

Nový výskyt žilné W-mineralizace v tanvaldském granitu z Jablonce nad Nisou - mineralogie, chemické složení fází a fluidní inkluze

New occurrence of vein W-mineralization in Tanvald granite from Jablonec nad Nisou - mineralogy, chemical composition of minerals and fluid inclusions

JANA ULMANOVÁ* A ZDENĚK DOLNÍČEK

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

ULMANOVÁ J, DOLNÍČEK Z (2019) Nový výskyt žilné W-mineralizace v tanvaldském granitu z Jablonce nad Nisou - mineralogie, chemické složení fází a fluidní inkluze. Bull Mineral Petrolog 27(1): 193-204 ISSN 2570-7337

Abstract

A new locality of vein tungsten mineralization has been discovered in Jablonec nad Nisou, northern Bohemia (Czech Republic). It's the first occurrence of this type of mineralization to be hosted directly in the Tanvald granite. The W-mineralization is formed mainly by tabular black wolframite, whose chemical composition corresponds to ferberite with 0.17 - 0.37 *apfu* Mn and ≤ 0.019 *apfu* Mg, Nb, Ta, and Mo. Wolframite is partly replaced by scheelite, which is sometimes enriched in Mo (up to 0.35 *apfu*). Powellite rich in scheelite component (0.42 *apfu* W), hematite, cassiterite and secondary W-rich (up to 15.3 wt. % WO_3) Fe-Mn oxy-hydroxides are accessories. The gangue is formed by massive quartz. Quartz-hosted primary fluid inclusions contain low-salinity (0 - 4.6 wt. % NaCl eq.) $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{CH}_4$ homogeneously trapped fluids with homogenization temperatures of 240 - 390 °C. Secondary fluid inclusions contain low-salinity fluids (up to 6.7 wt. % NaCl eq.) with $T_h = 105 - 218$ °C and high-salinity (16.2 - 26.4 wt. % NaCl eq.) $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$ fluids with $T_h = 57 - 123$ °C, the latter resembling post-Variscan brines described from many other localities in the Bohemian Massif.

Key words: wolframite, scheelite, fluid inclusions, Tanvald granite, Krkonoše-Jizera pluton

Obdrženo 2. 5. 2019; přijato 8. 7. 2019

Úvod

Z oblasti krkonoško-jizerského plutonu a jeho pláště bylo dosud popsáno pouze malé množství drobných výskytů wolframového zrudnění, přestože byl při regionální šlichové prospekci v těžké frakci zjištěn po celé ploše plutonu výrazně zvýšený podíl wolframu oproti sousedním geologickým jednotkám (Abraham et al. 2000). Výskyty W-mineralizace jsou známy převážně z kontaktní zóny krkonoško-jizerského plutonu s krkonoško-jizerským krystalinikem nebo z jeho exokontaktů (obr. 1). O výskytu žilné mineralizace přímo v žulách krkonoško-jizerského plutonu existují dosud pouze tři zmínky o blíže nestudovaných nálezech. Další nově objevený výskyt je popsán v této práci.

V exokontaktu krkonoško-jizerského plutonu jsou výskyty wolframitu vázány převážně na drobná tělesa topazových greisenů na lokalitách Vítkov (Pašava et al. 2015; Sidorinová, Dobeš 2015), Lysý vrch a Růžek (Klomínský et al. 2004; Sidorinová, Dobeš 2015) ležících nedaleko města Chrastava a v zóně mezi obcemi Mladz, Kamień a Pobiedna v Polsku (Karwowski 1973, 1977). Klomínský a Táborský (2003) popisují výskyt wolframitové mineralizace z exokontaktu tanvaldského granitu u obce Jeřmanice. Zrudnění je zde vázáno na až 30 cm mocné křemenné žily uložené v kontaktně metamorfovaných fylitech krkonoško-jizerského krystalinika blízko styku s tanvaldským granitem.

U Albrechtic u Frýdlantu popsal Honsa (1967) výskyt

úloмокů granitu s aplitem a křemennou žilovinou s wolframitem přímo na styku jizerské ortoruly a libereckého granitu. W-mineralizace je známa rovněž z krkonošské části kontaktní zóny krkonoško-jizerského plutonu. V Harrachově byla objevena křemenná žilovina s wolframitem uložená v granitu (Chrt et al. 1982). Dále se v Krkonoších vyskytuje scheelitová mineralizace (výjimečně i s wolframitem) na ložiscích polymetalických skarnů. Nejznámější jsou lokality Bílé Labe a Obří důl, kde scheelit impregnuje i okolní liberecký granit (Bernard 1981).

Ze střední části plutonu byly výskyty minerálů wolframu na české straně zjištěny pouze v náplavech Jizerky při vrtném průzkumu na Malé Jizerské louce. Nalezeny byly úlomky křemenné žiloviny se zarostlým wolframitem a scheelitem (Novák, Vavříň 1972). Z polské části krkonoško-jizerského plutonu jsou popsány v krkonošském granitu výskyty Sn-W-Mo-zrudnění na žilkách, v miarolitických dutinách a v pegmatitových hnízdech v porfyrickém granitu z lomu v Michałowicích a v mikrogranitu z lomu Szklarska Poręba-Huta, kde je zrudnění navíc i vtoušené přímo v hornině (Mochacka et al. 2015; Kozłowski, Matyszczyk 2018).

Tato práce popisuje nový nález křemen-wolframitové žilné mineralizace u Jablonce nad Nisou objevený při terénních pracích v roce 2018. Jedná se o první výskyt wolframitového zrudnění vázaný na tanvaldský granit.

Geologická pozice a lokalizace studovaného výskytu

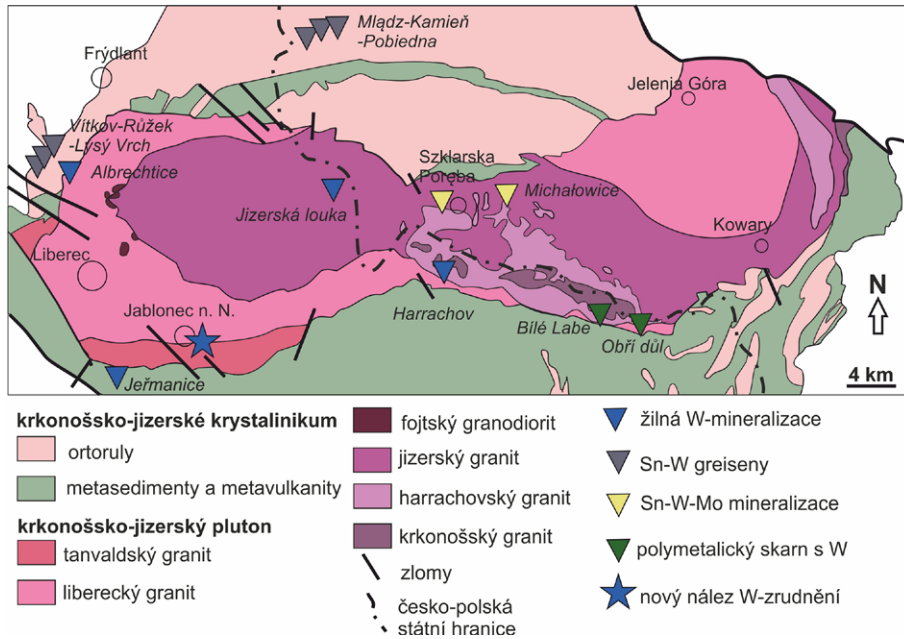
Krkonoško-jizerský pluton intrudoval v karbonu do spodnopaleozoických metamorfítů krkonoško-jizerského krystalinika. Převážně je tvořen dvěma typy porfyrických středně až hrubě zrnitých biotitických granitů - jizerským a libereckým granitem (obr. 1). Oba typy mají řadu společných charakteristik, například to, že se vyznačují vyrostlicemi růžových K-živců, ale liší se velikostí zrna, modálním i chemickým složením a magnetickými vlast-

