

# Mineralogická charakteristika křemenné žíly se scheelitem a alpské žíly s prehnitem z lomu v Plaňanech u Kolína (kutnohorské krystalinikum)

## Mineralogy of scheelite-bearing quartz vein and prehnite-bearing Alpine-type vein from the quarry Plaňany near Kolín (Kutná Hora Crystalline Complex)

ZDENĚK DOLNÍČEK\* A JANA ULMANOVÁ

*Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9;  
\*e-mail: zdenek.dolnicek@nm.cz*

DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2020) Mineralogická charakteristika křemenné žíly se scheelitem a alpské žíly s prehnitem z lomu v Plaňanech u Kolína (kutnohorské krystalinikum). Bull Mineral Petrolog 28(1): 74-85 ISSN 2570-7337

### Abstract

Two new types of hydrothermal veins were found in the quarry at Plaňany. Both mineralizations are hosted by a lenticular body of amphibolites embedded in migmatites and gneisses of the Kutná Hora Crystalline Complex. The first type of mineralization is represented by subvertical scheelite-bearing quartz vein, which strikes WNW-ESE, perpendicularly to foliation planes of host rocks. In addition to quartz, the vein also contains a small amount of sulphides (especially chalcopyrite and molybdenite, less pyrite and sphalerite, rarely pyrrhotite and argentopentlandite), calcite, silicates [zoned amphibole (with compositions ranging from magnesiohornblende to actinolite), chlorite (clinocllore), plagioclase (andesine to albite) and prehnite] and scheelite, which forms up to 3 cm big nests in quartz. We cannot exclude the possibility that magnesiohornblende cores of amphibole crystals as well as andesine cores of plagioclases represent relics of host rock. Second type of mineralization is vein with prevailing prehnite, which is oblique to foliation of host amphibolites. Besides prehnite, it contains adularia, calcite and actinolitic amphibole. Both studied mineralizations represent retrograde-metamorphic mobilisates similar to the Alpine-type veins. Chlorite thermometry suggests that chlorite from scheelite-bearing quartz vein originated at temperatures between 253 and 298 °C. The source of Mo and W necessary for formation of molybdenite and scheelite is not clear, but one cannot exclude that these elements were transported by parent fluids from felsic rocks outside of the host amphibolite body.

**Key words:** *Alpine-type veins, scheelite, prehnite, molybdenite, amphibolites, Kutná Hora Crystalline Complex, Bohemian Massif*

Obdrženo 18. 3. 2020; přijato 11. 5. 2020

### Úvod

Činný lom v Plaňanech (12 km zsz. od Kolína) je známou mineralogickou lokalitou především díky výskytu alpské mineralizace, která zde vyplňuje pukliny v migmatitech, rulách i amfibolitech. Lázníčka (1958) z ní popisuje křemen, kalcit, chlorit, rutil, titanit, epidot, fluorit, aktinolit a adulár. Paděra (1961) uvádí z puklin v rulách anatas, křišťál, živec, chlorit, siderit a fluorit. Rovněž z rul byl Paulišem a Moravcem (1997) popsán analcim a Fišerou (2000b) minerální asociace ilmenit, turmalín, křišťál, kalcit, chlorit a pyrit. Na puklinách migmatitu zjistili Fišera a Sejkora (2003) jehličkovitý natrolit. Z puklin v amfibolitu uvádějí Jakeš a Dadák (1962) axinit, K-živec, epidot a pyrit.

Vedle žil alpského typu jsou v plaňanském lomu i nepřilíš hojně pegmatitové žíly, z nichž byl dosud popsán křemen, muskovit, biotit, granát, turmalín, draselný živec a vzácně také beryl a apatit (Fišera, Moravcová 1979; Dryák 1998). Na puklině pegmatitu byl také zjištěn Kadlecem (2015) pyrit, blíže neurčený karbonát (kalcit? či siderit?) a molybdenit.

Nově byly při návštěvě lomu nalezeny autory této práce dva dosud nepopsané typy hydrotermální mineralizace. Jejich bližší mineralogická charakteristika je předmětem následujících řádků. Dokladové vzorky nalezených zajímavějších minerálů byly uloženy do mineralogických sbírek Národního muzea v Praze.

### Geologická pozice

Šestietážový plaňanský lom je založen v horninách sz. části kutnohorského krystalinika a jeho sedimentárního pokryvu (obr. 1). Krystalinikum v okolí Plaňan je některými autory vyčleňováno jako samostatná dílčí jednotka v rámci kutnohorského krystalinika (plaňanská jednotka), která představuje litologicky pestrý horninový komplex charakterizovaný intenzivní deformací a silným metamorfickým přetiskem provázeným anatexí (Fišera 1977; Synek, Oliveriová 1993). V nadloží kutnohorského krystalinika jsou odkryty sedimenty české křídové tabule (cenoman - spodní turon) o mocnosti cca 2.3 - 4.5 m s četnými nálezy zkamenělin, jež tvoří z plaňanského lomu rovněž zajímavou paleontologickou lokalitu. V nejsvrchnější části

lomu je odkryta vrstva spraše o mocnosti až 2.5 m (Fišera 1977, 1981).

Velkou měrou jsou na území plaňanského lomu zastoupeny sillimanit-biotitické migmatity s granátem a porfyrblasty muskovitu, které často uzavírají čočky erlanů a reliktů biotitických a granát-biotitických pararul často lemující i erlanové čočky. Čočkovitou polohu tvoří v lomu pyroxen-biotit-amfibolické migmatity, jež obsahují kry různých typů amfibolitů (biotitické, granátické, s titanitem a s pyroxenem), polohu leukokratiní biotitické ruly a xenolity pyroxenitů a serpentinitů (Fišera 1981; Owen et al. 2007). Metamorfní sekvence je protnuta až 0.5 m mocnými pravými žilami usměrněného biotitického granodioritového porfyritu (Fišera 1979, 1981) a místy i pravými či ložními žilami texturně poměrně jednoduchých granitických pegmatitů o mocnostech nepřesahujících 1 m (Fišera 1981).

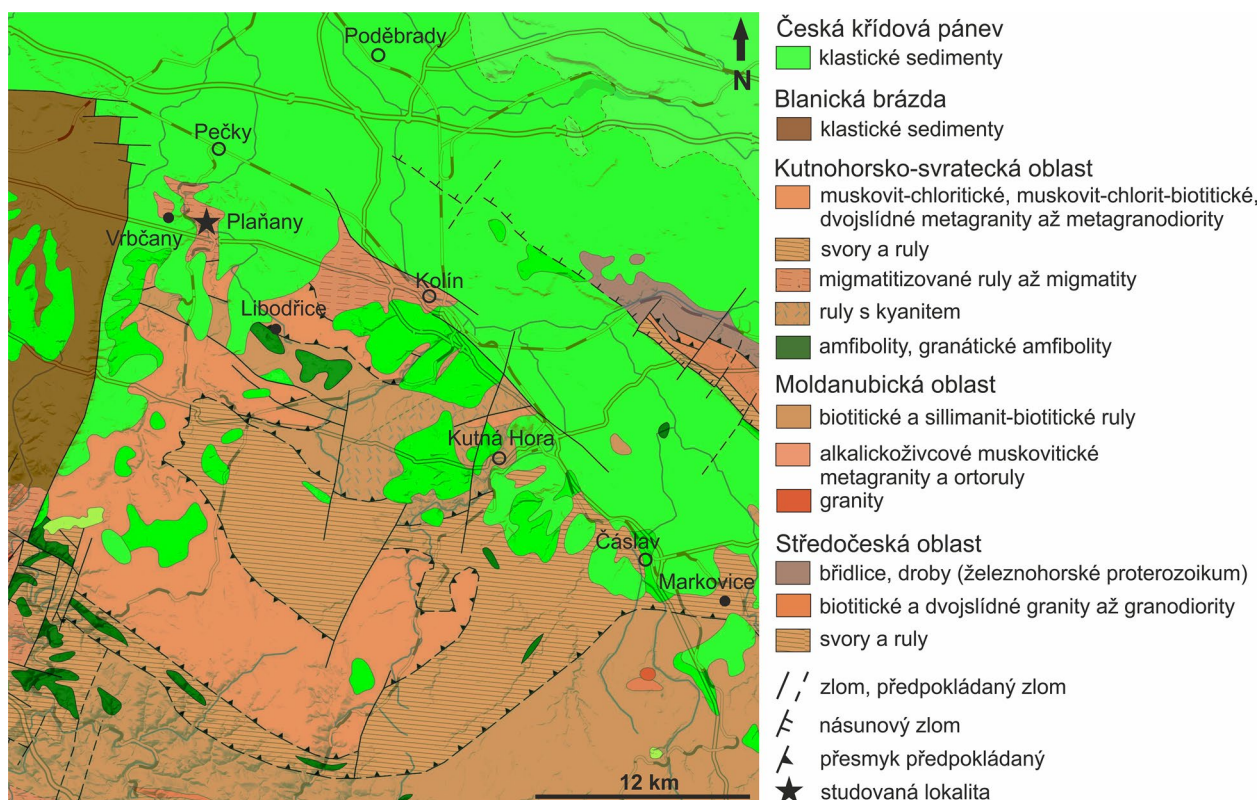
Geotermobarometrické podmínky metamorfózy nebyly přímo v plaňanském komplexu dosud moderně zkoumány. Metamorfní historie byla však řešena v jiných částech kutnohorského krystalinika. V malínské jednotce byly pískové podmínky metamorfózy stanoveny Vránou et al. (2009) pro obdobné typy hornin, jaké se vyskytují i v plaňanské jednotce: leukokratiní ruly ( $T = 550 - 650$  °C,  $P = 0.75 - 1.3$  GPa) a leukosom migmatitu ( $T = 750 - 850$  °C,  $P = 1.4 - 1.7$  GPa).

### Materiál a metodika

Všechny studované vzorky byly odebrány autory předložené studie hlavně z rozvalu na páté etáži lomu. *In situ* v lomové stěně byl v době odběru vzorků zachycen pouze relikt křemenné žíly se scheelitem. Makrofotografie vzorků byly zhotoveny pomocí fotoaparátu Nikon. Z odebraných 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 vybaveném digitální kamerou Nikon DXM1200F.

