

Výskyt sekundárního ferberitu na Pekelném vrchu u Jihlavy (moldanubikum, Česká republika)

Occurrence of secondary ferberite at the Pekelný vrch hill near Jihlava (Moldanubicum, Czech Republic)

LENKA LOSERTOVÁ* A ZBYNĚK BUŘIVAL

Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno;

*e-mail: lena.los@seznam.cz

LOSERTOVÁ L., BUŘIVAL Z. (2015) Výskyt sekundárního ferberitu na Pekelném vrchu u Jihlavy (moldanubikum, Česká republika). *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha) 23, 2, 201-207. ISSN 1211-0329.*

Abstract

Quartz-muscovite greisen veins up to several meters thick occur in fine-grained two-mica granites near their contact with migmatites at Pekelný vrch near Jihlava, Czech Republic. Quartz-muscovite greisen contains primary scheelite and secondary wolframite, monazite, xenotime and jarosite. Small muscovite veinlets occur in the granite, quartz-fluorite veinlets occur in the migmatites. Both types of veinlets are close to the quartz-muscovite greisen. Primary scheelite in quartz-muscovite greisen veins was replaced and pseudomorphed by almost pure ferberite (0.07 - 0.17 hm. % MnO) - variety reinite. Pseudomorphs are composed of porous fine crystal aggregates of secondary ferberite with minor amount of monazite-(Ce), xenotime and fluorine-rich muscovite. Pores are either empty or filled by limonite or P, W and Bi enriched jarosite. Sometimes relics of scheelite are preserved inside the pseudomorphs. Fissures in the scheelite are filled by P, W and Bi rich plumbojarosite.

Keywords: secondary ferberite, greisen, Pekelný vrch near Jihlava, Moldanubicum, chemical composition

Obdrženo: 14. 10. 2015; přijato: 23. 11. 2015

Úvod

Oblast centrálního moldanubického plutonu byla pokládána, co se týče wolframitového zrudnění, po dlouhou dobu za neperspektivní. To se změnilo až v polovině šedesátých let minulého století, kdy byly při geologickém mapování zjištěny zrudněné greiseny na Pekelném vrchu u Jihlavy (Veselá 1963) a křemenné žíly s wolframitem, scheelitem a kasiteritem z Ovesné Lhoty u Světlé nad Sázavou (Jurák 1963). Později na Pekelném vrchu u Jihlavy proběhl ložiskový průzkum, který zrudnění ověřil několika rýhami a vrty (Veselá et al. 1989). Bližší údaje o tomto průzkumu bohužel chybí.

Protože se nejednalo o ložiskově zajímavou akumulaci, nebyla v minulosti lokalitě věnována větší pozornost. V rámci současné revize výskytů wolframitu v moldanubiku byl při zkoumání vzorků zjištěn zajímavý sekundární ferberit (*reinite*). Označení *reinite* se používá pro pseudomorfózu wolframitu po scheelitu, nikoliv zatlačování původního wolframitu sekundárním wolframitem. Tyto pseudomorfózy si zachovávají původní tvar krystalů scheelitu a tvoří tak tetragonální dipyramidy.

Popis lokality

Studovaná W-mineralizace byla zastižena v greisenizovaných polohách na lokalitě Pekelný vrch (obr. 1) u Jihlavy (též někdy zvaný Pekelský vrch). Tento výskyt se nachází na kopci u kóty 579 m n. m. asi 1.9 km jz. od obce Rantířov a přibližně 5.8 km z. od města Jihlavy.

Zrudnění je vázáno na žilný muskovit-křemenný grei-

sen, který byl zastižen při kontaktu drobnozrnného muskovit-biotitického granitu a cordierit-biotitického migmatitu. Převládající směr migmatizovaných hornin je S - J, s úklonem mezi 40 - 50° k V (Janečka 1964; Veselá et al. 1989).

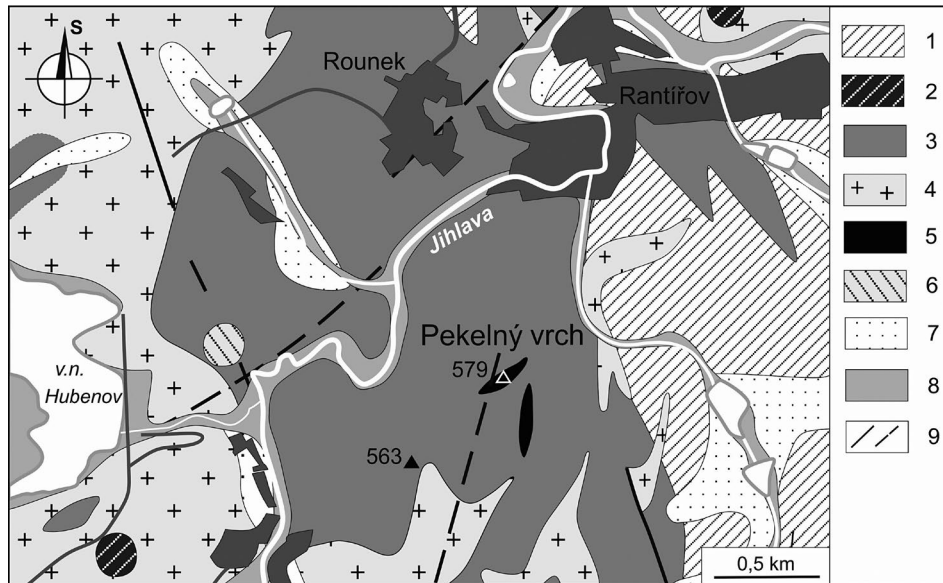
Jemnozrnný, místy drobnozrnný až středně zrnitý, muskovit-křemenný greisen tvoří žíly o mocnosti řádově dm až m, ve směru SV - JZ, s úklonem 20° k JV. Hlavní složkou je drobnozrnný křemen bílé až šedé barvy, dále muskovit, vzácně granát, místy se vyskytují pseudomorfózy sericitu vzniklé pravděpodobně po živci. Zrudnění je prezentováno především scheelitem, vzácným wolframitem a pyritem (Jurák, Tenčík 1970; Veselá et al. 1989).