nostmi (Chaloupský et al. 1989; Jarchovský et al. 2010; Žák et al. 2013).

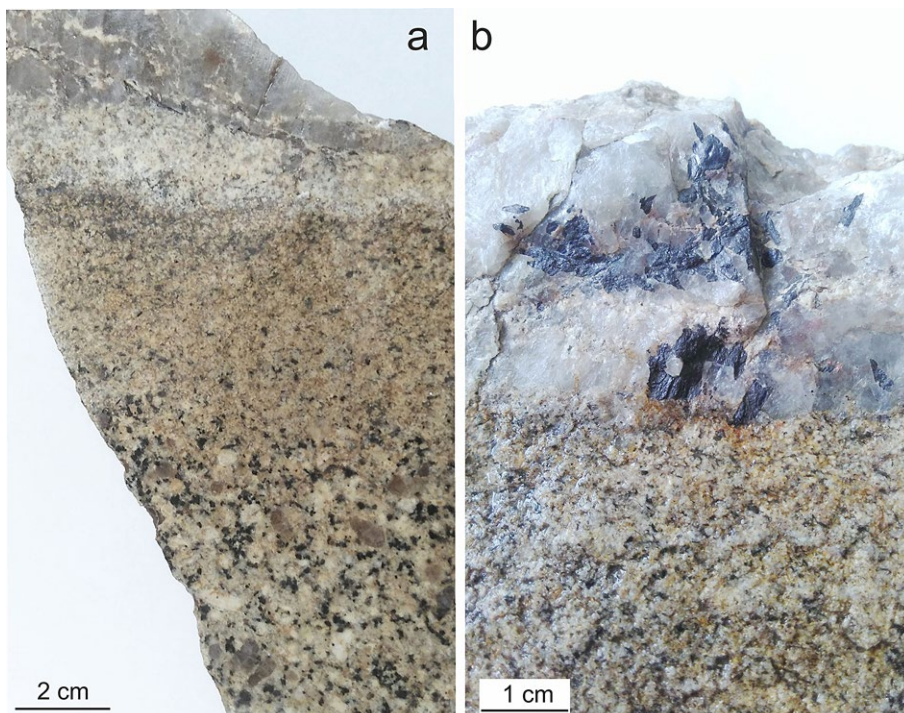
V menší míře jsou v plutonu zastoupeny středně zrnité až drobnozrnité biotitické neporfyrické granity (harrachovský, krkonošský), které budují svahy krkonošského hřebene. Stejně jako liberecký a jizerský typ jsou i harrachovský a krkonošský granit I-typovými granity (Kozłowski et al. 2016). Poněkud odlišným horninovým typem od výše zmíněných je fojtský granodiorit, který vystupuje v podobě izolovaných drobných těles podél hranice jizerského a libereckého granitu. Jedná se o porfyrický, středně zrnitý až jemnozrný amfibol-biotitický granodiorit až kvarcdiorit, který představuje různě intenzivně granitizované amfibolity. Oproti výše zmíněným biotitickým žulám je poněkud mafičtější (Chaloupský et al. 1989; Žák, Klomínský 2007).

Posledním litologickým členem krkonoško-jizerského plutonu je tanvaldský granit, jenž tvoří dvě izolovaná tělesa při jihozápadním a západním okraji krkonoško-jizerského plutonu (obr. 1). Tělesa představují reliktů původně jednoho magmatického tělesa, jehož intruze předcházela intruzím ostatních typů granitů (Klomínský et al. 2009). Na rozdíl od biotitických granitů, které jsou si vzájemně dosti blízké, se tanvaldský granit z petrologického hlediska v několika ohledech odlišuje. Jedná se totiž převážně o středně a stejnoměrně zrnitý S-typový granit. Na rozdíl od granitů I-typu je tanvaldský granit dvojslídny a muskovit i biotit je v něm zastoupen ve zhruba stejném množství. Výjimkou je při kontaktní zóně s libereckým granitem, kde je nevýrazně porfyrický, s významnou převahou biotitu nad muskovitem a poněkud nižším celkovým obsahem slíd (kolem 5 obj. %). Oproti biotitickým granitům je tanvaldský typ kyselejší a z plagioklasů je přítomen pouze albit. Z akcesorických minerálů se často vyskytuje granát (spessartin-almandin), dále pak magnetit, andalusit, monazit a zirkon (Klomínský et al. 2007; Fediuková et al. 2008; Klomínský et al. 2009).

Nově objevená lokalita wolframové mineralizace se nachází na jv. okraji Jablonce nad Nisou (GPS: 50°43'10.411"N, 15°11'43.892"E, obr. 1), neda-



Obr. 1 Zjednodušená geologická mapa krkonoško-jizerského plutonu se zakreslenými výskytů minerálů wolframu a pozici studované lokality (upraveno podle Žáka et al. 2013).



Obr. 2 Makroskopický vzhled studovaného vzorku. a - příčný řez studovaným vzorkem, b - černošedé tabulky wolframu tvořící shluky při okraji křemenné žíly. Foto J. Ulmanová.

