasvědčuje významné teplotní rejuvenaci během krystalizace výplně této žíly. To je zcela v souladu s dříve publikovanými poznatky Vrány et al. (2016) a Dolníčka, Ulmanové (2018a,b), kteří jak pro silikátové, tak pro sulfidické minerální asociace interpretovali významné změny fyzikálně-chemických parametrů (teplota, tlak, složení fluid) během vývoje zdejších alpských žil.

Pozoruhodné je zjištění zvýšených obsahů Ni (max. 1.82 hm. % NiO, odpovídající 0.15 apfu Ni) ve starší generaci chloritů ze vzorku Ma-2 (tab. 2), zatímco ve všech ostatních studovaných vzorcích obsahy NiO v chloritů nepřevyšují 0.38 hm. % (resp. 0.031 apfu Ni; tab. 3). Zvýšený obsah Ni v jednom vzorku může signalizovat lokální interakci fluid s výrazně bohatším zdrojem Ni, než jsou markovické amfibolity. Potenciálním Ni-bohatým zdrojem mohou být například serpentinity, jež bývají často v prostorové i genetické asociaci s ortoamfibolity. S takovou interpretací je v souladu i geochemický charakter sulfidické mineralizace některých alpských žil z lomu Markovice, obsahujících vedle obecných sulfidů i poměrně pestrá suita sulfidů Ni a Co (Dolníček, Ulmanová 2018b).