Hydrotermálně alterovaný granit v blízkosti muskovit-křemenného greisenu obsahuje drobné greisenizované muskovitové žilky. Muskovit z obou typů greisenu neobsahuje lithium (Veselá et al. 1989). Okolní migmatit je prokán sítí křemenných žilek, místy se světle modrým fluoritem. Ve šlichu, v okolí výskytu popisované wolframové mineralizace, byl zastižen kasiterit (Jurák, Tenčík 1970; Veselá et al. 1989).

V blízkosti žilného muskovit-křemenného greisenu bylo vrtnými pracemi zjištěno Pb-Zn zrudnění (Veselá et al. 1989).

Metodika

Vzorky s W-mineralizací byly zapůjčeny z Muzea Vysočiny v Jihlavě. Ze zrudněných partií křemen-muskovitového greisenu byly zhotoveny výbrusy a nábrusy,



Obr. 1 Geologická situace v okolí Pekelného vrchu, upraveno podle České geologické služby (2015). 1 - granulity; 2 - serpentinit; 3 - migmatit; 4 - granit; 5 - greisenizovaný granit až greisen; 6 - lamprofyry; 7 - deluviální sedimenty; 8 - fluviální sedimenty; 9 - zlomy ověřené a předpokládané.

kteří byly dále mikroskopicky a analyticky zkoumány. Chemické analýzy byly provedeny na elektronové mikroskopě Cameca SX 100 v Brně na společném pracovišti elektronové mikroskopie a mikroanalýzy ÚGV PFF MU a ČGS (analytik Radek Škoda) za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 20 nA a velikost svazku 2 μm . Pro wolframity a scheelity byly použity tyto standardy: albit (Na), W (W), CrTa_2O_6 (Ta), gahnit (Al, Zn), MgAl_2O_4 (Mg), sanidin (K, Si), columbit Ivigtut (Nb, Fe), vanadinit (Pb), wollastonit (Ca), TiO (Ti), Mn_2SiO_4 (Mn), topaz (F), Bi (Bi) a Sn (Sn).

Slídy a jarosity byly analyzovány za těchto podmínek: urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 10 nA a velikost svazku 5 μm (pro slídy) a 8 μm (pro jarosity), za použití těchto standardů pro slídy: albit (Na), sanidin (Si, Al, K), pyrop (Mg), titanit (Ti), fluorapatit (P), chromit (Cr), pollucit (Cs), vanadinit (Cl), wollastonit (Ca), almandin (Fe), spessartin (Mn), ScVO_4 (V, Sc), gahnit (Zn), topaz (F), SrSO_4 a leucit (Rb). Jarosity byly analyzovány za použití těchto standardů: sanidin (Si, K, Al), lammerit (As, Cu), fluorapatit (P, Ca), uranofán (U), vanadinit (Cl, Pb), almandin (Fe), gahnit (Zn), Bi (Bi), SrSO_4 (S) a W (W).

Analýzy slíd byly dopočteny na 24 kyslíků, H_2O je dopočítána na základě stechiometrie. Orientačně bylo dopočítáno Li na základě vzorce $(2.1/(0.356+\text{Mg})) - 0.088$ (Tischendorf et al. 1999). Jarosity byly spočteny na ideální sumu kationtů ($\text{S} + \text{P} = 2$), obsah vody byl dopočten na základě stechiometrie.

Charakteristika studované mineralizace

Výskyt s W-mineralizací se nachází v lese na vrcholu kopce s názvem Pekelný vrch. V okolí kóty 579 m n. m. bylo nalezeno několik velkých kusů muskovit-křemenného greisenu (max. 0.5×0.3 m). Nalezené vzorky byly navětralé a silně limonitizované. Greisen je tvořen převážně mléčným křemenem s menším podílem světlé slídy, kontakt s okolní horninou je ostrý.

Wolframit vytváří makroskopicky celistvé, černé agregáty bez viditelné štěpnoti. Agregáty dosahují velikosti až 4 cm a bývají zarostlé v mléčném, místy narezavěném křemeni (obr. 2). Wolframit je vždy doprovázen světle žlutými až okrově zbarvenými agregáty scheelitu (max. 0.5 cm), okrovými až hnědými agregáty jarositu a limonitem. V křemeni bývají velmi časté partie velmi jemnozrnného muskovitu.

Mikroskopicky wolframit (ferberit) tvoří velmi malá hypautomorfní zrna o velikosti od 3 do 60 μm , která bez většího uspořádání vytvářejí porézní agregáty. Po trhlinách zatlačuje ferberit starší zrna scheelitu (obr. 3a) nebo je zcela pohlcuje. Pseudomorfozy wolframitu po scheelitu se v literatuře často označují jako *reinit* (Sahama 1981; Goldmann et al. 2013). Primární wolframit, starší než scheelit, nebyl na Pekelném vrchu u Jihlavy dosud nalezen.

V místech, kde již ferberit zcela pseudomorfoval primární hypautomorfní krystaly scheelitu, vznikají agregáty sekundárního ferberitu (*reinitu*), který si vždy zachovává tvar původního scheelitu (obr. 3b). Směrem ke krajům agregátů bývají drobná zrna ferberitu (*reinitu*) hustěji uspořádána a struktura agregátů je kompaktnější. Naopak ve středu agregátů jsou malé dutiny, které bývají prázdné nebo vyplněné jarositem (obr. 3c). Agregáty sekundárního ferberitu (*reinitu*) obsahují také drobná zrna četnějšího monazitu-(Ce) (6 - 30 μm), xenotimu (15 - 60 μm) (obr. 3d) a lišty nebo agregáty muskovitu.

Krystaly nebo drobné agregáty sekundárního ferberitu (*reinitu*) bývají součástí tzv. „brekcie“, která se skládá z lišt siderofylitu, zrn limonitu, jarositu a směsi jílových minerálů. Tato směs se vyskytuje v blízkosti pseudomorfovaných zrn scheelitu.