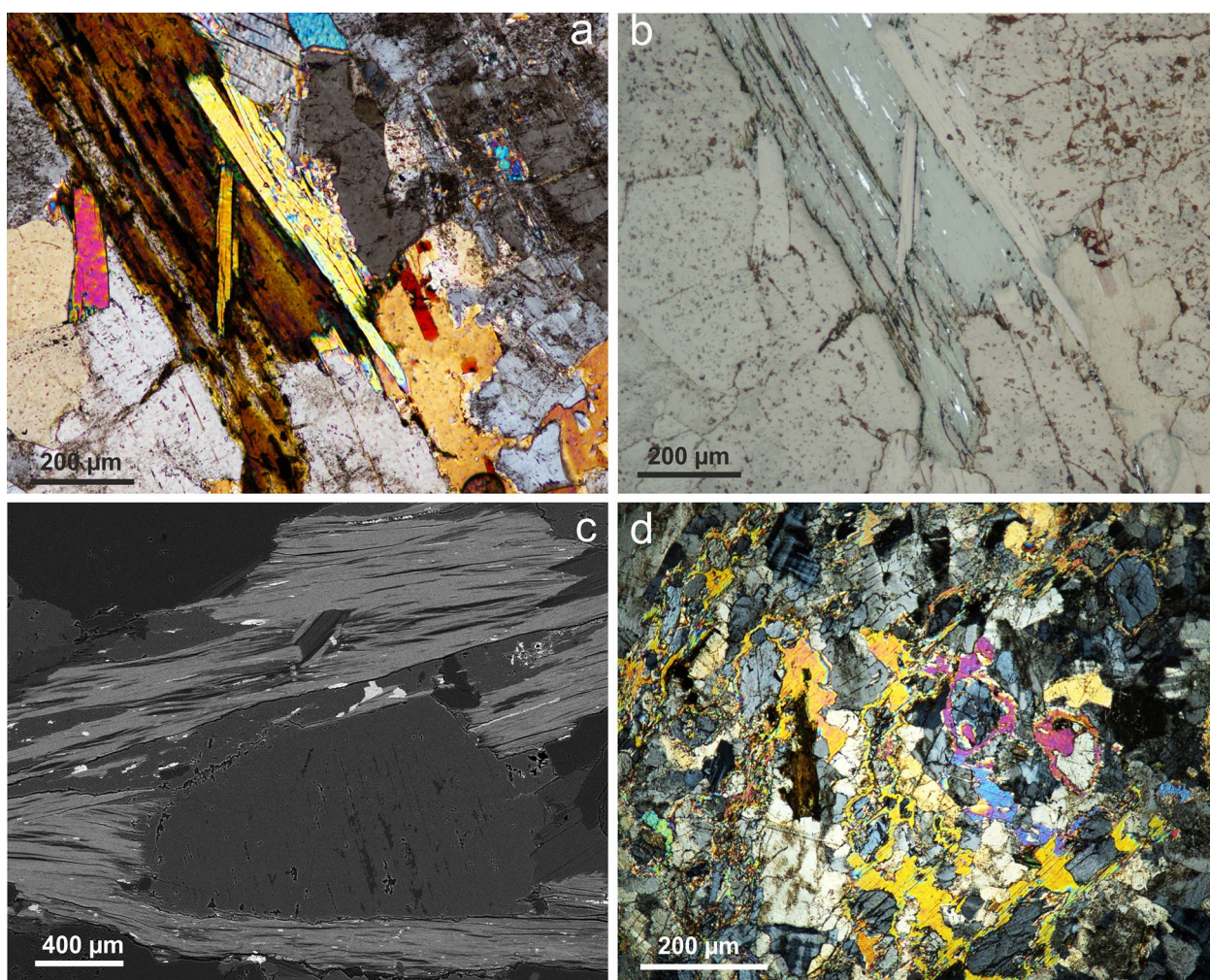
leko železniční stanice Nová Ves nad Nisou, blízko kontaktu tanvaldského granitu s libereckým granitem (asi 250 m jz. od odkryvu kontaktu popsaného Klomínským et al. 2007). V zářezu lesní cesty byl nalezen volný úlomek o rozměrech 20 × 20 × 7 cm, tvořený tanvaldským granitem a mnohem jemnozrnějším mikrogranitem, jenž je protínaný křemennou žilou s wolframitem (obr. 2).

Metodika výzkumu

Nábrusy a leštěný výbrus ke studiu v odraženém (resp. procházejícím) světle a následné mikroanalýze byly zhotoveny standardním způsobem (Diatech Praha). Dokumentace nábrusů v odraženém světle byla provedena pomocí mikroskopu Nikon Eclipse ME 600 s digitální kamerou Nikon DXM1200F v Národním muzeu v Praze. Leštěný výbrus byl studován a zdokumentován v procházejícím světle na optickém polarizačním mikroskopu Nikon E600.

Vzorky byly následně potaženy vrstvou uhlíku o tloušťce 30 nm a dále studovány pomocí elektronové mikrosondy Cameca SX-100 (Národní muzeum). Při kvantitativních analýzách zhotovených ve vlnově disperzním módu bylo použito urychlovací napětí 15 kV, proud 10 nA a průměr elektronového svazku 2 μm. Ve wolframitu, scheelitu, powellitě a rutilu byly měřeny obsahy Mg, Al,