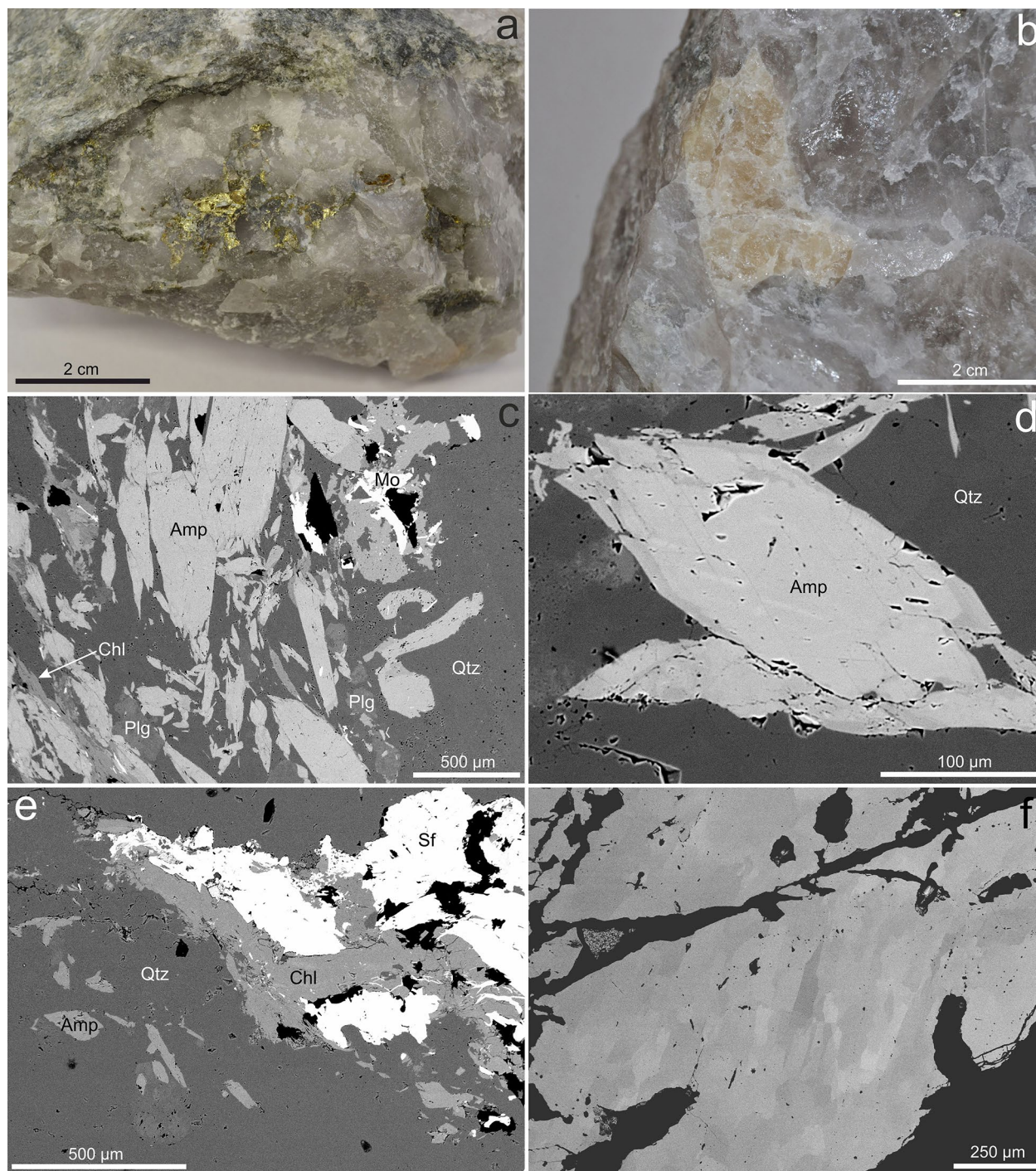
Následně byly nábrusy vakuově napařeny uhlíkovou vrstvou o tloušťce 30 nm a studovány na elektronové mikroskopě Cameca SX-100 (Národní muzeum, Praha). Na přístroji byly pořízeny snímky ve zpětně odražených elektronech (BSE), provedena identifikace jednotlivých fází pomocí energiově disperzních (EDS) spekter a kvantitativně měřeno chemické složení vybraných fází ve vlnově disperzním (WDS) modu. Při kvantitativních analýzách kyslíkatých minerálů byly použity následující podmínky: urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 10 nA a průměr elektronového svazku 2  $\mu\text{m}$ . V živicích byly měřeny obsahy Al, Ba, Ca, Cs, Cu, F, Fe, Mg, Mn, N, K, Na, P, Pb, Rb, Si, Sr a Zn, v chloritech 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, v amfibolech obsahy Al, Ba, Ca, Cl, Cr, Cu, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, P, Si, Sr, Ti, V, Zn a Zr a v scheelitu obsahy Al, As, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn, Mo, Nb, P, Pb, S, Sc, Si, Sn, Ta, Ti, U, V, W, Y a Zr. Při analýzách byly použity následující standardy a analytické čáry: albit (NaK $\alpha$ ), almandin (AlK $\alpha$ , FeK $\alpha$ ), apatit (PK $\alpha$ ), baryt (BaL $\alpha$ ), BN (NK $\alpha$ ), celestin (SrL $\beta$ ), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CrK $\alpha$ ), CrTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> (TaL $\alpha$ ), Cs-sklo (CsL $\alpha$ ), diopsid (MgK $\alpha$ ), halit (ClK $\alpha$ ), chalkopyrit (CuK $\alpha$ ), klinoklas (AsL $\beta$ ), LiF (FK $\alpha$ ), Nb-plech (NbL $\alpha$ ), Ni (NiK $\alpha$ ), Rb-Ge-sklo (RbL $\alpha$ ), rodonit (MnK $\alpha$ ), sanidin (KK $\alpha$ , SiK $\alpha$ , AlK $\alpha$ ), scheelit (WL $\alpha$ ), ScVO<sub>4</sub> (ScK $\alpha$ ), Sn (SnL $\alpha$ ), TiO<sub>2</sub> (TiK $\alpha$ ), UO<sub>2</sub> (UM $\alpha$ ), V (VK $\alpha$ ), vanadinit (PbM $\alpha$ ), wollastonit (CaK $\alpha$ , SiK $\alpha$ ), wulfenit (MoL $\alpha$ ), YVO<sub>4</sub> (YL $\alpha$ ), zinkit (ZnK $\alpha$ ), zirkon (ZrL $\alpha$ ). Při bodových analýzách sulfidů bylo použito urychlovací napětí 25 kV, proud svazku 20



Obr. 1 Geologická pozice studované lokality. Mapa upravena z práce Dolníčka, Ulmanové (2019b).

nA a průměr elektronového svazku 1  $\mu\text{m}$ . Měřeny byly obsahy Ag, As, Au, Bi, Cd, Cl, Co, Cu, Fe, Ga, Ge, Hg, In, Mn, Ni, Pb, S, Sb, Se, Sn, Te a Zn. Použité standardy a analytické čáry: Ag (AgLa), Au (AuMa),  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  (BiM $\beta$ ), CdTe (CdLa), Co (CoKa),  $\text{CuFeS}_2$  (CuKa, SK $\alpha$ ),  $\text{FeS}_2$  (FeKa), GaAs (GaLa), Ge (GeLa), HgTe (HgLa), InAs (InLa), Mn (MnKa), NaCl (ClKa), NiAs (AsL $\beta$ ), Ni (NiKa), PbS (PbMa), PbSe (SeL $\beta$ ), PbTe (TeLa),  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  (SbLa),

Sn (SnLa) a ZnS (ZnKa). Měřící časy na píku se pohybovaly obvykle mezi 10 a 30 s (pro dusík 120 s), měřící 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 uvedených prvků, které nejsou uvedeny v tabulkách, byly ve všech případech pod mezí stanovitelnosti.



**Obr. 2** Minerální asociace a vývin minerálů ze studované křemenné žíly se scheelitem. a - hnízdo sulfidů (chalkopyrit a pyrit) v křemenu, v horní části snímku je již zachycena okolní hornina. b - hnízdo scheelitu v křemenu. c - krystaly amfibolu (Amp), šupiny chloritu (Chl) a izometrická zrna plagioklasu (Plg) v zelené silikátové smouze v žilném křemenu (Qtz), BSE obraz. Mo - molybdenit. d - růstová zonálnost amfibolu, BSE obraz. e - bohatší agregát chloritu v asociaci se sulfidy (Sf; hlavně chalkopyrit, méně pyrit a molybdenit). BSE obraz. f - skvrnitá zonálnost scheelitu v BSE obraze. Makrofoto J. Ulmanová, BSE snímky Z. Dolníček.

## Charakteristika zjištěné mineralizace

### Křemenná žíla se scheelitem

Výskyt křemenné žíly s obsahem scheelitu byl zaznamenán v jihozápadním rohu páté etáže. Většina mineralogicky zajímavějších vzorků byla nalezena volně v sutí, daná mineralizace ve skromnější mocnosti (max. 2 cm) a vývoji (křemen+silikáty+sulfidy) však byla zjištěna i *in situ* v přilehlé lomové stěně. Žíla zastížená ve stěně má směr ZSZ - VJV se sklonem 85° k SSV, což je průběh kolmý k foliaci okolních amfibolitů (směr SSV - JJZ se sklonem 55° k ZSZ). Na kontaktu žiloviny a okolní horniny bylo zjištěno subhorizontální rýhování. Ze všech nalezených vzorků lze usuzovat, že žíla má proměnlivou mocnost (úločky žiloviny dosahují maximální mocnosti až 20 cm). Makroskopicky je tvořena zejména celistvým šedým křemenem, v němž se místy vyskytují drobné, silně protažené smouhy, tvořené sulfidy a zelenými silikáty. Sulfidy v žilovině místy tvoří i samostatná hnízda nezávisle na silikátech (obr. 2a). Ojedinele byla v křemeni zjištěna i drobná hnízda tvořená scheelitem (obr. 2b).