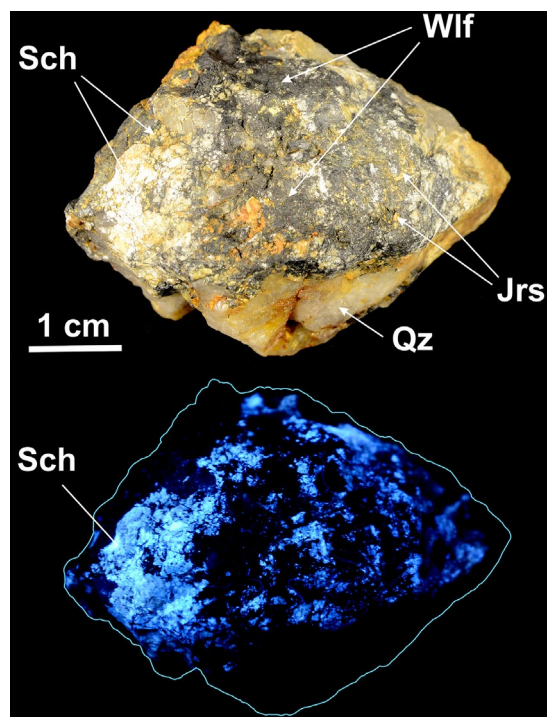
Sekundární wolframit (*reinit*) chemicky odpovídá téměř čistému ferberitu (23.42 - 23.88 hm. % FeO) s nepatrným obsahem hübnertové složky (0.07 - 0.17 hm. % MnO), ve dvou případech byl zjištěn hliník (0.10 a 0.18 hm. % Al_2O_3). Je chemicky homogenní, bez viditelné zónalnosti. Chemické složení sekundárního ferberitu (*reinitu*) je uvedeno v tabulce 1.

Hypautomorfně omezená zrna primárního scheelitu bývají velmi často popraskaná a trhliny jsou v některých případech vyplněny plumbojarositem. Scheelit a sekundární ferberit (*reinit*) spolu nikdy těsně nesrůstají, na jejich rozhraní jsou trhliny nebo dutiny. Tyto dutiny jsou zřejmě důsledkem rozdílného molárního objemu scheelitu a ferberitu, ale mohly vzniknout také vyvětráním jílových minerálů nebo vydrolením při leštění. Chemicky se scheelit blíží ideálnímu vzorci, je chemicky homogenní a bez zónalnosti. Pod mezí detekce byly tyto prvky: Ta, Nb, Si, Ti, Sn, Bi, Al, Mg, Fe, Mn, Zn, Pb, K a Na. Barva v UV světle je světle modrá (obr. 2).

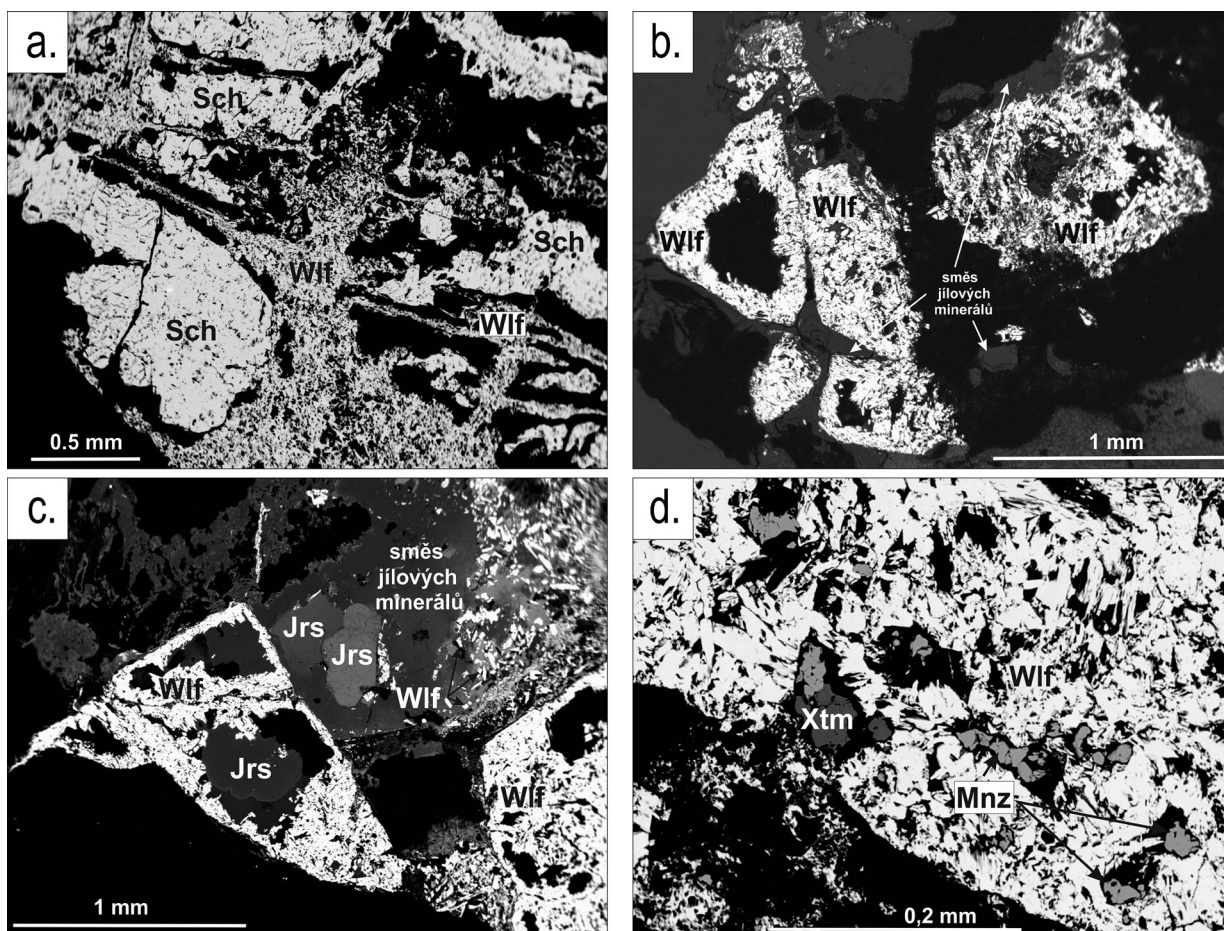
Muskovit byl zastížen ve formě lišt ($20 \times 250 \mu\text{m}$) nebo agregátů ($300 \times 400 \mu\text{m}$) zarostlých v agregátech sekundárního ferberitu (*reinitu*) společně s jarositem. Velice podobné je chemické složení muskovitu v agregátech sekundárního ferberitu (*reinitu*) a muskovitu v křemen-muskovitickém greisenu. Obsah fluoru se pohybuje v rozmezí 0.36 - 0.97 hm. %. Slída, která byla nalezena v „brekcii“ společně se sekundárním ferberitem a limonitem, byla určena podle klasifikačního diagramu jako **siderofylit** (obr. 4). Siderofylit vytváří drobné i větší lišty o velikosti 25 - 200 μm . Chemické složení slíd je uvedeno v tabulce 2.