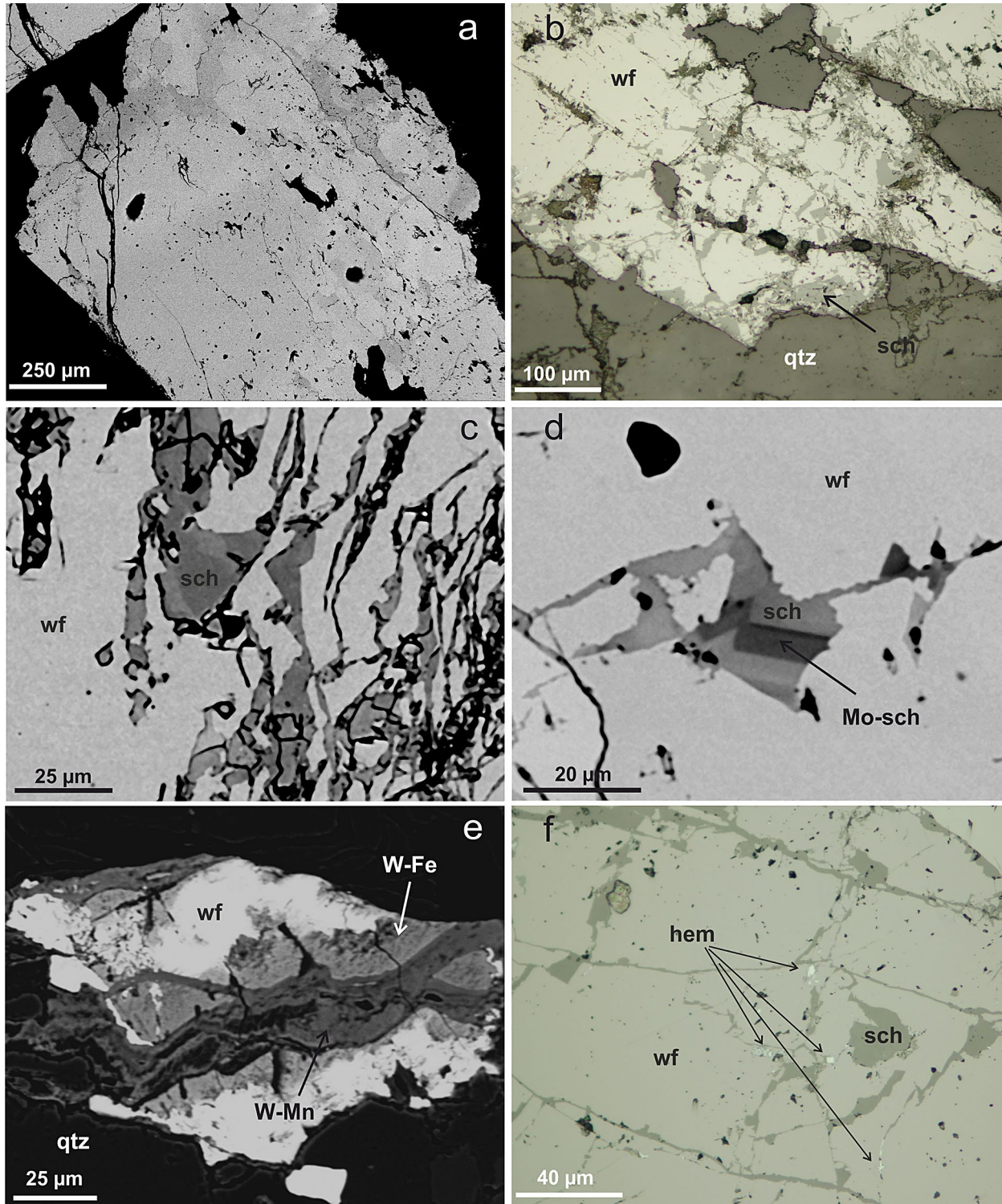
Si, P, Ca, S, Ti, Mn, Fe, As, Y, Mo, W, Pb, V, Sn, Sc, Cr, Nb, Ta, U, Zr. V žilcích byly měřeny obsahy Mg, Al, Si, P, Ca, Na, K, Ba, Fe, Zn, Sr, Pb, Mn, Rb, Cs. Ve slídách a granátech byly měřeny obsahy Na, Al, Si, Mg, P, K, Ti, Fe, V, Cr, Ni, Zn, Mn, Ba, Ca, F, Cl, Cs, Rb. V monazitě, xenotimu a zirkonu byly měřeny obsahy As, P, Y, Na, Al, Si, S, U, Ba, K, Ca, Sr, Fe, Ti, Ce, V, F, La, Pr, Nd, Pb, Sm, Gd, Th, Zr, Eu, Yb, Tb, Dy, Er, Tm, Lu, Ho, Mn, Sc, Hf, Bi. Při analýzách byly použity následující standardy a analytické čáry: albit (NaKα), almandin (AlKα, FeKα), apatit (PKα), baryt (BaLa), celestin (SKα, SrLβ), Cr₂O₃ (CrKα), Cs-sklo (CsLa), diopsid (MgKα), halit (ClKα), LiF (FKα), Ni (NiKα), Rb-Ge-sklo (RbLa), rodonit (MnKα), sanidin (KKα, SiKα), TiO₂ (TiKα), V (VKα), vanadinit (PbMα), wollastonit (CaKα, SiKα), zinkit (ZnKα), klinoklas (AsLa), YVO₄ (YLα), wulfenit (MoLa), scheelit (WLα), Sn (SnLa), ScVO₄ (ScKα), Nb-plech (NbLa), CrTa₂O₆ (TaLa), UO₂ (UMα), zirkon (ZrLa), CePO₄ (CeLa), LaPO₄ (LaLa), PrPO₄ (PrLβ), NdPO₄ (NdLβ), SmPO₄ (SmLa), GdPO₄ (GdLa), Th (ThMα), EuPO₄ (EuLa), YbPO₄ (YbLa), TbPO₄ (TbLa), DyPO₄ (DyLβ), ErPO₄ (ErLa), TmPO₄ (TmLa), LuPO₄ (LuMβ), HoPO₄ (HoLβ), Hf (HfMα), Bi (BiMα). Získaná data byla přepočítána na hmotnostní procenta s použitím standardní PAP korekce (Pouchou, Pichoir 1985). Měřené prvky s obsahy pod mezí stanovitelnosti nejsou v níže uvedených tabulkách minerálních analýz uváděny.



Obr. 3 Mikrofotografie alterovaného mikrogranitu. Chloritizovaný biotit s uzavřeninami Nb- a W-bohatého rutilu s muskovitem a žilci, výbrus, procházející světlo, zkřížené nikoly (a), táž oblast, odražené polarizované světlo (b), BSE obraz (c). Jemnozrný muskovit obrůstající izometrická zrna andalusitu s vystupujícím reliéfem, kaolinizované žilce a K-žilce s mikroklinovým mřížkováním (d). Všechny snímky J. Ulmanová.

Ke studiu fluidních inkluzí byla zhotovena oboustranně leštěná destička (Diatech Praha) za použití diamantové lešticí suspenze. Fluidní inkluze byly nejdříve studovány petrograficky a poté byla destička odlepena od podložního sklíčka pomocí nitrometanu a rozlámána na úlomky, které byly zkoumány s pomocí mikroskopu Olympus s nainstalovanou mikrotermometrickou komorou Linkam

THMSG 600 (Národní muzeum). Komora byla kalibrována pomocí vzorků fluidních inkluzí se známými teplotami fázových přechodů. Ve studovaných inkluzích byly měřeny tyto parametry: teplota homogenizace (T_h), teplota zamrznutí (T_f), teplota eutektika (T_e), teplota tání poslední pevné fáze (T_m), teplota tání pevného CO_2 ($T_{m-\text{CO}_2}$), teplota parciální homogenizace nevodné fáze ($T_{h-\text{car}}$).



Obr. 4 Minerální asociace studované W-mineralizace od Jablonce n. Nisou. a - zonální stavba wolframu (*wf*), BSE obraz; b - wolframit zatlačovaný scheelitem (*sch*) v křemenné žilovině (*qtz*), odražené polarizované světlo; c - zonálnost scheelitu, BSE obraz; d - jádro Mo-bohatého scheelitu obrůstané Mo-chudým scheelitem, BSE obraz; e - zonální W-bohaté oxy-hydroxidy Fe a Mn s převahou Fe nad Mn (*W-Fe*), respektive s převahou Mn nad Fe (*W-Mn*) zatlačující zrno wolframu, BSE obraz; f - zrna hematitu (*hem*) na trhlínách scheelitem zatlačovaného wolframu, odražené polarizované světlo. Foto J. Ulmanová a Z. Dolníček.