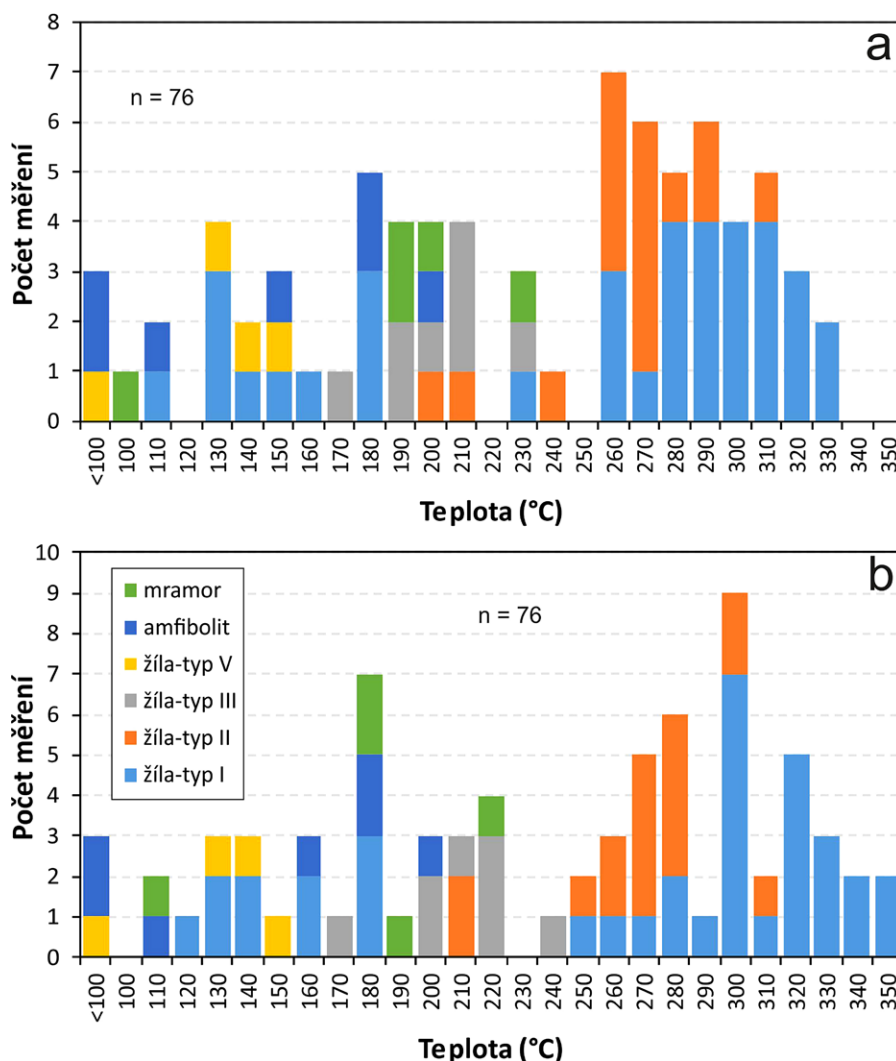
Závěr

Studium pomocí elektronové mikrosondy ukázalo značné rozdíly v chemickém složení chloritů ze čtyř parageneticky odlišných mineralizací typu alpských žil a okolních hostitelských hornin z lomu Markovice. Ve všech případech jde o trioktaedrické chlority klinochlorchamositové řady, v nichž vykazují široké variace všechny hlavní složky [2.76 - 3.70 apfu Si, 2.76 - 3.70 apfu Al, 0.37 - 4.32 apfu Fe, 0.23 - 4.64 apfu Mg, poměr $Fe/(Fe+Mg) = 0.07 - 0.95$]. Chlority z různých typů alpských žil vykazují diametrálně odlišné trendy v diagramu Si vs. $Fe/(Fe+Mg)$ a také velmi rozdílné teploty vzniku (v intervalu 84 - 354 °C), vypočítané na základě dvou chlorito-

vých termometrů založených na obsahu tetraedrického hliníku a eventuelně i poměru $Fe/(Fe+Mg)$. Vypočítané teploty však rámcově velmi dobře korelují s minerálním složením studovaných vzorků. Zjištěné skutečnosti interpretujeme ve smyslu postupné, vícefázové krystalizace chloritů, k níž docházelo během postupného otevírání žil, přičemž každá epizoda byla charakterizována jiným složením fluid i odlišnými fyzikálně-chemickými parametry nerostotvorného prostředí. Vzhledem k lokálnímu nabožení chloritů jednoho vzorku niklem (max. 0.15 apfu) nelze vyloučit, že část matečných fluid mohla interagovat i s (meta)ultrabazickými horninami. V jednom vzorku byla doložena i výrazná teplotní rejuvenace v řádu 150 °C. Získané poznatky jsou zcela v souladu s již dříve zjištěnými indiciemi značné dynamiky nerostotvorného prostředí ve smyslu opakovaných výrazných změn teploty, tlaku i složení fluid, na které bylo usuzováno ze studia silikátových i sulfidických minerálních asociací markovických žil.

Poděkování

Autoři děkují vedení lomu Markovice za laskavé umožnění odběru vzorků k výzkumu a oběma recenzentům (M. Drábek a Z. Losos) za vstřícné posouzení rukopisu. Práce na článku byly finančně podpořeny Ministerstvem kultury ČR v rámci institucionálního financování výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 - cíl DKRVO 1.II.a).



Obr. 4 Histogramy teplot krystalizace chloritů z Markovic, vypočítaných pomocí chloritového termometru podle Cathelineau (1988) (a) a Jowetta (1991) (b).