Jarosit vyplňuje dutiny v agregátech sekundárního ferberitu (*reinitu*) nebo pukliny v scheelitu. Agregáty jarositu bývají také součástí velkých dutin mezi jednotlivými velkými agregáty sekundárního ferberitu (*reinitu*) a zrný scheelitu. Mimo hlavní prvky obsahuje jarosit také větší množství fosforu (2.8 - 9.5 hm. % P_2O_5), bizmutu (1.1 - 4.7 hm. % Bi_2O_3) a wolframu (1.3 hm. % WO_3). Na obrázku 5 je dobře vidět poměr mezi obsahy wolframu, fosforu a síry.

Plumbojarosit byl zastížen pouze na puklinách v primárním scheelitu. Stejně jako jarosit obsahuje větší množství wolframu (5.7 - 7 hm. % WO_3), fosforu (1.5 - 1.7 hm. % P_2O_5) a bizmutu (0.34 - 0.68 hm. % Bi_2O_3). Chemické analýzy jarositu a plumbojarositu jsou uvedeny v tabulce 3.



Obr. 2 Makroskopický vzorek sekundárního wolframitu (*reinitu*), primárního scheelitu a jarositu zarostlý v křemeni v denním a UV světle; foto Z. Buřival.

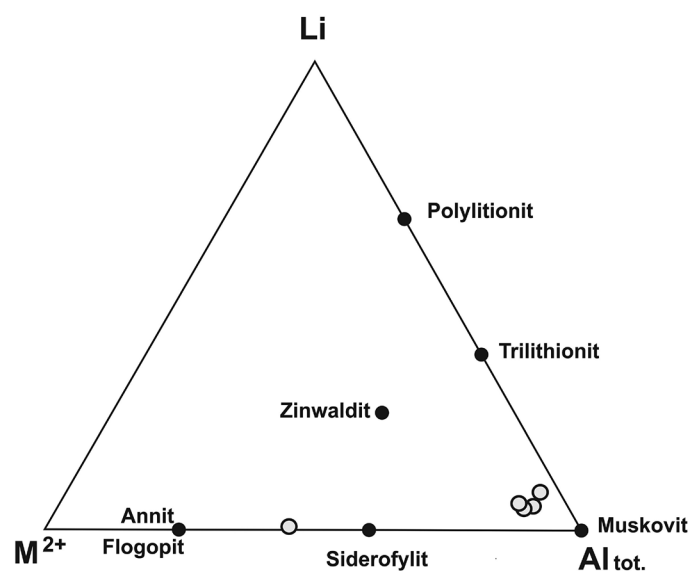
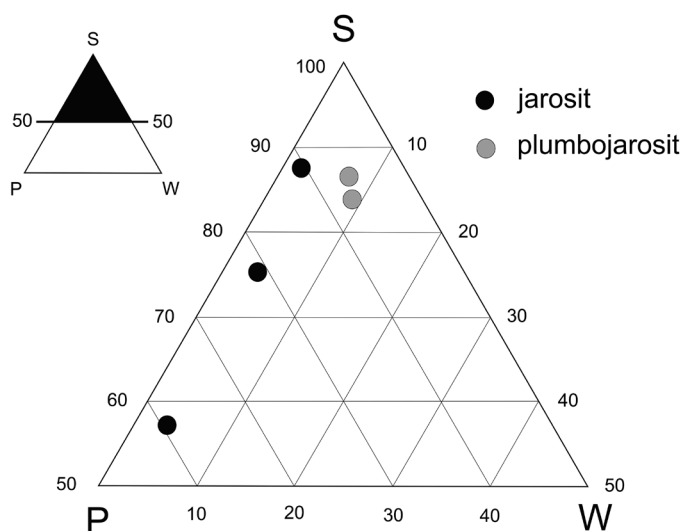


Obr. 3 a) Sekundární wolframit zatlačuje po trhlinách primární scheelit; b) porézní pseudomorfoza wolframitu (*reinitu*) po scheelitu v asociaci s jílovými minerály; c) pseudomorfoza wolframitu (*reinitu*) po scheelitu s dutinami částečně zaplněnými jarositem; v pravém horním rohu fotografie je situována směs zrn sekundárního wolframitu, jarositu a jílových minerálů; d) zrna monazitu-(Ce) a xenotimu zarostlá v agregátu sekundárního wolframitu (*reinitu*) složené z velice drobných hypautomorfne omezených zrn; BSE foto R. Škoda.