Chemické složení nevodné fáze fluidních inkluzí bylo zjišťováno za pomoci Ramanova disperzního spektrometru DRX (Thermo Scientific) s konfokálním mikroskopem Olympus (Národní muzeum). Ramanovská spektra byla získána za použití červeného laseru (633 nm) o výkonu 8 mW v měřicím rozsahu 45 - 4000 cm⁻¹, za použití objektivu 100× a apertury 50 μm. Průměr paprsku dopadajícího na vzorek byl 0.7 μm. Jedno spektrum bylo načítáno 17 minut (expoziční čas 5 s, 200 skenů). Spektra byla následně upravena a vyhodnocena v programu Omnic 9. Výpočet kvantitativního zastoupení jednotlivých plynů byl proveden na základě ploch píků podle Burkeho (2001) a kalibrace měření byla provedena pomocí fluidních inkluzí se známým složením nevodné fáze.

Petrografická a mineralogická charakteristika vzorku

Studovaný vzorek (obr. 2a, b) zachycuje tanvaldský, nevýrazně porfyrický, středně zrnitý biotitický granit s muskovitem, který přechází do ostře ohraničené zóny (mladší žíly?) stejnoměrně zrnitého mikrogranitu pleťové barvy o mocnosti cca 4 až 4.5 cm (obr. 2a). Tato hornina se makroskopicky podobá aplitu, avšak vzhledem k její hypautomorfně zrnité struktuře ji jako aplit (charakterizovaný panxenomorfně zrnitou strukturou) nelze označit. Při kontaktu s křemennou žílou je mikrogranit hydrotermálně alterován do hloubky cca 2 cm, přičemž oproti nealterovanému mikrogranitu je tato zóna výrazně světlejší, obsahuje více křemene, méně slíd a je jemnozrnější. Na styku s alterovaným mikrogranitem jsou v nealterované zóně nakoncentrovány šupinky biotitu. Alterovaný mikrogranit, jehož drobné úlomky jsou uzavírány i v křemenné žíle s wolframem,

obsahuje xenomorfně omezený křemen, xenomorfně omezený K-živce (Or₈₇₋₉₉Ab₁₋₁₃An₀Cn₀) s častým mikroklinovým mřížkováním a xenomorfně omezený silně kaolinizovaný albit (Ab₉₆₋₉₇An₃₋₄Or₀Cn₀). Biotit (1.7 - 9.3 hm. % K₂O, 3.1 - 7.4 hm. % MgO, 0.5 - 1.5 hm. % MnO, max. 2.1 hm. % TiO₂, 18.9 - 25.6 hm. % FeO, max. 0.2 hm. % BaO, ZnO, Rb₂O a F) vytváří ve výbruse hypautomorfně omezené lištovité průřezy a je zpravidla silně postižen chloritizací (obr. 3a). Některé biotity uzavírají xenomorfně až hypautomorfně omezená nepravidelná zrna rutilu (obr. 3a-c) se zvýšeným obsahem Nb (1.9 - 9.8 hm. % Nb₂O₅), W (0.0 - 7.5 hm. % WO₃), Fe (1.0 - 4.5 hm. % FeO), Ta (0.4 - 2.0 hm. % Ta₂O₅) a Sn (0.0 - 2.4 hm. % SnO₂), jejichž morfologie naznačuje primární (magmatogenní) původ. Muskovit (2.5 - 4.0 hm. % FeO, max. 0.5 hm. % F, 0.1 - 2.1 hm. % MgO) tvoří lišty nebo zatlačuje izometrická zrna andalusitu (obr. 3a,d). Kromě andalusitu se v akcesorickém množství v hornině vyskytují izometrická zrna granátu (Alm_{62.4-71.8}Sps_{25.0-35.4}Prp_{2.3-3.2}), monazitu-(Ce) (0.5 - 3.8 hm. % Y₂O₃, 0.1 - 0.8 hm. % SiO₂, 0 - 0.6 hm. % UO₂, 0.3 - 1.5 hm. % CaO, 4.1 - 7.9 hm. % ThO₂), xenotimu-(Y) (0.4 - 1.1 hm. % SiO₂, 0.6 - 2.9 hm. % UO₂, 0.0 - 0.5 hm. % CaO, 0.6 - 0.8 hm. % ThO₂, 0.1 - 0.4 hm. % ZrO₂) a zirkonu (0.0 - 0.7 hm. % P₂O₅, 0.0 - 1.5 hm. % Y₂O₃, 0.0 - 0.8 hm. % UO₂, 0.9 - 3.0 hm. % HfO₂). Hojně je sekundární limonit.

Mikrogranit je protínán křemennou žílou s wolframitem o mocnosti 2 - 4.5 cm (obr. 2a,b). **Křemen** tvoří většinu žíly, je průsvitný až průhledný a má světle šedou barvu. Je silně rozpraskaný, ale ve výbruse zřídka jednotně. Neobsahuje žádné dutiny.

Tabulky šedočerného **wolframitu**, až 1 cm dlouhé, tvoří v křemenu shluky při okraji žíly (obr. 2b). Wolframit je

Tabulka 1 Příklady chemického složení (hm. %) wolframitu a koeficienty empirického vzorce vypočítané na bázi čtyř atomů kyslíku.

analýza	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SO ₃	0.05	0.10	0.08	0.06	0.04	0.13	0.05	0.12	0.12	0.05
WO ₃	76.43	76.27	76.82	76.44	75.42	76.24	76.59	76.90	76.35	75.97
MoO ₃	0.08	0.06	0.06	0.00	0.04	0.00	0.01	0.11	0.06	0.05
Nb ₂ O ₅	0.13	0.05	0.05	0.12	0.39	0.25	0.05	0.14	0.25	0.34
Ta ₂ O ₅	0.17	0.00	0.00	0.00	0.15	0.08	0.00	0.00	0.00	0.11
As ₂ O ₅	0.00	0.05	0.00	0.10	0.05	0.05	0.02	0.00	0.09	0.02
V ₂ O ₅	0.06	0.03	0.03	0.05	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.03
SiO ₂	0.00	0.46	0.00	0.48	0.13	0.40	0.20	0.10	0.24	0.00
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.01	0.03	0.02
MnO	6.60	4.44	5.36	4.29	6.52	8.84	4.87	5.73	4.05	7.15
FeO	15.73	18.90	17.24	18.63	16.24	14.35	17.68	17.21	18.94	15.88
MgO	0.08	0.17	0.05	0.17	0.02	0.01	0.14	0.09	0.21	0.11
Celkem	99.50	100.66	99.75	100.44	99.13	100.52	99.66	100.49	100.39	99.89
S ⁶⁺	0.002	0.004	0.003	0.002	0.002	0.005	0.002	0.005	0.004	0.002
W ⁵⁺	1.003	0.981	1.006	0.985	0.991	0.984	1.001	0.996	0.986	0.992
Mo ⁵⁺	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001
Nb ⁵⁺	0.003	0.001	0.001	0.003	0.009	0.006	0.001	0.003	0.006	0.008
Ta ⁵⁺	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002
As ⁵⁺	0.000	0.001	0.000	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001
V ⁵⁺	0.002	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
Si ⁴⁺	0.000	0.023	0.000	0.024	0.007	0.020	0.010	0.005	0.012	0.000
Al ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001	0.002	0.001
Mn ²⁺	0.283	0.187	0.229	0.181	0.280	0.373	0.208	0.243	0.171	0.305
Fe ²⁺	0.666	0.785	0.728	0.775	0.689	0.597	0.745	0.719	0.790	0.669
Mg ²⁺	0.006	0.013	0.004	0.013	0.002	0.001	0.011	0.007	0.016	0.008
Catsum	1.968	1.998	1.974	1.986	1.985	1.989	1.979	1.981	1.990	1.990