**Křemen** je v žíle zcela převažující složkou. Makroskopicky má šedou barvu, někdy s bělavým zakalením, způsobeným s okrajem žíly subparalelně uspořádanými

polohami bohatými na fluidní inkluze. Křemenná výplň je zcela bez dutin. Při okrajích žíly bývají v křemeni tenké (obvykle kolem 1 - 2 mm mocné) smouhy tvořené zelenými silikáty, které jsou svým protažením uspořádány také rovnoběžně s okrajem žíly. Na silikátové smouhy bývají vázány i výskyty sulfidů (hlavně molybdenitu a chalkopyritu), méně často jsou v křemeni přítomna i hnízda tvořená jen sulfidy (s převahou chalkopyritu a jen akcesorickým molybdenitem). Ve střední části křemenné výplně žíly byly zaznamenány i výskyty scheelitu.

**Amfibol** je hlavní složkou zeleně zbarvených silikátových smouh. Vytváří drobné jehlice trávově zelené barvy o délce až 1 mm. V nábruse jsou patrné jak hypautomorfně omezené, dlouze prizmatické fezy paralelní s protažením krystalů, tak i izometrické, často automorfně omezené příčné průřezy typického tvaru, o velikosti až 0.8 mm (obr. 2c-e). V obraze BSE bývá patrná jednoduchá růstová zonálnost. Objemově dominantní chemicky nezonální, v BSE obraze poněkud světlejší jádro krystalu bývá lemováno v BSE obraze poněkud tmavší okrajovou růstovou zónou (obr. 2d). Mikrosondové analýzy (tab. 1) ukázaly příslušnost k podskupině vápenatých amfibolů. Při přepočtu empirického vzorce na bázi 23 kyslíků se obsahy Si pohybují mezi 7.41 a 7.71 *apfu*, Al 0.33 - 0.72

**Tabulka 1** Příklady chemického složení amfibolu (*Amp*) a chloritu (*Chl*) ze studovaných mineralizací. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na základ 23 atomů kyslíku a 13 kationtů eCNK (amfibol), resp. 14 atomů kyslíku (chlorit). Sch - křemenná žíla se scheelitem, Prh - alpská žíla s prehnitem, F/FM –  $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg^{2+})$ .

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Amp	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl
Mineralizace	Sch	Sch	Sch	Sch	Sch	Prh	Prh	Prh	Prh	Sch	Sch	Sch	Sch	Sch
SiO <sub>2</sub>	54.06	52.78	53.53	53.44	53.40	54.48	54.71	54.16	53.37	30.45	29.84	30.33	29.57	29.77
TiO <sub>2</sub>	0.11	0.21	0.07	0.12	0.05	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.28	3.33	2.63	3.62	2.93	0.91	0.43	2.12	1.19	19.48	16.53	19.95	20.21	17.17
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.05	0	0.06	0	0	0.09	0	0.06	0	0.07	0.07	0.08	0.12
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.14	0.06	0.46	0.21	0	0.05	0	0	0	0.56	0.59	0.22	0.29	1.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>calc</sup>	2.58	4.83	0.91		6.49			1.08	1.04					
MgO	18.24	18.12	17.53	16.18	21.14	16.22	13.08	16.88	13.45	21.93	23.91	23.09	24.03	22.61
MnO	0.2	0.22	0.17	0.21	0.16	0.19	0.49	0.26	0.45	0.15	0.20	0.17	0.12	0.15
NiO	0	0.08	0.11	0	0	0	0	0	0	0.12	0.14	0.13	0.14	0
FeO <sup>calc</sup>	6.31	4.74	7.60	8.68	0.00	10.46	15.75	10.09	14.94	14.7	14.69	14.76	14.42	14.62
CaO	12.91	12.78	12.76	12.91	13.17	13.06	13.04	13.08	12.69	0	0	0	0	0.12
Na <sub>2</sub> O	0.32	0	0.22	0	0	0.23	0	0.38	0	0	0	0	0	0
K <sub>2</sub> O	0.14	0.28	0.13	0.18	0.03	0	0	0.04	0.03	0	0	0	0	0
F	0.08	0.13	0.13	0.11	0.10	0.17	0.16	0.09	0.17	0	0	0	0	0
Celkem	98.44	97.61	96.25	95.72	97.46	95.82	97.75	98.18	97.39	87.39	85.97	88.72	88.84	85.68
Si <sup>4+</sup>	7.572	7.471	7.678	7.710	7.437	7.929	7.997	7.712	7.837	3.012	3.022	2.961	2.883	3.016
Ti <sup>4+</sup>	0.012	0.022	0.008	0.013	0.005	0.005	0	0	0	0	0	0	0	0
Al <sup>3+</sup>	0.542	0.556	0.445	0.616	0.481	0.156	0.074	0.356	0.206	2.271	1.973	2.295	2.323	2.050
V <sup>3+</sup>	0.008	0.006	0	0.007	0	0	0.011	0	0.007	0	0.006	0.005	0.006	0.010
Cr <sup>3+</sup>	0.023	0.010	0.078	0.036	0	0.009	0	0	0	0.065	0.070	0.025	0.033	0.134
Fe <sup>3+</sup>	0.272	0.515	0.098	0	0.680	0	0	0.116	0.115	0	0	0	0	0
Mg <sup>2+</sup>	3.809	3.824	3.748	3.480	4.388	3.519	2.850	3.583	2.944	3.234	3.610	3.360	3.493	3.414
Mn <sup>2+</sup>	0.024	0.026	0.021	0.026	0.018	0.023	0.061	0.031	0.056	0.013	0.017	0.014	0.010	0.013
Ni <sup>2+</sup>	0	0.009	0.013	0	0	0	0	0	0	0.010	0.011	0.010	0.011	0
Fe <sup>2+</sup>	0.739	0.562	0.912	1.047	0.000	1.273	1.925	1.201	1.835	1.216	1.244	1.205	1.176	1.239
Ca <sup>2+</sup>	1.938	1.938	1.961	1.996	1.965	2.037	2.042	1.996	1.997	0	0	0	0	0.013
Na <sup>+</sup>	0.087	0	0.061	0	0	0.065	0	0.105	0	0	0	0	0	0
K <sup>+</sup>	0.025	0.051	0.024	0.033	0.005	0	0	0.007	0.006	0	0	0	0	0
F <sup>-</sup>	0.035	0.058	0.059	0.050	0.043	0.078	0.074	0.041	0.079	0	0	0	0	0
Catsum	15.050	14.989	15.046	14.964	14.980	15.016	14.960	15.108	15.002	9.820	9.953	9.876	9.935	9.888
F/FM	0.16	0.13	0.20	0.23	0.00	0.27	0.40	0.25	0.38	0.27	0.26	0.26	0.25	0.27

*apfu*, Ti max. 0.03 *apfu*, Mg 3.31 - 4.39 *apfu*, Fe<sup>2+</sup> 0.00 - 1.12 *apfu*, Fe<sup>3+</sup> max. 0.68 *apfu*, Ca 1.85 - 2.01 *apfu*, Mg<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>) = 0.76 - 1.00, Na+K = max. 0.13 *apfu*. V klasifikačním schématu Leakeho et al. (1997) jde tedy většinou o aktinolit, méně i o magneziohornblend, a v případě jedné analýzy i o tremolit (obr. 3a). V BSE obraze světlejší jádra krystalů patří magneziohornblendu až aktinolitu, okrajové zóny pak výhradně aktinolitu.

**Chlorit** je po amfibolu a plagioklasu třetí nejčastější složkou silikátových smouh. Vyskytuje se podobně jako plagioklas ve vedlejších množstvích. Jednotlivé hypauto-morfne omezené šupiny chloritu o velikosti až 0.7 mm vyplňují spolu s křemenem a plagioklasem mezery mezi krystaly amfibolu (obr. 2c). V některých případech je amfibol chloritem i zřetelně zatlačován. Ojedinele jsou přítomny i masivnější shluky chloritu (obr. 2e). V obraze BSE jsou chloritové tabulky a agregáty zpravidla kompozičně homogenní (obr. 2c,e). Homogenitu chemického složení chloritu ukázaly i bodové WDS analýzy (tab. 1). Jde o trioktaedrické Mg-Fe-Al chlority klinochlor-chamositové řady (Bayliss 1975; Wiewióra, Weiss 1990). Při přepočtu empirického vzorce na bázi 14 atomů kyslíku se pohy-

bují obsahy Si mezi 2.98 a 3.02 *apfu*, obsahy celkového Al mezi 1.97 a 2.32 *apfu*, z čehož <sup>VI</sup>Al zaujímá mezi 0.98 a 1.12 *apfu*, dále obsahy Fe se pohybují mezi 1.18 a 1.24 *apfu*, obsahy Mg mezi 3.23 a 3.67 *apfu* a poměr Fe/(Fe+Mg) kolísá mezi 0.25 a 0.28 (tab. 1). V malém množství jsou v analyzovaných chloritech ještě přítomny Mn (0.010 - 0.017 *apfu*), Cr (0.011 - 0.134 *apfu*), většinou i V (max. 0.010 *apfu*), Ni (max. 0.012 *apfu*) a někdy i Ca (max. 0.013 *apfu*). V diagramu Melky (1965) padají průměrné body všech získaných analýz do pole klinochloru (obr. 3b).