Tabulka 1 Chemické složení sekundárních wolframitů z Pekelného vrchu u Jihlavy (hm. %)

	1	2	3	4	5	7	8	ideální vzorec
WO ₃	75.78	76.04	75.76	76.40	76.59	75.45	75.41	76.34
SiO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.05	n.d.	n.d.	
Al ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.10	0.18	
FeO	23.85	23.55	23.62	23.42	23.15	23.49	23.88	23.66
MnO	0.09	0.10	0.13	0.17	0.14	n.d.	0.07	
Total	99.72	99.69	99.52	99.99	99.94	99.03	99.53	100.00
Si ⁴⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	
Fe ²⁺	1.006	0.998	1.000	0.991	0.983	0.999	1.004	1.000
Mn ²⁺	0.004	0.004	0.006	0.007	0.006	0.000	0.003	
Total	1.010	1.002	1.006	0.998	0.992	0.999	1.007	1.000
W ⁶⁺	0.990	0.998	0.994	1.002	1.008	0.995	0.983	1.000
Al ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.010	
Total	0.990	0.998	0.994	1.002	1.008	0.995	0.983	1.000
O ₄	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000

n.d. - nebylo detekováno; prvky pod mezí detekce: Ta, Nb, Ti, Sn, Bi, Mg, Zn, Ca, Na, K, F

**Obr. 4** Ternární diagram složení slíd z Pekelného vrchu u Jihlavy (M²⁺ - suma dvojmocných kationtů), upraveno podle Moniera a Roberta (1986).**Obr. 5** Ternární diagram poměru W, S, a P v jarositech a plumbojarositech z Pekelného vrchu u Jihlavy.**Tabulka 2** Chemické složení muskovitu (10, 11 - muskovit v sekundárním wolframitu; 16, 17 - muskovit z křemen-muskovitového greisenu) a siderofylitu (18)

	10	11	16	17	18
SiO ₂	51.91	48.47	45.99	46.79	37.12
TiO ₂	0.05	0.12	0.10	0.71	2.17
Al ₂ O ₃	29.82	31.16	35.39	32.79	19.29
Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	0.07	n.d.	n.d.
MgO	1.86	1.39	0.73	1.44	9.42
CaO	0.08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO	1.03	2.18	0.97	0.99	15.88
MnO	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.23
Na ₂ O	0.11	0.16	0.80	0.36	0.19
K ₂ O	7.86	10.34	10.12	10.87	7.40
Rb ₂ O	0.08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Li ₂ O*	0.86	1.11	1.84	1.08	0.13
Cl	0.03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
F	0.43	0.37	0.21	0.27	0.56
H ₂ O*	4.15	4.13	4.30	4.22	3.46
Total	98.27	99.43	100.52	99.52	95.85
Ca ²⁺	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Na ⁺	0.014	0.021	0.104	0.047	0.028
K ⁺	0.667	0.891	0.866	0.937	0.721
Rb ⁺	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	0.684	0.912	0.970	0.984	0.749
Ti ⁴⁺	0.003	0.006	0.005	0.036	0.125
Al ³⁺	1.790	1.755	1.886	1.770	0.571
Cr ³⁺	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000
Mg ²⁺	0.184	0.140	0.073	0.144	1.073
Fe ²⁺	0.057	0.123	0.054	0.056	1.014
Mn ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015
Li ²⁺	0.115	0.151	0.249	0.147	0.019
Total	2.149	2.175	2.271	2.153	2.817
Si ⁴⁺	3.453	3.274	3.087	3.160	2.835
Al ³⁺	0.547	0.726	0.913	0.840	1.165
Total	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Cl	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
F	0.155	0.137	0.076	0.100	0.235
OH	1.841	1.863	1.924	1.900	1.765

n.d. - nebylo detekováno; pod mezí detekce: P, S, V, Sc, Zn, Cs

Diskuse

Při pseudomorfoze wolframitu po scheelitu vzniká již zmíněný sekundární wolframit (*reinit*). Vápniček v původním scheelitu je v takovýchto případech zcela nahrazen železem (Sahama 1981). Protože je molární objem ferberitu o cca 15 % nižší než u scheelitu, bývá *reinit* tvořen jemnozrnným agregátem drobných krystalů ferberitu s četnými póry (Goldmann et al. 2013). Pseudomorfozy si zachovávají původní tvar tetragonální dipyramidy scheelitu, díky porézności jsou však velmi křehké. Někdy proto mohou zůstat v křemenné žilovině pouhé otisky po těchto pseudomorfozách. Velikost těchto pseudomorfoz se v Ugandě pohybuje mezi 15 - 20 cm (Sahama 1981).

Na světě se vyskytuje jen několik lokalit se sekundárním wolframitem - *reinitem*. Nejvíce výskytů je ve Rwandě - Nyakabingo, Gifurwe, Bugarama a Ritsiro (Goldmann et al. 2013), dále v Japonsku - Sannotake, Kibosan a Otome mine (Horn 1930), Ugandě - Ruhizha, Nyamalilo, Kirwa (Reedman 1973; Sahama 1981).

Nejlépe prozkoumané výskytů sekundárního wolframitu (*reinitu*) jsou Nyakabingo, Gifurwe a Bugarama v centrální Rwandě. Wolframová mineralizace je zde vázaná na křemenné žíly v alterovaných pískovcích, kvarcitech a hlavně v karbonických břidlicích. Pravděpodobný původ fluid s rudní fází je přičítán intruzi granitu (G4) o stáří 986 +/- 10 Ma (Goldmann et al. 2013). Podle Goldmanna et al. (2013) se na těchto ložiskách nacházejí tři typy wolframitu, které byly analyzovány pomocí laserové ablace (LA-ICP-MS). První typ prezentuje původní primární ferberit, který tvoří masivní agregáty a krystaly. Není zatlačován scheelitem, pouze s ním srůstá. Místy může obsahovat inkluze scheelitu a pyritu. Druhým typem je sekundární ferberit (*reinit*), který vzniká zatlačováním zrn primárního scheelitu. Stejně jako u Pekelného vrchu se jedná o agregáty drobných krystalů, které vytvářejí pseudomorfozy po původním scheelitu. Uvnitř agregátů sekundárního ferberitu z obou lokalit jsou dutiny se zrny xenotimu a muskovitu. Třetí typ wolframitu (ferberitu) je rovněž sekundární a vyznačuje se tím, že zatlačuje krystaly primárního ferberitu (typ 1). Podobně jako *reinit* vytváří jemně krystalické agregáty. Pokud je primární wolframit zatlačován sekundárním wolframitem, tvoří se v primárním masivním wolframitu, při hranici zatlačování, malé dutiny (Goldmann et al. 2013).