v BSE obraze nepravidelně zonální (obr. 4a) a složením odpovídá ferberitu ($\text{Fe} = 0.60 - 0.79 \text{ apfu}$, $\text{Mn} = 0.17 - 0.37 \text{ apfu}$; tabulka 1). Obsahy manganu a železa vykazují vzájemnou negativní korelaci ($R^2 = 0.94$). Z příměsí obsahuje v malém množství Mg (max. 0.2 hm. % MgO), Y (max. 0.2 hm. % Y_2O_3), Mo (max. 0.2 hm. % MoO_3), Ta (max. 0.3 hm. % Ta_2O_5), Nb (max. 0.4 hm. % Nb_2O_5). Od okrajů zrn a po trhlinách je wolframit zatlačován scheelitem (obr. 4b,f) a někdy i W-bohatými oxy-hydroxidy Fe a Mn (obr. 4e).

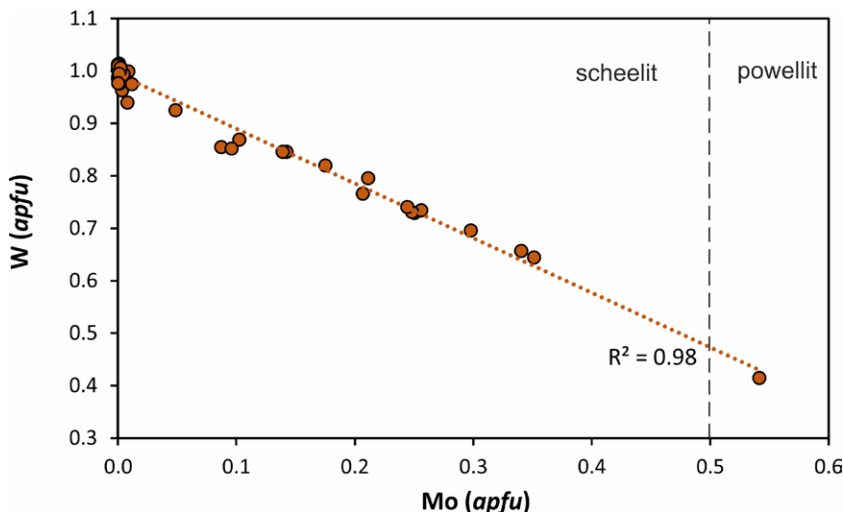
Kasiterit byl ve studovaném vzorku nalezen jen jedenkrát v podobě izometrického zrna o velikosti kolem 2 μm v asociaci s wolframitem a křemenem. Identita minerálu byla ověřena jen pomocí EDS spektra; vzhledem

k nepatrné velikosti se nepodařilo získat žádnou reprezentativní WDS analýzu.

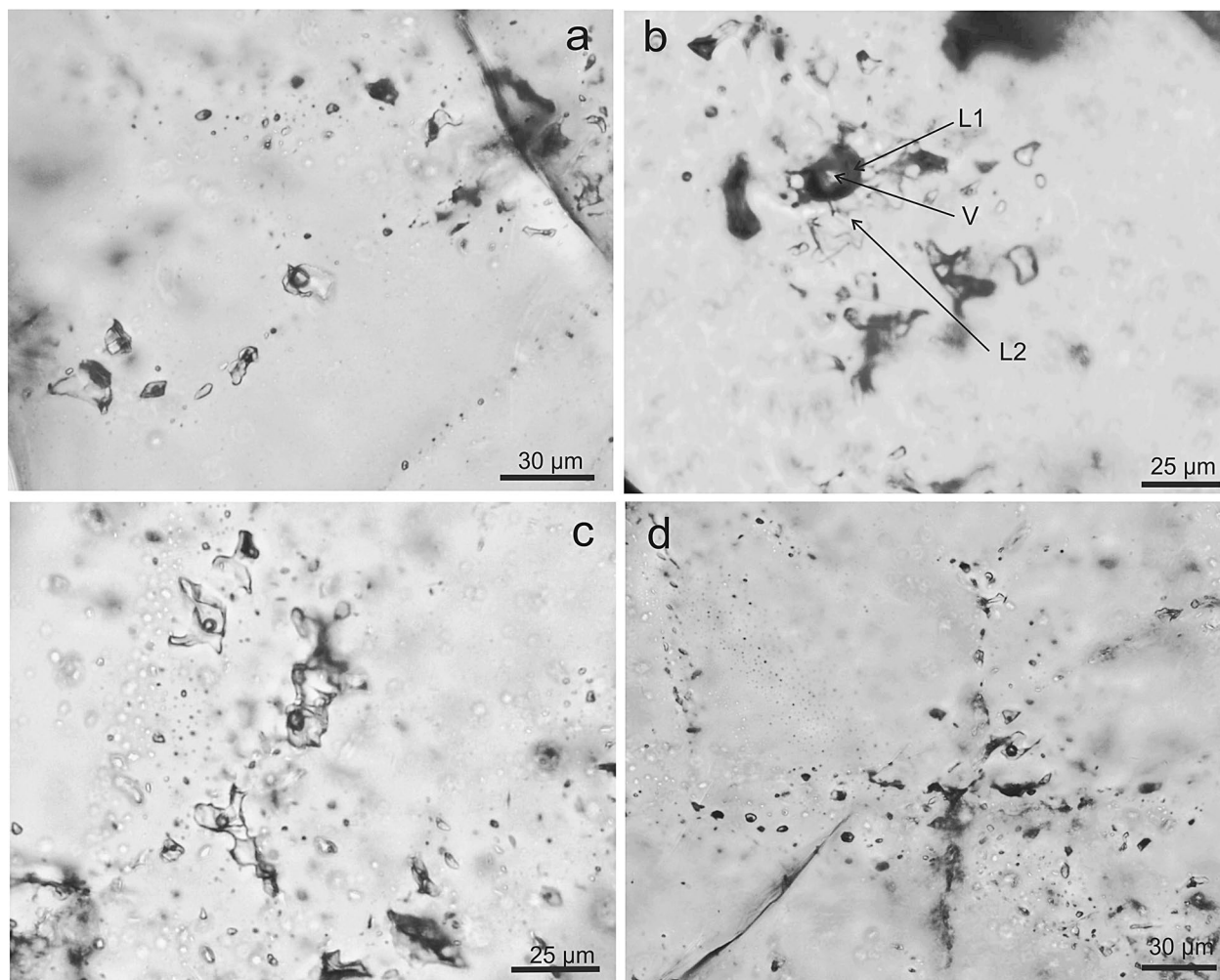
Scheelit se na žíle vyskytuje pouze jako minerál zatlačující po trhlinách a od okrajů zrna wolframitu. V BSE obraze je někdy slabě zonální (obr. 4c,d), přičemž středy zrn jsou poněkud tmavší než okraje. Z příměsí je ve významnějším množství přítomen Mo (až 5.1 hm. % MoO_3), As (až 2.3 hm. % As_2O_3), Fe (až 1.1 hm. % FeO ; tabulka 2). Ojedinele jsou v zrnech scheelitu přítomna zřetelně ohraničená, automorfně omezená starší jádra, výrazně obohacená o Mo (7.2 - 19.1 hm. % MoO_3); jedna bodová WDS analýza již dokonce odpovídá **powellit** (56.6 mol. % CaMoO_4). Obsahy W a Mo v minerálech scheelit-powellitové řady vykazují vzájemnou negativní korelaci ($R^2 = 0.98$, obr. 5).