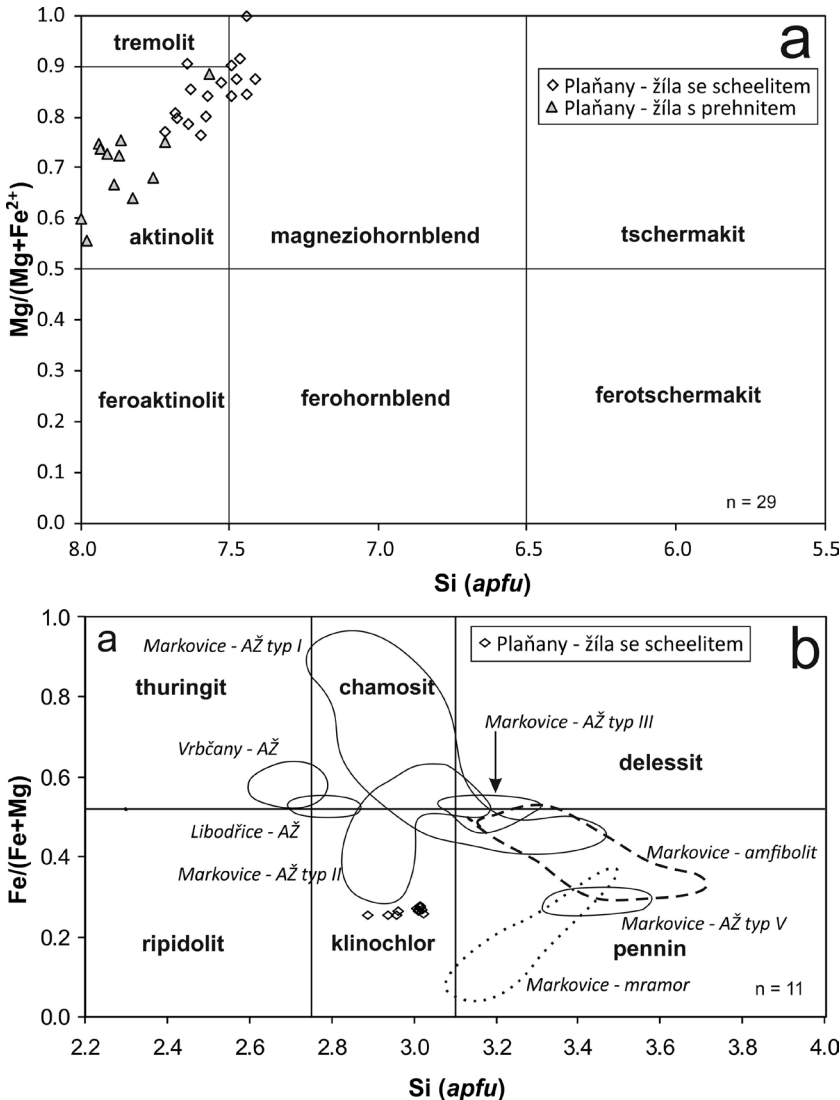
**Plagioklas** je vedlejší složkou zelených silikátových smouh v křemeni. Je přítomen v podobě okrouhlých xenomorfne omezených individuí o velikosti do 200 μm, obvykle izolovaně rozptýlených v amfibol-chlorit-křemenné matici (obr. 2c). V BSE obraze vykazují plagioklasy obvykle skvritou zonalitu, přičemž světlejší domény bývají nakoncentrovány ve středních částech zrn. Méně často bylo pozorováno i žilkovité pronikání tmavšího (v obraze BSE) živce světlejšími jádry. Analýzy na mikrosondě (tab. 2) ukázaly, že světlejší partie v obraze BSE patří andezínu (An<sub>32.3-33.7</sub>Or<sub>0.6-0.8</sub>), zatímco tmavší partie jsou tvořeny

albitem (An<sub>2.6-5.9</sub>Or<sub>0.3-3.0</sub>). Z dalších příměsí byly u většiny analýz zaznamenány jen slabě zvýšené obsahy Fe (max. 0.005 *apfu* Fe).

**Prehnit** byl zaznamenán pouze v jednom vzorku v podobě krátké neprůběžné žilky, směrně protínající zelenou smouhu tvořenou silikáty a sulfidy. Tři bodové WDS analýzy (tab. 2) ukázaly vedle Ca, Si a Al i zvýšené obsahy Fe (0.02 - 0.32 *apfu*) a F (0.026 - 0.039 *apfu*).

**Scheelit** vytváří ojedinelá izometrická hnízda o maximální velikosti až 3 cm, která jsou situována v oblasti kolem středu studované křemenné žíly. Byl nalezen pouze v nejmocnějších partiích žíly. Scheelit je makroskopicky světle slámově žlutý, s nezřetelnou štěpností a mastným leskem (obr. 2b). Bývá hojně rozpráskán hustou sítí vlasových trhlinek (zčásti vyplněných kalcitem; obr. 4a); nerozpráskaná větší zrnka scheelitu bývají i průsvitná. V krátkovlnném UV záření vykazuje intenzivní bílomodrou fluorescenci. V BSE obraze je scheelit slabě zonální (obr. 2f), nepravidelně omezené domény s různou odrazností elektronů však vykazují jen nepatrné rozdíly v chemickém složení. Značnou homogenitu chemického složení ukázaly i provedené WDS analýzy (tab. 3), v nichž byly vedle Ca a W zjištěny jen zcela nepatrně zvýšené obsahy Mo (max. 0.002 *apfu*), Si (max. 0.007 *apfu*) a S (max. 0.002 *apfu*).

**Kalcit** představuje v dané paragenezi nejmladší minerální fázi, která v podobě vlasových žilek proniká scheelitem (obr. 4a), křemenem a agregáty sulfidů. V BSE obraze je nezonální. Orientační WDS analýzy



**Obr. 3** Klasifikace analyzovaných silikátových fází. a - amfiboly v diagramu Leake et al. (1997); b - chlority v klasifikačním diagramu Melky (1965). Pro porovnání je ilustrována variabilita chemismu chloritů z hornin a alpských žil (AŽ) kutnohorského krystalinika. Srovnávací data jsou převzata z prací Šamánkové (2012) a Dolníčka, Ulmanové (2019a,b).

**Tabulka 2** Příklady chemického složení plagioklasu (Plg), K-živce (Kfs) a prehnitu (Prh) ze studovaných mineralizací. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na základ osmi (živce), respektive 11 atomů kyslíku (prehnit). Sch - křemenná žíla se scheelitem, Prh - alpská žíla s prehnitem.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Plg	Plg	Plg	Plg	Kfs	Kfs	Prh	Prh	Prh	Prh	Prh	Prh	Prh	Prh
Mineralizace	Sch	Sch	Sch	Sch	Prh	Prh	Sch	Sch	Sch	Prh	Prh	Prh	Prh	Prh
SiO <sub>2</sub>	68.91	68.80	61.88	60.56	63.97	64.33	43.77	42.83	44.42	43.96	44.22	44.09	43.61	44.64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.48	19.60	23.68	24.11	17.91	17.99	23.78	20.25	24.04	24.51	24.89	23.75	24.52	24.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.09	0.09	0	0	0	0.60	6.00	0.39	0.51	0.42	0.98	0.38	0.31
CaO	0.56	1.25	6.86	7.06	0	0	27.41	26.50	27.37	27.33	27.24	26.97	27.36	27.64
Na <sub>2</sub> O	11.69	10.76	7.85	7.60	0.14	0.10	0	0	0	0	0	0	0	0
K <sub>2</sub> O	0.06	0.54	0.14	0.10	16.47	16.58	0	0	0	0	0	0	0	0
F							0.18	0.17	0.12	0.20	0.18	0.08	0.05	0.11
Celkem	100.70	101.04	100.50	99.43	98.49	99.00	95.74	95.76	96.34	96.51	96.95	95.87	95.92	97.26
Si <sup>4+</sup>	2.992	2.984	2.739	2.710	3.006	3.007	3.016	3.008	3.033	3.001	3.001	3.028	2.992	3.019
Al <sup>3+</sup>	0.997	1.002	1.235	1.272	0.992	0.991	1.932	1.677	1.935	1.973	1.990	1.923	1.983	1.957
Fe <sup>3+</sup>	0	0.003	0.003	0	0	0	0.031	0.317	0.020	0.026	0.022	0.051	0.020	0.016
Ca <sup>2+</sup>	0.026	0.058	0.325	0.339	0	0	2.024	1.994	2.002	1.999	1.981	1.985	2.012	2.003
Na <sup>+</sup>	0.984	0.905	0.674	0.66	0.013	0.009	0	0	0	0	0	0	0	0
K <sup>+</sup>	0.003	0.030	0.008	0.006	0.987	0.989	0	0	0	0	0	0	0	0
F <sup>-</sup>							0.039	0.038	0.026	0.043	0.039	0.017	0.011	0.024
Catsum	5.003	4.982	4.984	4.986	4.998	4.996	7.003	6.995	6.990	6.999	6.993	6.986	7.006	6.995

nejzjistily přítomnost žádných příměsí v koncentracích nad detekčním limitem.

**Chalkopyrit** je v dané mineralizaci nejhojnějším sulfidem. Vytváří izometrická zrna nebo masivní agregáty až centimetrové velikosti, které se vyznačují zlatožlutou barvou (obr. 2a). Často je spolu s molybdenitem součástí minerální asociace zelených silikátových smouh při okraji křemenné žíly (obr. 4b), nebo je také přítomen v samostatných agregátech vtroušených i ve středové části žíly. V odraženém světle je sytě žlutý, anizotropie ani dvojčatění nejsou patrné (obr. 4b,c,f). Zrna chalkopyritu mají obvykle izometrický tvar a xenomorfní omezení. Chemické složení je velmi jednoduché, orientační WDS analýzy zjistily jen Cu, Fe a S v odpovídajícím poměru (tab. 4).

**Pyrit** se vyskytuje v menším množství než chalkopyrit. Bývá uzavřený v chalkopyritu a ojedinele sám uzavírá pyrotin (obr. 4c). V některých případech má tendenci k automorfnímu vývinu, jindy je omezen xenomorfně. Jeho individua dosahují velikosti maximálně 0.7 mm. V odraženém světle je krémový, opticky izotropní. V BSE obraze někdy vykazuje nepravidelnou skvrnitou zonálnost (obr. 4d), přičemž světlejší domény se vyznačují mírně zvýšenými obsahy Cu (max. 0.94 hm. %) a/nebo Ni (až 0.46 hm. %). Z dalších příměsí se vyskytuje olovo (max. 0.2 hm. % Pb; tab. 4).

**Pyrotin** je velmi vzácný, byl zjištěn jen jedenkrát, v podobě izometrického reliktu o velikosti ~100 μm, uzavřeného v pyritu (obr. 4c). V odraženém světle je hnědavý, se slabým dvojdrazem a zřetelněji patrnou anizotropií při pozorování v režimu zkřížených nikolů. V BSE obraze je kompozičně homogenní. WDS analýzy (tab. 5) ukázaly zvýšený obsah Ni (0.45 - 0.49 hm. %) a deficit obsahu kovů vůči síře v rozmezí 0.132 - 0.139 apfu. Zjištěný obsah kovů mezi 46.3 a 46.5 at. % odpovídá monoklinickému pyrotinu (Kaneda et al. 1986).