W-mineralizace ve Rwandě je doprovázena dalšími minerály, jako jsou chalkopyrit, galenit, cosalit, bizmut, bizmutit, supergenní minerály W (*ferritungstít*, *anthonoit*, *alumatungstít* atd.) a oxidy Fe. Sulfidickou asociaci ve Rwandě považují autoři za pozdější než primární wolframit-scheelitové zrudnění, zároveň však uvádějí protichůdné informace ohledně vztahu sulfidů k sekundárním wolframitům a zřejmě ještě mladším wolframovým minerálům, které společně s jarositem vyplňují póry v *reinitu* (Goldmann et al. 2013).

Sekundární wolframit se liší nejen morfologickou formou, ale i svým chemickým složením, kdy primární wolframity mají vyšší podíl hübneritové nebo huanzalaitové složky, sekundární wolframity bývají téměř čisté ferberity s nepatrným množstvím stopových prvků (Goldmann et al. 2013).

O sekundárním wolframitu se také zmiňuje Litochleb et al. (1988) ve svém článku o Malčicích na Českokrumlovsku, kde je W-zrudnění vázáno na křemennou čočku v ortorule. Obdobný výskyt je i na lokalitě Cetoraz u Pacova, kde bylo W-zrudnění zastíženo v metamorfovaných

Tabulka 3 Chemické složení plumbojarositu (14, 15) a jarositu (19, 20, 21) z Pekelného vrchu u Jihlavy

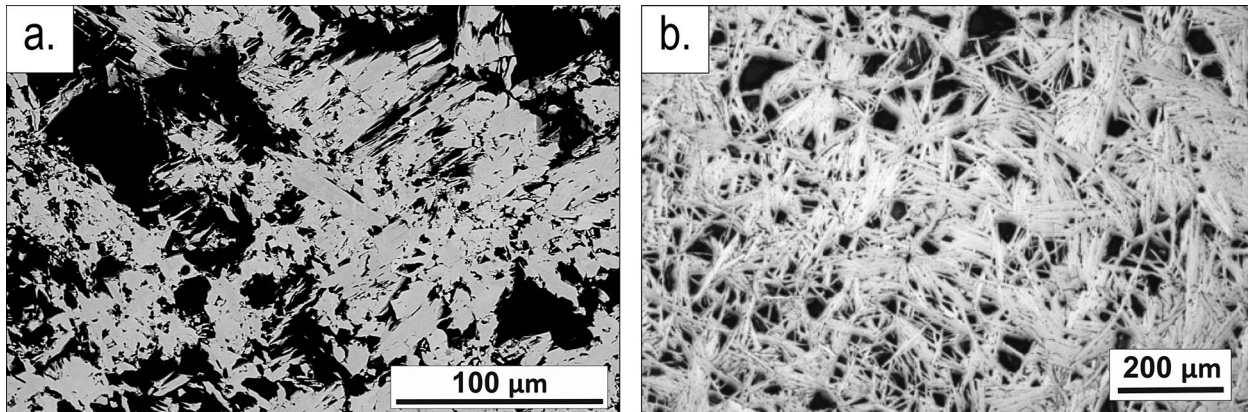
	14	15	19	20	21
SO ₃	22.75	21.90	26.89	15.40	21.94
WO ₃	5.67	7.02	1.27	2.74	3.12
P ₂ O ₅	1.51	1.69	2.80	9.57	5.31
Al ₂ O ₃	0.63	0.89	1.10	8.01	2.37
Fe ₂ O ₃	35.13	36.18	42.33	28.11	38.64
Bi ₂ O ₃	0.34	0.68	1.14	4.68	3.05
CaO	0.29	0.23	0.15	0.33	0.19
CuO	n.d.	n.d.	n.d.	0.27	n.d.
PbO	19.13	18.25	2.01	13.61	4.27
K ₂ O	0.25	0.21	7.06	2.89	5.60
Cl	0.21	n.d.	n.d.	0.16	n.d.
H ₂ O*	8.25	8.03	10.14	8.84	9.43
Total	94.16	95.07	94.90	94.60	93.91
Bi ³⁺	0.010	0.020	0.026	0.123	0.075
Ca ²⁺	0.034	0.028	0.014	0.036	0.019
Pb ²⁺	0.561	0.550	0.048	0.373	0.110
Cu ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.021	0.000
K ⁺	0.034	0.031	0.798	0.376	0.682
Total	0.639	0.628	0.887	0.928	0.886
Al ³⁺	0.081	0.117	0.115	0.960	0.267
Fe ³⁺	2.881	3.049	2.825	2.153	2.774
Total	2.963	3.166	2.940	3.114	3.041
S ⁶⁺	1.861	1.840	1.790	1.176	1.571
W ⁶⁺	0.160	0.204	0.029	0.072	0.077
P ⁵⁺	0.139	0.160	0.210	0.824	0.429
Total	2.160	2.204	2.029	2.072	2.077
Cl	0.039	0.000	0.000	0.030	0.000
OH	5.961	6.000	6.000	5.970	6.000
O ₂	8.481	8.902	7.893	8.255	8.161

n.d. - nebylo detekováno; prvky pod mezí detekce: As, Si, U, Zn

greisenech v ortorule. Původní primární wolframit je místy zatlačován scheelitem nebo sekundárním wolframitem. Byly zde zjištěny i pseudomorfozy sekundárního wolframitu (*reinitu*) po scheelitu (Malec 1985).