Tabulka 2 Příklady chemického složení (hm. %) scheelitu (sch), Mo-bohatého scheelitu (Mo-sch) a powellitu (pw) a koeficienty empirického vzorce vypočítané na bázi čtyř atomů kyslíku.

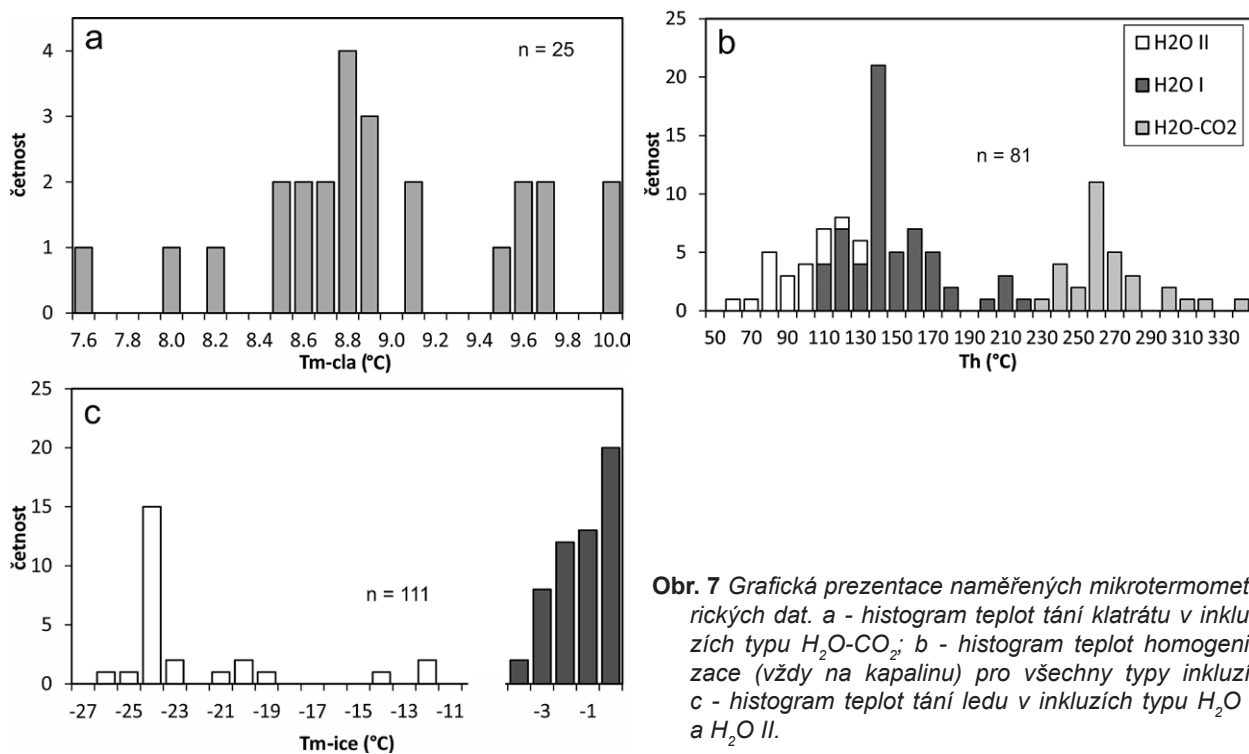
analýza	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
minerál	sch	sch	sch	sch	sch	sch	Mo-sch	Mo-sch	Mo-sch	pw
SO_3	0.08	0.08	0.06	0.18	0.07	0.19	0.16	0.16	0.22	0.39
WO_3	79.25	80.14	80.73	77.66	77.93	71.17	69.03	63.41	56.50	40.76
MoO_3	0.06	0.01	0.07	0.58	0.30	4.50	9.15	13.51	19.12	33.02
P_2O_5	0.00	0.00	0.05	0.10	0.03	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
As_2O_5	0.06	0.06	0.00	0.00	0.08	1.36	0.02	1.42	0.23	2.40
SiO_2	0.38	0.37	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Y_2O_3	0.00	0.01	0.13	0.09	0.07	0.00	0.07	0.00	0.03	0.01
MnO	0.10	0.06	0.07	0.11	0.02	0.03	0.01	0.04	0.00	0.00
FeO	0.62	0.26	0.56	0.45	0.41	0.36	0.55	0.26	0.35	0.32
CaO	19.08	19.17	18.34	18.99	19.21	20.52	19.95	20.10	20.60	22.95
MgO	0.00	0.00	0.00	0.09	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Celkem	99.66	100.33	100.01	98.31	98.33	98.75	99.03	99.03	97.16	100.11
S^{6+}	0.003	0.003	0.002	0.007	0.003	0.007	0.006	0.005	0.007	0.011
W^{5+}	0.984	0.989	1.006	0.975	0.983	0.855	0.820	0.729	0.644	0.415
Mo^{5+}	0.001	0.000	0.001	0.012	0.006	0.087	0.175	0.250	0.351	0.541
P^{5+}	0.000	0.000	0.002	0.004	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
As^{5+}	0.002	0.001	0.000	0.000	0.002	0.033	0.000	0.033	0.005	0.049
Si^{4+}	0.018	0.018	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
Y^{3+}	0.000	0.000	0.003	0.002	0.002	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000
Mn^{2+}	0.004	0.002	0.003	0.005	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000
Fe^{2+}	0.025	0.010	0.023	0.018	0.017	0.014	0.021	0.010	0.013	0.010
Ca^{2+}	0.967	0.966	0.933	0.973	0.989	1.006	0.967	0.943	0.959	0.954
Mg^{2+}	0.000	0.000	0.000	0.006	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Catsum	2.003	1.990	1.973	2.002	2.005	2.025	1.993	1.974	1.981	1.982



Obr. 5 Graf závislosti obsahů Mo a W v minerálech scheelit-powellitové řady.