Literatura

- BAYLISS P (1975) Nomenclature of the trioctahedral chlorites. *Can Mineral* 13:178-180
- BERNARD JH (1981) Minerály alpských žil a jim podobných asociací. In: BERNARD JH, ČECH F, DÁVIDOVÁ Š, DUDEK A, FEDIUK F, HOVORKA D, KETTNER R, KODĚRA M, KOPECKÝ L, NĚMEC D, PADĚRA K, PETRÁNEK J, SEKANINA J, STANĚK J, ŠÍMOVÁ M: *Mineralogie Československa*: 405-419. Academia Praha
- BRYNDZIA LT, SCOTT SD (1987) The composition of chlorite as a function of sulfur and oxygen fugacity: An experimental study. *Am J Sci* 287: 50-76
- CATHELINÉAU M (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Miner* 23: 471-485
- DE CARITAT P, HUTCHEON I, WALSHE JL (1993) Chlorite geothermometry: A review. *Clay Clay Miner* 41: 219-239
- DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2018a) Texturně neobvyklá Cu sulfidická mineralizace a doprovodné minerály z alpské žíly od Markovic u Čáslavi. *Bull Mineral Petrolog* 26: 78-89
- DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2018b) Revize sulfidické mineralizace z alpských žil od Markovic u Čáslavi (kutnohorské krystalinikum): minerální asociace a chemické složení. *Bull Mineral Petrolog* 26: 138-148
- FÍŠERA M (2000) Alpská paragenese - klasifikace, typy a naleziště v České republice. *Bull Mineral petrol odd Nár muz (Praha)* 8: 23-40
- JOWETT EC (1991) Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. *GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting (Toronto, May 27-29, 1991), Program with Abstracts* 16: A62. Toronto
- KONTA J (1950) Příčiny různého zbarvení titanitu. *Rozpr Čs Akad věd umění* 59 (18): 1-16
- KRANIDIOTIS P, MACLEAN WH (1987) Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Econ Geol* 82:1898-1911
- KRATOCHVÍL F (1941) Poznámky k několika novým výskytům nerostů na Kutnohorsku a Táborsku. *Věda příř* 20: 183-185
- KRATOCHVÍL J (1911) Nerosty okolí čáslavského. 41. výroční zpráva klubu přírodovědeckého v Praze za r. 1910: 35-38
- KRATOCHVÍL J (1961) *Topografická mineralogie Čech IV (L-N)*. Nakladatelství ČSAV. Praha
- LIARD J (1988) Chlorites: metamorphic petrology. In: Bailey SW (ed) *Hydrous phyllosilicates*. *Rev Mineral* 19: 405-447
- MELKA K (1965) Návrh na klasifikaci chloritových minerálů. *Věst Ústř Úst geol* 40: 23-27
- MELKA K, ŠTASTNÝ M (2014) *Encyklopedický přehled jilových a příbuzných minerálů*. Academia. Praha
- NESBITT BE (1982) Metamorphic sulfide-silicate equilibria in the massive sulfide deposits at Ducktown, Tennessee. *Econ Geol* 77: 364-378
- NESBITT BE (1986) Oxide-sulfide-silicate equilibria associated with metamorphic ore deposits. Part I: Theoretical considerations. *Econ Geol* 81: 831-840
- NOVÁK F, DRÁBEK M (1964) Rozšíření sulfidického zrudnění v širším okolí Čáslavi a Kutné Hory. *Práce muz Kut Hoře* 5: 18-28
- PAULIŠ P, HEŘMÁNEK J, JEBAVÁ I, ZAHRADNÍČEK L (2011) Stilbit -Ca z amfibolitového kamenolomu Markovice u Čáslavi (Česká republika). *Bull mineral petrol odd Nár Muz (Praha)* 19: 52-55
- POUCHOU J L, PICHOR F (1985) "PAP" (φρZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: ARMSTRONG JT (ed.) *Microbeam Analysis*: 104-106. San Francisco Press, San Francisco
- RŮŽIČKA Č (1947) Lomy a nerosty čáslavského okolí. *Podoubraví* 15: 70-74.
- RYCHLÝ R (1982) Revize zeolitů z Markovic u Čáslavi. *Čas mineral geol* 27: 315-316
- ŠAMÁNKOVÁ M (2012) *Mineralogické studium alpské paragenese z lomu u Libodřic*. MS, dipl. práce, ÚGV PŘF MU Brno
- TESAŘ P (2010a) Zpráva o nálezu natrolitu z lomu Markovice. *Minerál* 18: 230-232
- TESAŘ P (2010b) Karbonáty v lomu Markovice. *Minerál* 18: 233-238
- TESAŘ P (2010c) Granáty v lomu Markovice. *Minerál* 18: 525-527
- VRÁNA S, JANOUŠEK V, LACIOK A, HALODOVÁ P, ŽÁK L (2016) Metamorfnní reakce epidotu v žilách alpského typu na granát-anortitové symplektity: Markovice, kutnohorské krystalinikum. *Bull mineral petrol odd Nár Muz (Praha)* 24: 224-229
- 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