Fáze blízká **argentopentlanditu** byla zjištěna také pouze jedenkrát, v podobě drobného nárůstu na chalkopyritu. Protážený agregát měl velikost asi 80 × 15 μm (obr. 4e). WDS analýzy (tab. 5) ukázaly vedle Ag, Ni, Fe a S také malou příměs kobaltu (0.06 - 0.13 apfu), mědi

**Tabulka 3** Chemické složení scheelitu z křemenné žíly se scheelitem. Obsahy oxidů v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na základ čtyř atomů kyslíku.

An. č.	1	2	3	4	5	6
WO <sub>3</sub>	80.03	81.14	80.53	81.10	81.14	80.85
MoO <sub>3</sub>	0.12	0.11	0.12	0	0	0
SO <sub>3</sub>	0.09	0.07	0.05	0	0	0
SiO <sub>2</sub>	0.08	0	0	0.15	0	0.08
CaO	19.51	19.58	19.57	19.64	19.49	19.69
Celkem	99.83	100.90	100.27	100.89	100.63	100.62
W <sup>6+</sup>	0.992	0.997	0.996	0.996	1.002	0.996
Mo <sup>6+</sup>	0.002	0.002	0.002	0	0	0
S <sup>6+</sup>	0.003	0.002	0.002	0	0	0
Si <sup>4+</sup>	0.004	0	0	0.007	0	0.004
Subtot.	1.001	1.002	1.000	1.003	1.002	1.000
Ca	1.000	0.995	1.000	0.997	0.995	1.003

(0.04 - 0.38 apfu) a ve většině případů i olova (kolem 0.005 apfu). Fáze je mírně nestechiometrická, všechny naměřené analýzy vykazují deficit v obsahu kovů oproti síře (0.07 - 0.24 apfu). Nízké obsahy jsou charakteristické zejména pro stříbro (pouze 0.58 - 0.88 apfu).

**Molybdenit** je druhým nejzastoupenějším sulfidem. Vytváří drobné (maximální velikost 1 mm) olověně šedé a kovově lesklé šupinky, které jsou spolu s ostatními sulfidy vtroušené zejména v oblastech zelenavých, silikáty bohatých smouh při okraji křemenné žíly. Mnohem méně častý je jeho výskyt v sulfidických agregátech přítomných ve vnitřních částech studované žíly. V nábruse vytváří tence až tlustě tabulkovitá zrna či izometrická individua (obr. 4b), která vykazují v některých případech známky plastické deformace (prohnutí, undulózní vyhasínání). Anizotropie je výrazná jak v odraženém polarizovaném světle (obr. 4b), tak při pozorování při zkřížených nikolech (dvojdraz i polarizační barvy v bílošedých odstínech). Molybdenit představuje v mikroměřtku vždy nejstarší sulfidickou fázi, která je uzavírána, případně obrůstána

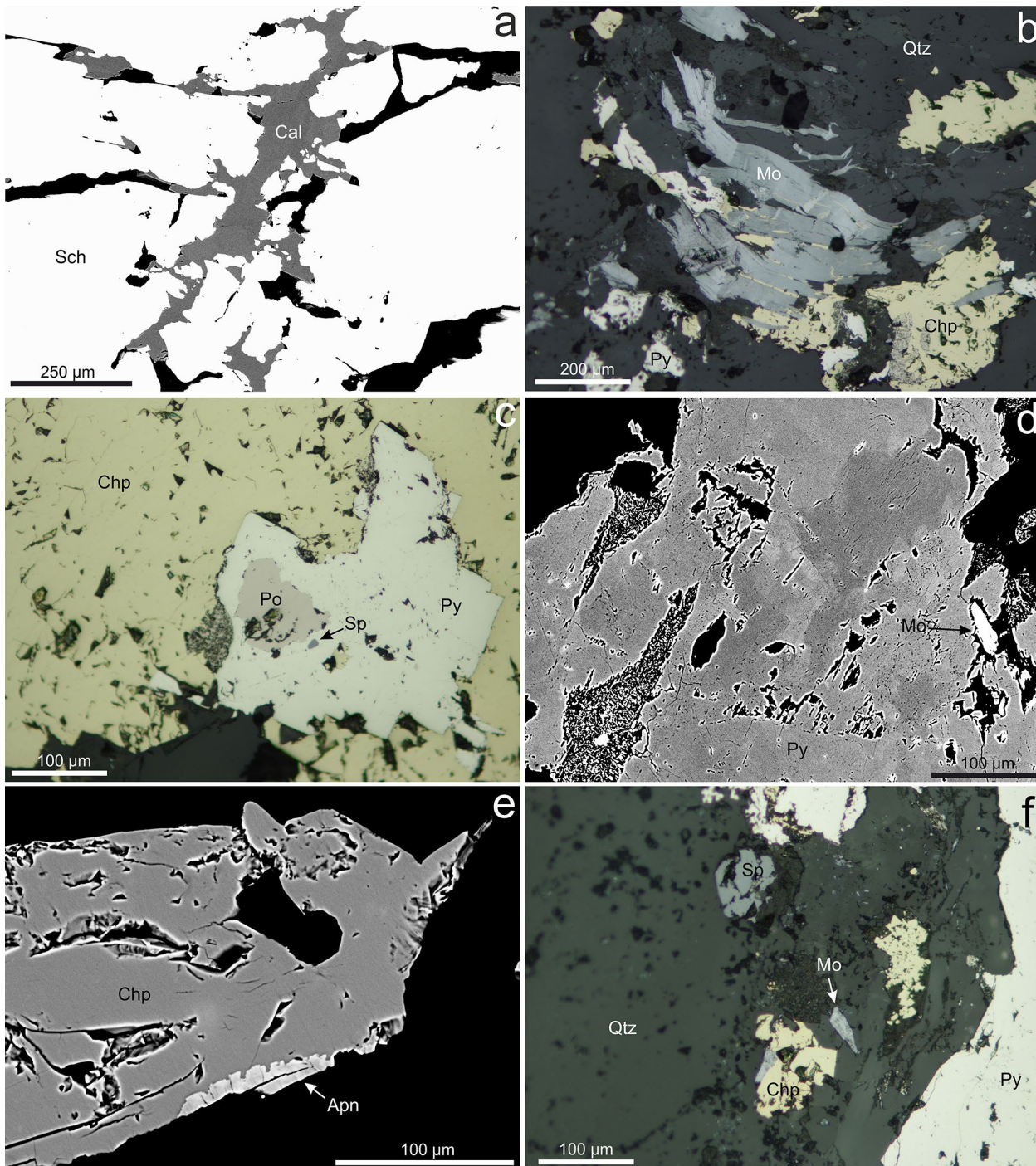
ostatními sulfidy (obr. 4b,d). V EDS spektru jsou patrné pouze píky S a Mo.

**Sfalerit** je přítomen relativně často, ale jen v malém množství. Vytváří xenomorfně omezená zrna o velikosti až 50  $\mu\text{m}$ , doprovázející pyrit a chalkopyrit (obr. 4c,f). V odraženém světle je šedý, izotropní. V BSE obraze je nezonální. Značnou homogenitu chemického složení sfaleritu (i při porovnání různých zrn a různých vzorků) potvrdily i provedené bodové WDS analýzy (tab. 4). Sfa-

lerit obsahuje 0.11 - 0.13 *apfu* Fe, 0.013 - 0.014 *apfu* Cd a většinou i malá množství Cu (max. 0.004 *apfu*) a Co (max. 0.001 *apfu*).

#### Alpská žíla s prehnitem

Výskyt žilné mineralizace s převahou prehnitu byl zaznamenán u západní stěny páté etáže, cca 20 m severně od výše popsané mineralizace se scheelitem. Vzorky žiloviny byly nalezeny pouze v odstřelené suti, v přilehlé lomové stěně nebyl výskyt této mineralizace zjištěn. Žilná



**Obr. 4** Minerální asociace a vývin minerálů ze studované křemenné žíly se scheelitem. a - nepravidelné žilky kalcitu (Cal) v scheelitu (Sch), BSE obraz. b - chalkopyrit (Chp), pyrit (Py) a molybdenit v silikátové smouze v křemenu. Nábrus, odražené polarizované světlo. c - inkluze pyrhotinu (Po) a sfaleritu (Sp) v pyritu uzavřeném v chalkopyritu. Nábrus, odražené polarizované světlo. d - růstová zonálnost pyritu na BSE snímku, světlejší partie jsou bohatší niklem. e - nárůst argentopentlanditu (Apn) na chalkopyritu. BSE obraz. f - zrna sfaleritu, uzavírané spolu s dalšími sulfidy v křemenu. Nábrus, odražené polarizované světlo. Všechny snímky Z. Dolníček.

mineralizace protíná okolní amfibolity kose k jejich břidličnatosti (obr. 5a). Nalezené vzorky žiloviny mají vcelku stálou mocnost kolem 5 - 8 mm. Makroskopicky jsou tvořeny zejména masivním prehnitem, v němž jsou poměrně často uzavřena tenká tabulkovitá individua kalcitu a místy i jehlice tmavozeleného amfibolu. Mikroskopické studium dále odhalilo přítomnost menšího množství K-živce a amfibolu. Žilovina neobsahuje žádné dutiny ani uzavřené úlomky okolní horniny.

**K-živec** je nejstarším minerálem tohoto typu žil. Na-

růstá v podobě až 1 mm velkých krystalů s adulárovou morfologií přímo na okolní horninu (obr. 5b,c). Makroskopicky má bílou barvu, v BSE obraze je nezonální. Přeměny nebyly zjištěny, poměrně hojně se však v K-živci vyskytují drobné inkluze amfibolu (obr. 5b). Pět WDS bodových analýz ukázalo vedle Si, K a Al i malou průběžnou příměs sodíku, odpovídající 0.9 - 1.3 mol. % albitové molekuly (tab. 2). Část analýz také měla nepatrně zvýšený obsah Fe (max. 0.11 hm. % FeO), zatímco ostatní měřené prvky byly pod mezí stanovitelnosti.