Na lokalitě Pekelný vrch nebyl nalezen původní primární wolframit, všechny zkoumané vzorky jsou tvořeny jemně krystalickým sekundárním ferberitem - *reinitem*. Analyzovaný sekundární ferberit z Pekelného vrchu se výrazně podobá typu 2 ze Rwandy (obr. 6 a, b) (Goldmann et al. 2013). Obsahuje rovněž zrna muskovitu, xenotimu a monazitu. Ze sulfidických minerálů byl na lokalitě zastíženo pouze pyrit, nicméně v blízkosti greisenizovaných poloh byly ve vrtech zastíženy žíly s Pb-Zn zrudněním (Veselá et al. 1989).

Chemické složení muskovitů v greisenizovaných partiích má obdobné složení jako muskovity zarostlé v agregátech sekundárního wolframitu. Muskovity z Pekelného vrchu obsahují zvýšené množství fluoru (0.36 - 0.97 hm. %). Orientačně bylo dopočítáno lithium, které by se mohlo pohybovat v rozmezí 0.86 - 1.84 hm. % Li₂O. Staré analýzy provedené při ložiskovém průzkumu Pekelného vrchu však nepotvrdily žádné obsahy Li v muskovitu (Veselá et al. 1989). Chemické složení muskovitu spadá mezi chemické složení muskovitů z greisenů u Výkmanova a Krásna. Muskovit z Výkmanova má obsah fluoru mezi 0.62 - 0.68 hm. % a 0.10 hm. % Li₂O (Štemprok et al. 2005)



Obr. 6 Drobné krystaly sekundárního wolframitu (*reinitu*) po scheelitu a) z Pekelného vrchu u Jihlavy (viz. tato práce) a b) ze Rwandy (Goldmann et al. 2013).

a muskovit z Krásna má obsah fluoru 2.6 - 3.75 hm. % a 1.75 - 2.52 hm. % Li_2O (Jarchovský 2006).

Jarosit a plumbojarosit obvykle vznikají při zvětrávání sulfidů, vzácně však vznikají i jako primární hydrotermální minerály (např. Lueth et al. 2005). Podmínky jejich vzniku jsou poměrně přesně vymezeny teplotami mezi 80 - 200°C, pH okolo 3 a obsahem síranů nad 1000 mg/l. Za vyšších teplot jarosity nevznikají a při vyšším pH se rozkládají na hydratované oxidy železa a sírany (Dutrizac, Jambor 2000; Murad, Rojík 2004). Jarosity mají poměrně variabilní složení a mohou obsahovat řadu prvků. Jarosity mají možnost ve značné míře sorbovat některé kovy (Alpers et al. 2000), odlišeně strukturně vázaných a sorbovaných prvků ale může představovat značný analytický problém.

Z uvedených údajů vyplývá, že jarosity zřejmě vznikly rozkladem sulfidů (zdroj S, Fe a Pb) a reagovaly s wolframovým zrudněním (prostorová souvislost, zvýšený obsah W). Zajímavý je anomálně vysoký obsah W, P a Bi v jarositu i plumbojarositu. S ohledem na heterogenní charakter pozdních výplní jarositů a limonitu však zcela spolehlivě určit, zdali se jedná o strukturně vázané prvky anebo o inkluze dalších sekundárních minerálů (Sahama 1981). V Ugandě byly jarosity a směsi jílových minerálů označovány jako „wolframové okry“. Byly nalezeny uvnitř pseudomorfóz *reinitu*, vyplňovaly jeho póry a jádra tenkých žilek (Sahama 1981). Sahama (1981) ve svém příspěvku zmiňuje i problematiku měření chemického složení wolframových okry, které pravděpodobně obsahují velmi malé krystaly různých minerálů wolframu (např. *ferritungstít*, *alumatungstít*, *anthonoit*, *mpororoit* atd.).

Vznik pseudomorfóz ferberitu po scheelitu byl zřejmě způsoben hydrotermální alterací, spojenou s úplným odnosem Ca. Sekundární ferberit (*reinit*) mohl vznikat společně s muskovitem, xenotimem a monazitem v první fázi a teprve později zřejmě vznikl jarosit a limonit. Zvýšený obsah W a P v jarositech může souviset s částečným rozkladem wolframů, fosfátů (monazit, xenotim) a živců. Možný je však i současný vznik všech uvedených fází. Vznik jarositů společně se vznikem pseudomorfóz ferberitu po scheelitu je sice s ohledem na běžné podmínky vzniku ferberitu a jarositů nepravděpodobný, ale nelze jej zcela vyloučit. S ohledem na poměrně omezené podmínky vzniku jarositu a jejich těsné sepětí se sekundárním ferberitem a scheelitem, je pravděpodobné působení

značně kyselých (pH < 3) fluid s vysokým obsahem Fe a síranů a také obsahem P, Pb, Bi, Ce, Y a zřejmě i s dalšími REE prvky. Horní mez stability jarositů se pohybuje okolo 200°C, takže celý proces pravděpodobně probíhal za poměrně nízkých teplot (Dutrizac, Jambor 2000). Alterace mohla probíhat jako pozdní fáze přímo při vzniku zrudnění, mohla však být také výrazně pozdější.

Další výskyty greisenizovaného granitu, podobné lokalitě Pekelný vrch u Jihlavy, se nacházejí u obce Nový Hubenov, dále sv. od obce Bílý Kámen a s. od obce Smrčná u Jihlavy (Veselá et al. 1989).

Závěr

Zkoumané vzorky křemen-muskovitového greisenu s wolframitem a scheelitem z lokality Pekelný vrch u Jihlavy poskytly nové poznatky o W-mineralizaci v oblasti centrálního moldanubického plutonu.

Na lokalitě byl zjištěn výskyt pseudomorfóz sekundárního ferberitu ($\text{Fe}_{0.997}\text{Mn}_{0.004}\text{Zr}_{1.001}(\text{W}_{0.996}\text{Al}_{0.002})_{\Sigma 0.998}\text{O}_4$ po scheelitu, který je v literatuře všeobecně označován jako *reinit*. Jedná se o pseudomorfózy, které jsou tvořeny porézními agregáty drobných krystalů sekundárního wolframitu. V agregátech sekundárního ferberitu (*reinitu*) byly nalezeny drobné krystaly monazit-(Ce), xenotimu a fluorem bohatého muskovitu. Dutiny v centrech agregátů sekundárního wolframitu bývají prázdné nebo obsahují agregáty jarositu. Scheelit je zatlačován po trhlínách sekundárním wolframitem (*reinitem*) nebo již zcela pseudomorfován. Jarosit i plumbojarosit mají poměrně vysoký obsah P, W a Bi.

Vznik sekundárního wolframitu (*reinitu*), monazit, xenotimu, muskovitu a jarositů je pravděpodobně výsledkem hydrotermální alterace, která mohla probíhat i ve více fázích. Přesné časové zařazení této alterace je problematické. Přítomnost jarositů však dokládá vznik za nízkých teplot (pod 200 °C) a pH < 3.

Poděkování

Autoři by rádi poděkovali RNDr. S. Houzarovi, PhD., doc. RNDr. Z. Lososovi, CSc. a Mgr. J. Cempírkovi, PhD. za rady a připomínky při tvorbě této práce. Za WDS analýzy a BSE fotografie jsme zavázáni Mgr. R. Škodovi, PhD. Analytické práce byly finančně podpořeny prostředky specifického výzkumu ÚGV PŘF MU.

Literatura

- Alpers Ch. N., Jambor J. L., Stoffregen R. E. (2000) Alunite-jarosite crystallography, thermodynamics, and geochronology. In Alpers Ch. N., Jambor J. L., Nordstrom D. K., Ribbe P. H. (editors) Sulfate minerals - crystallography, geochemistry and environmental significance. *Mineralogical Society of America, Washington*.
- Česká geologická služba (2015) Geologická mapa 1 : 50 000, Rantířov. On-line: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=674400&x=1128100&s=1, staženo dne: 10. 6. 2015.
- Dutrizac J. E., Jambor J. L. (2000) Jarosites and their application in hydrometallurgy. In: Alpers Ch. N., Jambor J. L., Nordstrom D.K., Ribbe P. H. (editors): Sulfate minerals - crystallography, geochemistry and environmental significance. *Mineralogical Society of America, Washington*.
- Goldmann S., Melcher F., Gäbler H.-E., Dewaele S., De Clercq F., Muchez P. (2013) Mineralogy and trace element chemistry of ferberite/reinite from tungsten deposit in Central Rwanda. *Minerals* 3, 121-144, doi: 10.3390/min3020121.
- Horn F. R. (1930) Replacement of wolframite by scheelite with observations on the fluorescence of certain tungsten minerals. *Am. Mineral.* 15, 461-469.
- Janečka J. (1964) Předběžné zhodnocení prací provedených na Sn rudy a prognózní ocenění zásob ložisek Sn rud v Českém masivu. *MS, Ústř. úst. geol., Praha. Geofond P112251*.
- Jarchovský T. (2006) The nature and genesis of greisen stocks at Krásno, Slavkovský les area - western Bohemia, Czech Republic. *J. Czech Geol. Soc.* 51, 3-4, 201-216.
- Jurák V. (1963) Geologie stříbrno-olověno-zinkových ložisek v moldanubiku mezi Ledčí n. S. a Leštinou. *MS, diplom. práce, PíF UK Praha. Geofond P16542*.
- Jurák V., Tenčík I. (1970) Přehled cínové a wolframové mineralizace v prostoru Českomoravské vysočiny. *Vlastivěd. Sbor. Vysočiny, Odd. Věd přír.* 6, 21-28.
- Litochleb J., Novák V., Šrein V. (1988) Nález W-zrudnění u Malčic na Českokrumlovsku. *Sbor. Jihočes. Muz. v Čes. Budějovicích, Přírod. Vědy* 28, 95-98.
- Lueth V. W., Rye R. O., Peters L. (2005) „Sour gas“ hydrothermal jarosite: ancient to modern acid-sulfate mineralization in the southern Rio Grande Rift. *Chemical Geology* 215, 339-360.
- Malec J. (1985) Geneze scheelitu na vybraných lokalitách. *MS, Úst. ner. sur. Kutná Hora. Geofond P 111543*.
- Monier G., Robert J.-L. (1986) Evolution of the miscibility gap between muscovite and biotite solid solutions with increasing lithium content: an experimental study in the system $K_2O-Li_2O-MgO-FeO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-HF$ at 600°C, 2 kbar P_{H_2O} : comparison with natural lithium micas. *Mineral. Mag.* 50, 641-651.
- Murad E., Rojik P. (2004) Jarosite, schwertmannite, goethite, ferrihydrite and lepidocrocite: the legacy of coal and sulfide ore mining. In: *3rd Australian-New Zealand Soils Conference*.
- Reedman A. J. (1973) Partly remobilised syngenetic tungsten deposit at Nyamalilo mine. *Overseas Geol. Miner. Resour.* 41, 101-106.
- Sahama T. G. (1981) The secondary tungsten minerals, a review. *Min. Record* 12, 81-87.
- Štemprok M., Pivec E., Langrová A. (2005) The petrogenesis of a wolframite-bearing greisen in the Vykmanov granite stock, Western Krušné hory pluton (Czech Republic). *Bull. Geosciences* 80, 3, 163-184.
- Tischendorf G., Förster H.-J., Gottesmann B. (1999) The correlation between lithium and magnesium in trioctahedral micas: Improved equations for Li_2O estimation from MgO data. *Mineral. Mag.* 63, 1, 57-74.
- Veselá M. (1963) Druhá zpráva o geologickém mapování v okolí Jihlavy. *Zpr. geol. Výzk. v r. 1963, sv. 1., Ústř. Úst. geol., Praha, 55-56*.
- Veselá M., Hrádek M., Chrobok J., Šalanský K. (1989) Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000, 23-234 Jihlava. *Ústř. Úst. geol. Praha, 68 s.*