**Tabulka 4** Příklady chemického složení pyritu (Py), chalkopyritu (Chp) a sfaleritu (Sp) ze studované křemenné žíly se scheelitem. Obsahy v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na základ dvou (pyrit, chalkopyrit), respektive jednoho (sfalerit) atomu síry.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Py	Py	Py	Py	Chp	Chp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp
Pb	0.09	0	0.15	0.17	0	0	0	0	0	0.11	0	0	0.11	0
Fe	45.86	45.53	46.37	46.31	30.50	29.75	6.47	6.60	7.34	7.78	6.94	7.27	7.00	7.62
Ni	0.46	0.06	0.24	0.28	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0
Co	0.04	0	0.04	0	0	0	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
Zn	0	0	0	0	0	0.05	57.89	57.58	57.81	57.99	58.51	58.13	58.19	57.68
Cu	0.12	0.94	0	0	34.62	34.27	0.26	0.12	0.26	0	0.09	0.08	0	0.12
Cd	0	0	0	0	0	0	1.59	1.61	1.58	1.50	1.64	1.55	1.49	1.51
In	0	0	0	0	0	0	0.04	0.06	0	0.04	0	0.05	0.04	0
Mn	0	0	0	0	0	0	0.04	0.05	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07
S	53.30	53.61	52.78	52.93	34.98	34.25	32.81	32.91	33.09	33.41	33.34	33.38	33.35	33.11
Celkem	99.87	100.14	99.59	99.69	100.10	98.36	99.15	98.99	100.20	100.94	100.64	100.57	100.28	100.16
Pb	0.001	0	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0.001	0
Fe	0.988	0.975	1.009	1.004	1.001	0.997	0.113	0.115	0.127	0.134	0.119	0.125	0.120	0.132
Ni	0.009	0.001	0.005	0.006	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0
Co	0.001	0	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Zn	0	0	0	0	0	0.001	0.865	0.858	0.857	0.851	0.861	0.854	0.856	0.854
Cu	0.002	0.018	0	0	0.999	1.010	0.004	0.002	0.004	0	0.001	0.001	0	0.002
Cd	0	0	0	0	0	0	0.014	0.014	0.014	0.013	0.014	0.013	0.013	0.013
In	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Catsum	1.001	0.994	1.015	1.011	2.000	2.010	0.998	0.991	1.003	1.000	0.997	0.996	0.991	1.003

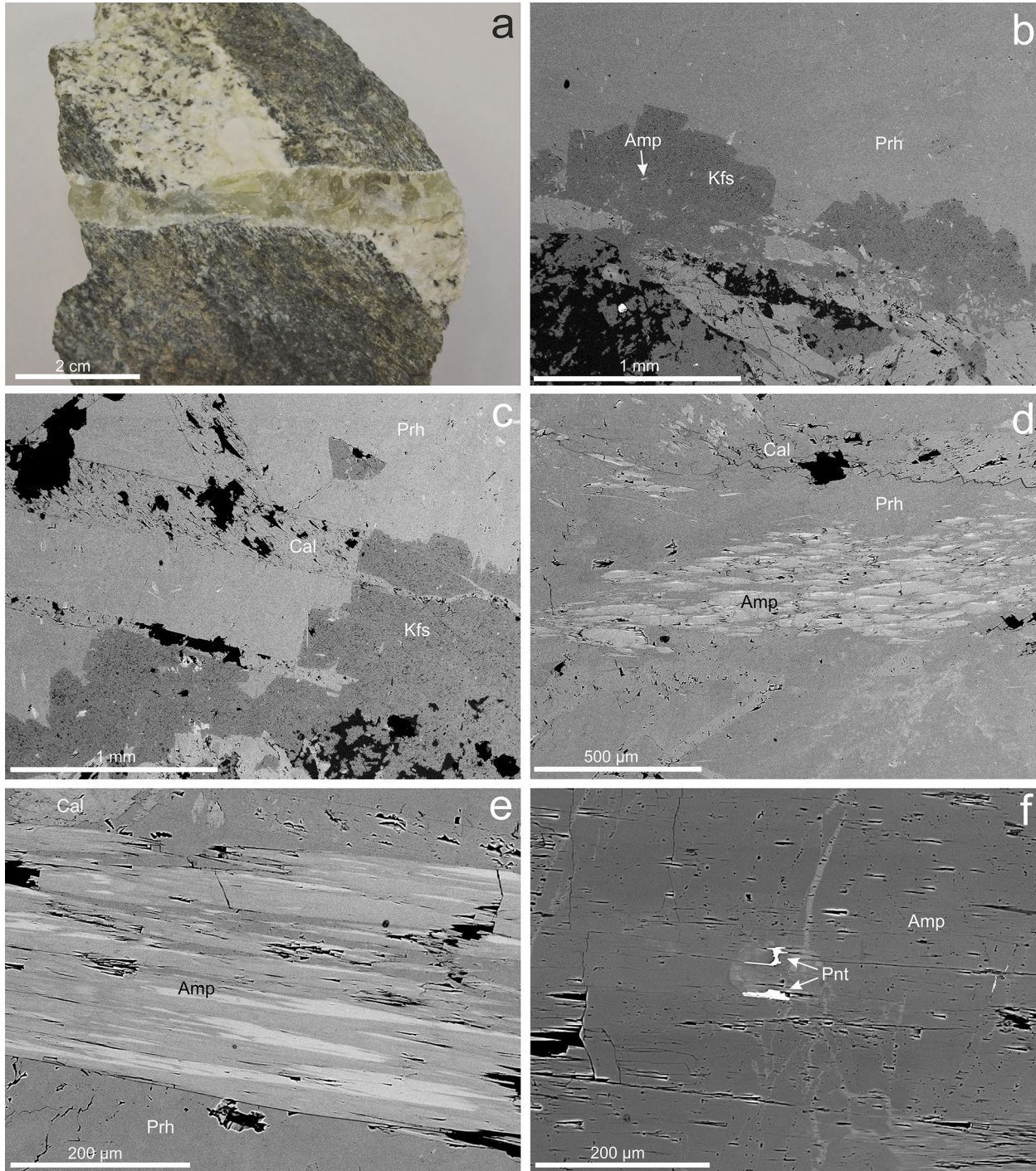
**Tabulka 5** Příklady chemického složení argentopentlanditu (Apn), pentlanditu (Pnt) a pyrhotinu (Po) ze studovaných mineralizací. Obsahy v hm. %, hodnoty apfu jsou vypočítány na základ osmi (argentopentlandit, pentlandit), respektive jednoho (pyrhotin) atomu síry. Sch - křemenná žíla se scheelitem, Prh-h - hornina v sousedství alpské žíly s prehnitem.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Apn	Apn	Apn	Apn	Apn	Apn	Apn	Pnt	Pnt	Pnt	Pnt	Pnt	Po	Po
Mineralizace	Sch	Sch	Sch	Sch	Sch	Sch	Sch	Prh-h	Prh-h	Prh-h	Prh-h	Prh-h	Sch	Sch
Ag	8.26	8.31	10.36	11.61	7.82	10.16	11.13	0	0	0	0	0	0	0
Pb	0.15	0	0.12	0.12	0.12	0.11	0	0	0	0.09	0.11	0.10	0.14	0.08
Fe	29.83	30.26	30.36	31.13	30.27	30.58	31.29	25.39	24.86	24.50	23.49	24.51	59.79	59.98
Co	0.90	0.86	0.67	0.40	0.99	0.64	0.45	2.89	4.10	4.08	6.87	4.24	0.05	0
Ni	27.44	27.42	25.78	24.16	24.63	25.03	24.37	37.26	37.18	37.10	35.86	36.94	0.49	0.47
Cu	0.45	0.32	0.28	0.47	3.01	0.56	0.57	0	0	0	0	0	0	0
S	31.81	31.78	31.46	31.28	32.16	31.43	31.53	33.02	33.26	33.08	33.26	33.14	40.22	39.96
Celkem	98.83	98.96	99.03	99.16	99.00	98.60	99.34	98.56	99.41	98.86	99.58	98.94	100.69	100.49
Ag	0.617	0.622	0.783	0.883	0.578	0.769	0.839	0	0	0	0	0	0	0
Pb	0.006	0	0.005	0.005	0.005	0.004	0	0	0	0.003	0.004	0.004	0.001	0
Fe	4.306	4.373	4.432	4.570	4.322	4.468	4.557	3.531	3.432	3.401	3.243	3.396	0.853	0.862
Co	0.123	0.118	0.093	0.056	0.134	0.089	0.062	0.381	0.537	0.537	0.899	0.557	0.001	0
Ni	3.769	3.770	3.580	3.375	3.346	3.480	3.377	4.930	4.884	4.900	4.711	4.870	0.007	0.006
Cu	0.057	0.041	0.036	0.061	0.378	0.072	0.073	0	0	0	0	0	0	0
Catsum	8.879	8.923	8.929	8.949	8.763	8.881	8.909	8.842	8.853	8.842	8.857	8.827	0.861	0.868



**Kalcit** vytváří tenké tabulkovité krystaly, které dosahují velikosti až přes 1 cm a jsou v žilovině orientovány prostorově zcela nahodile. Vůči K-živci je kalcit zřetelně mladší, obvykle na něj jeho krystaly narůstají, ojediněle jím kalcit i žilkovitě proniká (obr. 5c). Vůči prehnitu je kalcit naopak zřetelně starší. V BSE obraze je kalcit nezonální. Orientační WDS analýzy kalcitu nezjistily přítomnost žádných příměsí nad detekčním limitem mikrosondy.

**Amfibol** se vyskytuje ve dvojí formě. Jednak vytváří drobné inkluze v K-živci (obr. 5b), jednak dlouze jehlicovité agregáty, které jsou místy uzavírané ve střední části žíly v kalcit-prehnitové matici (obr. 5d,e). V případě amfibolových inkluzí v K-živci nebylo bližší chemické studium možné vzhledem k jejich velmi malým rozměrům. Naproti tomu jehlice amfibolu zarostlé v kalcit-prehnitové matici dosahují délky až několika milimetrů. Makrofotograficky mají



**Obr. 5** Minerální asociace a vývin minerálů ze studované alpské žíly s prehnitem. a - prehnitem bohatá žíla protínající hostitelský amfibolit s nástrikem leukokratického metatektu. b - krystaly K-živce (Kfs), narůstající na amfibolitu (ve spodní části snímku) a obrůstané prehnitem (Prh). K-živce obsahuje četné drobné inkluze amfibolu (Amp). BSE obraz. c - K-živce v asociaci s mladším tabulkovitým kalcitem (který jím i žilkovitě proniká) a prehnitem. BSE obraz. d - příčný řez shlukem jehlic amfibolu. BSE obraz. e - podélný řez shlukem jehlic amfibolu s dobře patrnou chemickou zonalitou. BSE obraz. f - dvě protažená individua pentlanditu (Pnt) v jádře amfibolu z okolního amfibolitu. BSE obraz. Makrofoto J. Ulmanová, BSE snímky Z. Dolníček.

trávově zelenou barvu. V obraze BSE jsou zřetelně skvrnitě zonální (obr. 5d,e). Mikrosondové analýzy (tab. 1) ukázaly příslušnost k podskupině vápenatých amfibolů. Při přepočtu empirického vzorce na bázi 23 kyslíků se obsahy Si pohybují mezi 7.57 a 8.00 *apfu*, Al 0.07 - 0.36 *apfu*, Ti max. 0.01 *apfu*, Mg 2.85 - 3.58 *apfu*, Fe<sup>2+</sup> 1.19 - 1.93 *apfu*, Fe<sup>3+</sup> max. 0.31 *apfu*, Ca 1.98 - 2.04 *apfu*, Mg<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>) = 0.60 - 0.75, Na+K = max. 0.11 *apfu*. V klasifikačním schématu Leakeho et al. (1997) jde tedy o aktinolit (obr. 3a). V BSE obraze světlejší partie krystalů mají vyšší poměr Fe/Mg v porovnání s tmavšími částmi krystalů.

**Prehnit** je objemově rozhodující fází studované prehnitové žíly. Parageneticky je nejmladším minerálem, který beze zbytku vyplňuje zbylé prostory mezi krystaly ostatních minerálů (obr. 5b-e). Makroskopicky je bleďe zelený, průsvitný, se skelným až perleťovým leskem na prohnutých štěpných plochách (obr. 5a). Mikrosondové WDS analýzy (tab. 2) ukázaly velice homogenní složení bez ohledu na pozici v rámci žíly i při porovnání různých vzorků. Vedle Ca, Si a Al byly zaznamenány jen slabě zvýšené obsahy Fe (0.016 - 0.050 *apfu*) a F (0.011 - 0.045 *apfu*).

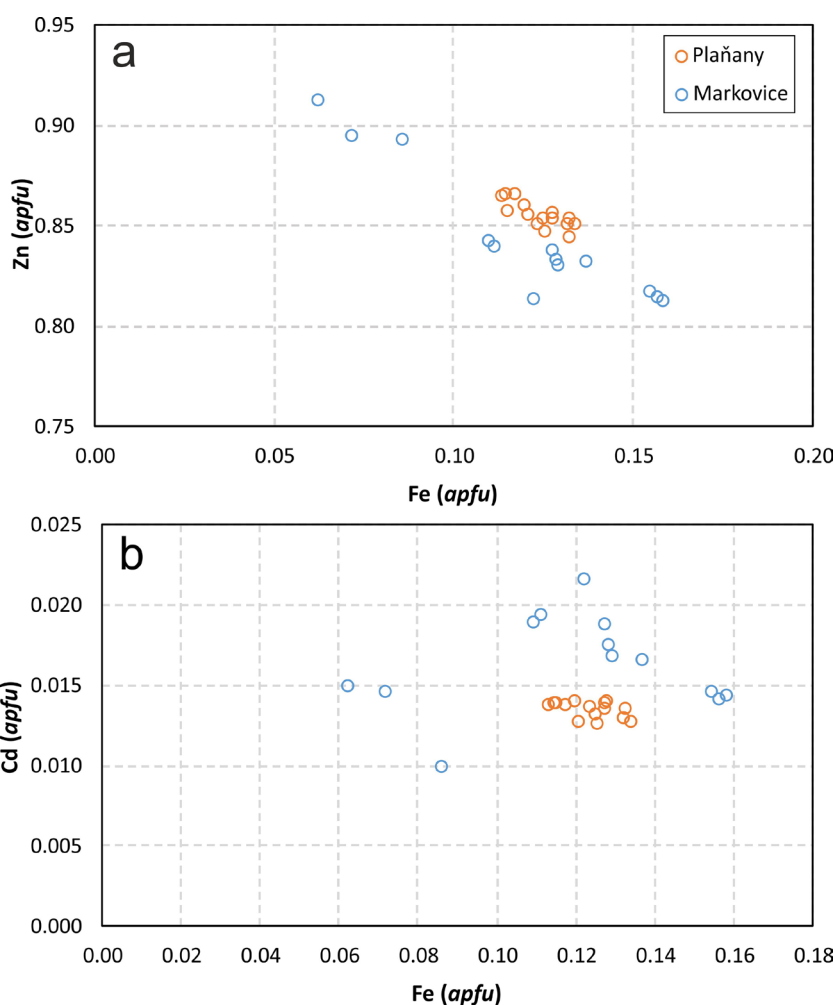
Při studiu na mikrosondě byla v okolním amfibolitu, přiléhajícím k alpské žíle s prehnitem, ojediněle zjištěna i přítomnost **pentlanditu**. Pentlandit vytváří dvě drobné uzavřeniny ve střední části zrna amfibolu (obr. 5f). Obě individua pentlanditu jsou protažená paralelně s krystalografickou osou c a tedy i prizmatickou štěpností amfibolového zrna - je tedy velmi pravděpodobné, že jde z pohledu časového zařazení vůči hostitelskému amfibolu o postkrystalinní (tedy hydrotermální) fázi. Provedené WDS analýzy (tab. 5) ukázaly systematický přebytek síry proti kovům (o asi 0.15 *apfu*), dosti zvýšený obsah Co (až 0.9 *apfu*) a mírnou převahu Ni nad Fe [Ni/(Ni+Fe) = ~0.59]. Mírná nestechiometrie ve smyslu přebytku síry oproti kovům je obvyklá u niklem bohatých pentlanditů (Kaneda et al. 1986; Dolníček, Ulmanová 2018b).

## Diskuse

Výskyt obou nově nalezených mineralizací na strmých žilách protínajících foliaci okolních amfibolitů ukazuje na jejich vznik v pozdní (retrográdní) fázi metamorfického vývoje horninového prostředí na dané lokalitě. S tím je v souladu i minerální složení žil, zejména přítomnost aktinolitu, prehnitu a chloritu. Diskutabilní je paragenetická příslušnost magneziohornblendových jader amfibolů a andezínu ze zelených silikátových smolů z křemenné žíly se scheelitem, u nichž nelze vyloučit, že by mohlo jít i o reliktů okolní horniny, rozetřené během křehké deformace související s vývojem žilných struktur a následně alterované (albitizované v případě plagioklasu, obrostlé aktinolitěm a zatlačované chloritem v případě amfibolu) působením fluid, z nichž vznikl minerální obsah žíly. S představou pozdně-metamorfického

původu daných mineralizací jsou v souladu i přítomnost K-živce, který je za hydrotermálních podmínek stabilní za teplot minimálně cca 250 °C (Deer et al. 2001), i výsledky výpočtu teplot krystalizace chloritu pomocí chloritového kompozičního termometru podle Cathelineau (1988), které indikují teploty mezi 253 a 298 °C (tab. 2).

Vzájemný paragenetický vztah obou nově zjištěných mineralizací není z terénní situace zřejmý. Z mineralogického studia vzorků z křemenné žíly se scheelitem vyplývá, že by prehnitová mineralizace měla být mladší (prehnit zde žilkovitě proniká staršími silikáty). Zároveň je chemické složení tohoto minerálu shodné v obou typech mineralizací (s výjimkou jediné analýzy výrazně bohatší železem; tab. 2), což by nasvědčovalo shodné genezi tohoto minerálu v obou typech mineralizací. S možností nižšího relativního stáří prehnitové mineralizace by byla v souladu i skutečnost, že amfiboly z prehnitové žíly mají nejvyšší zjištěné obsahy Si a také nejvyšší poměr Fe/(Fe+Mg) a jejich projekční body leží ve směrném pokračování datového pole amfibolů z křemenné žíly se scheelitem (obr. 3a). Jednotný trend v chemickém složení amfibolu z obou mineralizací by mohl nasvědčovat kontinuálnímu vývoji hydrotermálního systému ve smyslu postupné změny podmínek při krystalizaci či chemismu působících fluid. Paragenetický vývoj silikátové minerální asociace (od amfibolu s převahou Fe<sup>2+</sup> k prehnitu s obsahem Fe<sup>3+</sup>) souhlas-



**Obr. 6** Variace v chemickém složení sfaleritu z křemenné žíly se scheelitem a porovnání se sfalerity z alpských žil z lomu Markovice. Srovnávací data převzata z práce Dolníčka, Ulmanové (2018b). a - diagram Fe - Zn; b - diagram Fe - Cd.

ně v obou studovaných mineralizacích naznačuje nárůstu redox potenciálu fluidů během krystalizace. S tím je zcela v souladu i pozorovaný vývoj asociace sulfidů v křemenné žíle se scheelitem - zatlačování pyrotinu pyritem je často důsledkem zvýšení aktivity kyslíku v minerálovém prostředí (Murovchick, Barnes 1986).

Charakter nově zjištěných mineralizací je blízký mobilizátům typu alpských žil. Ty byly z plaňanského lomu v minulosti popisovány zejména z prostředí rul, v nichž se vyskytovala typická minerální asociace puklin typu A ve smyslu Bernarda (1981) a Fišery (2000a), chudá vápníkem. S postupem dobývacích prací do hloubky byla zastížena a odkryta čočka amfibolitů, obsahující i alpskou mineralizaci bohatou vápníkem, k níž náleží i obě námi studované mineralizace, jak nasvědčuje přítomnost Ca-amfibolů, prehnitu, kalcitu a scheelitu. Obecně nepřilíš obvyklé jsou na alpských žilách výskyty molybdenitu a scheelitu. Jejich výskyt byl již dříve v dané oblasti zaznamenán – z plaňanského lomu z puklin v pegmatitu uvádí výskyt molybdenitu Kadlec (2015), z lomu Markovice u Čáslavi popsali molybdenit Novák a Drábek (1964) a drobný výskyt scheelitu v alpské žíle na téže lokalitě zaznamenali i autoři této práce (zatím nepublikováno). Nový nález z Plaňan je však zajímavý zejména velikostí scheelitových agregátů a hnízd, která výrazně překračuje dosud známé vyslovené mikroskopické výskyty. Zdroj Mo a W pro vznik molybdenitu a scheelitu není jasný. Zatímco W je zřetelně přednostně vázán na kyselé magmatické horniny než na bazika, Mo je přítomen v obou typech hornin ve srovnatelných koncentracích (Turkenian, Wedepohl 1961). Na základě těchto obecných geochemických poznatků tedy nelze vyloučit ani významnější přínos těchto prvků fluidy zvnějšku relativně malého hostitelského amfibolitového tělesa. Širší cirkulace fluidů během formování alpských žil, zahrnující i jiné litologické typy hornin, než jen ty, v nichž jsou žíly lokalizovány, byla opakovaně doložena na různých lokalitách kutnohorského krystalinika (Dolníček, Ulmanová 2018b, 2019a, 2019b).

Porovnání získaných poznatků o chemickém složení jednotlivých minerálů je možné u chloritů a některých sulfidů z dalších lokalit v rámci kutnohorského krystalinika, k nimž existují publikované údaje. Chemické složení chloritů z křemenné žíly se scheelitem je relativně málo variabilní, podobně jako chemismus chloritů z alpských žil z Vrbčan (očistěný o analýzy s výraznější příměsí slídivé komponenty) a z Libodřic; naproti tomu chlority z Markovic mají značný rozptyl chemismu (obr. 3b). Námi získané analýzy chloritů z Plaňan mají ze všech srovnávaných lokalit nejnižší hodnoty Fe/(Fe+Mg) (obr. 3b), které mohou být důsledkem vazby mineralizace na bazické horniny. Druhé možné vysvětlení může spočívat, vzhledem k hojné přítomnosti sulfidů v žíle (jejichž množství je vyšší než je obvyklé na výše zmiňovaných srovnávaných lokalitách alpských žil), ve vyšší fugacitě síry v matečných fluidech, která rovněž ovlivňuje vstup železa do vznikajícího chloritu (např. Bryndzia, Scott 1987).

Topominerální vliv okolních bazických hornin je zřetelně patrný i v případě obou přítomných sulfidů Fe (pyrit, pyrotin), u nichž lze konstatovat zvýšený obsah Ni, podobně jako v alpských žilách v markovických amfibolitech (Dolníček, Ulmanová 2018b). Na obou lokalitách byly navíc akcesoricky zaznamenány i výskyty samostatných Ni-sulfidů (na obou lokalitách pentlandit, navíc v Plaňanech argentopentlandit, v Markovicích melonit, millerit, siegenit a Ni-bohatý kobaltin; Dolníček, Ulmanová 2018a,b). Sfalerit z Plaňan má mnohem méně variabilní obsahy Fe a

Cd než sfalerit z Markovic (obr. 6). Na rozdíl od námi nově prezentovaných analýz z Plaňan, data z Markovic pocházejí z několika mineralogicky odlišných typů alpských žil, u nichž lze očekávat jednak rozdílné obsahy minoritních prvků v matečných fluidech, jednak variace ve fugacitě kyslíku a síry, které chemismus sfaleritu rovněž ovlivňují (Scott, Barnes 1971; Scott 1983; Dolníček, Ulmanová 2018b).

## Závěr

V lomu u Plaňan byly nalezeny dva dosud nepopsané typy hydrotermálních žil, které byly zastíženy v čočce amfibolitů, uložené v rulách kutnohorského krystalinika. První typ mineralizace je tvořen subvertikální křemennou žilou se scheelitem, jež má směr ZSZ - VJV a kolmý průběh k foliaci okolních hornin. Vedle křemene obsahuje i malé množství sulfidů (hlavně chalkopyrit a molybdenit, méně pyrit a sfalerit, akcesoricky i pyrotin a argentopentlandit), kalcitu, silikátů [zonálního amfibolu s chemismem odpovídajícím magneziohornblendu až aktinolit, dále chloritu (klinochloru), plagioklasu (andezin až albit) a prehnitu] a scheelitu, který vytváří až 3 cm velká hnízda v křemenu. Nelze vyloučit, že magneziohornblendová jádra amfibolů a andezinová jádra plagioklasů představují relikty okolní horniny. Druhý typ mineralizace je reprezentován žilami s převahou prehnitu, které mají průběh kosý vůči foliaci okolních amfibolitů. Vedle prehnitu obsahují adular, kalcit a amfibol s aktinolitovým složením. Oba typy mineralizací představují retrogradně-metamorfní mobilizáty, blízké alpské paragenézi. Chloritová termometrie nasvědčuje vzniku chloritu z křemenné žíly se scheelitem za teplot 253 až 298 °C. Zdroj Mo a W pro tvorbu molybdenitu a scheelitu není dořešený, nelze však vyloučit přínos těchto prvků fluidy z vnějšku amfibolitového tělesa.

## Poděkování

Autoři děkují vedení lomu za umožnění terénního výzkumu a odběru vzorků a K. Dryákovi a B. Šreinové za trpělivost při naší práci v terénu. Práce na článku byly finančně podpořeny Ministerstvem kultury ČR v rámci institucionálního financování výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 – cíl DKRVO 1.1.b). Recenzentům M. Fišerovi a P. Paulišovi děkujeme za upozornění na další literaturu.

## 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, KODÉRA M, KOPECKÝ L, NĚMEC D, PADÉRA K, PETRÁNEK J, SEKANINA J, STANĚK J, ŠIMOVÁ 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
- CATHELINEAU M (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Miner* 23: 471-485
- DEER WA, HOWIE RA, ZUSSMAN J (2001) *Rock-forming minerals: Feldspars*, vol. 4A. Geological Society of London
- 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
- DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2019a): Minerální asociace a chemické složení chloritů z alpských žil od Markovic u Čáslavi (kutnohorské krystalinikum). *Bull Mineral Petrolog* 27: 212-220
- DOLNÍČEK Z, ULMANOVÁ J (2019b) Mineralogická charakteristika dvou typů hydrotermálních žil s obsahem REE minerálů z lomu u Vrbčan (kutnohorské krystalinikum). *Bull Mineral Petrolog* 27: 331-345
- DRYÁK K (1998) Současné možnosti nálezů minerálů v lomu u Plaňan na Kolínsku. *Minerál* 6(1): 62
- FÍŠERA M (1977) Geologie a petrografie kutnohorského krystalinika západně od Kolína. *Výzk práce ÚÚG* 16: 19-31
- FÍŠERA M (1979) Biotitický granodioritový porfyr z Plaňan u Kolína. *Čas Nár Muz, Odd Přírodověd* 146: 178-183
- FÍŠERA M (1981) Geologické a petrografické poměry okolí Plaňan. *Výzk práce ÚÚG* 26: 1-42
- FÍŠERA M (2000a) Alpská parageneze – klasifikace, typy a naleziště v České republice. *Bull Mineral-petrolog odd Nár muz (Praha)* 8: 23-40
- FÍŠERA M (2000b) Výskyt ilmenitu a turmalínu v alpské paragenezi v Plaňanech u Kolína. *Bull Mineral-petrolog odd Nár muz (Praha)* 8: 184-187
- FÍŠERA M, MORAVCOVÁ H (1979) Beryl z pegmatitu z Plaňan u Kolína. *Čas Nár muz, Ř přírodověd* 148: 15
- FÍŠERA M, SEJKORA J (2003) Natrolit z Plaňan u Kolína. *Bull. Mineral-petrolog odd Nár muz (Praha)* 11: 205
- JAKEŠ P, DADÁK V (1962) Nález axinitu v Plaňanech u Kolína. *Čas Mineral Geol* 7: 91-92
- KADLEC T (2015) Zpráva o nálezu molybdenitu v lomu Plaňany, 11 km západně od Kolína. *Minerál* 23(2): 123-124
- KANEDA H, TAKENOUCI S, SHOJI T (1986) Stability of pentlandite in the Fe-Ni-Co-S system. *Mineral Deposita* 21: 169-180
- LÁZNIČKA P (1958) Alpská parageneze z Plaňan u Kolína. *Čas Nár muz, Ř přírodověd* 127: 213-214
- 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. *Canad Mineral* 35: 219-246
- MELKA K (1965) Návrh na klasifikaci chloritových minerálů. *Věst Ústř Úst geol* 40: 23-27
- MUROWCHICK JB, BARNES HL (1986) Marcasite precipitation from hydrothermal solutions. *Geochim Cosmochim Acta* 50: 2615-2629
- NOVÁK F, DRÁBEK M (1964) Rozšíření sulfidického zrudnění v širším okolí Čáslavi a Kutné Hory. *Práce muz Kut Hoře* 5: 18-28
- OWEN JV, DOSTAL J, FISERA M (2007) Mineralogical controls on the distribution of trace elements in metasomatized peridotite enclaves from Planany, Czech Republic. *Mineral Mag* 71(1): 81-91
- PADĚRA K (1961) Ungewöhnliche Entwicklung der Kristalle des Anatas aus Plaňany bei Kolín. *Acta Univ Carol, Geol* 3: 143-146
- PAULÍŠ P, MORAVEC B (1997) Analcim z Plaňan u Kolína. *Bull Mineral-petrolog odd Nár muz (Praha)* 4-5: 225
- POUCHOU JL, PICOIR F (1985) "PAP" (φρZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: ARMSTRONG JT (ed.) *Microbeam Analysis*: 104-106. San Francisco Press, San Francisco
- SCOTT SD (1983) Chemical behaviour of sphalerite and arsenopyrite in hydrothermal and metamorphic environments. *Mineral Mag* 47: 427-435
- SCOTT SD, BARNES HL (1971) Sphalerite geothermometry and geobarometry. *Econ Geol* 66: 653-669
- SYNEK J, OLIVERIOVÁ D (1993) Terrane character of the north-east margin of the Moldanubian Zone: the Kutná Hora Crystalline Complex, Bohemian Massif. *Geol Rundsch* 82: 566-582
- ŠAMÁNKOVÁ M (2012) Mineralogické studium alpské parageneze z lomu u Libodřic. MS, dipl. práce, ÚGV PŘF MU Brno
- TURKENIAN KK, WEDEPOHL KH (1961) Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Geol Soc Am Bull* 72(2): 175-192
- VRÁNA S, ŠTĚDRÁ V, NAHODILOVÁ R (2009) Geochemistry and petrology of high-pressure kyanite-garnet-albite-K-feldspar felsic gneisses and granulites from the Kutná Hora Complex, Bohemian Massif. *J Geosci* 54: 159-179
- 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