Obr. 6 Příklady různých typů fluidních inkluzí ze studovaného vzorku křemene. a - dvoufázové fluidní inkluze typu H_2O-CO_2 ; b - trojfázová inkluze typu H_2O-CO_2 obsahující vodný roztok (L2), kapalnou nevodnou fázi (L1) a plynnou nevodnou fázi (V); c - kapalinou bohaté inkluze typu H_2O I; d - sekundární inkluze typu H_2O I situované na vzájemně se křížících vyhojených trhlinách. Foto J. Ulmanová.



Obr. 7 Grafická prezentace naměřených mikrotermometrických dat. a - histogram teplot tání klatrátu v inkluzích typu H_2O-CO_2 ; b - histogram teplot homogenizace (vždy na kapalinu) pro všechny typy inkluzí; c - histogram teplot tání ledu v inkluzích typu H_2O I a H_2O II.

typu H_2O-CO_2 stanoven i menší obsah N_2 (1.8 - 9.0 mol. %) a CH_4 (0.3 - 6.6 mol. %). Vodný roztok vymrzal za teplot od -30 do -36 °C. CO_2 vymrzal za teplot od -91 do -98 °C. Teploty tání pevného CO_2 se pohybovaly v úzkém intervalu teplot od -57.1 do -57.0 °C. Tání ledu, případně hydrátů solí, nebylo registrovatelné. Kladrát tál v intervalu teplot od 7.6 do 10.0 °C (obr. 7a). Parciální homogenizace nevodné fáze v inkluzích typu H_2O-CO_2 probíhala vždy na kapalinu za teplot od 27.1 do 27.5 °C. K celkové homogenizaci tohoto typu inkluzí docházelo rovněž ve všech případech na kapalinu za teplot od 241 do 339 °C (obr. 7b).

Inkluze typu H_2O I (obr. 6c,d) jsou sekundární inkluze vyskytující se na vyhojených trhlinách. Jsou ve vzorku nejhojnějším typem inkluzí. Větší inkluze tohoto typu mají převážně trojrozměrný nepravidelný tvar s četnými výběžky, zatímco velmi drobné inkluze mají tvar oválný či izometrický. Jejich velikosti se pohybují od <1 do 30 μm a plynná fáze zaujímá 5 - 15 obj. %. Tyto inkluze vymrzaly za teplot od -22 do -42 °C. Eutektická teplota nebyla registrována. Led tál jako poslední pevná fáze za teplot od -4.2 do 0 °C (obr. 7c). Všechny inkluze typu H_2O I homogenizovaly na kapalinu v intervalu teplot od 105 do 218 °C (obr. 7b).

Inkluze typu H_2O II mají rovněž sekundární charakter a vyskytují se jen na vyhojených trhlinách. Z petrografické situace (protínání řádků) vyplývá, že tyto inkluze jsou mladší než inkluze typu H_2O I. Mají nepravidelný, protažený nebo oválný tvar a jejich velikost se pohybuje od 2 do 15 μm . Plynná fáze v těchto inkluzích zaujímá 5 - 10 obj. %. Inkluze typu H_2O II vymrzaly v intervalu teplot od -62 do -84 °C. Teplota eutektika byla registrována mezi -54 a -52 °C. Hydrohalit tál v rozmezí teplot od -34 do -25 °C. Jako poslední pevná fáze roztál led při teplotě od -26.0 do -12.2 °C (obr. 7c). Celková homogenizace u tohoto typu inkluzí probíhala ve všech případech na kapalinu v intervalu teplot od 57 do 123 °C (obr. 7b).

Diskuse

Minerální paragenese a chemické složení minerálů

Výše popisovaná křemen-wolframitová mineralizace z Jablonce nad Nisou je prvním výskytem tohoto typu zjištěným v tanvaldském granitu. Podobný nález křemenné žíly s wolframitem v granitech krkonošsko-jizerského plutonu u Albrechtic u Frýdlantu (Honsa 1967) dosud nebyl podroben bližšímu mineralogickému výzkumu. Na křemenných žilách v jižním exokontaktu tanvaldského granitu u Jeřmanic je wolframit, na rozdíl od výskytu popisovaného v této práci, doprovázen i větším množstvím kasiteritu, apatitem a turmalínem. Naopak hematit uváděn není (Klomínský, Táborský 2003; Dobeš et al. 2006; Dobeš et al. 2011).

V krkonošsko-jizerském plutonu a jeho okolí byl dosud na třech lokalitách s W-zrudněním zkoumán chemismus wolframitu. Ve všech případech šlo o ferberit s podobnými obsahy Mn a Fe jako ve wolframitu popisovaném v této práci (obr. 8). Dobeš et al. (2011) uvádějí ve wolframitu z křemenné žíly z Jeřmanic 59 - 79 mol. % ferberitové

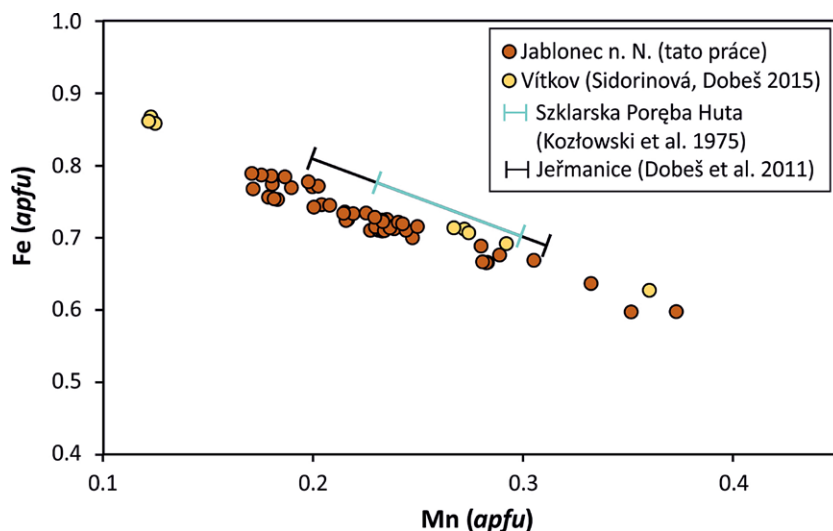
komponenty a 20 - 31 mol. % hübneritové komponenty. Z greisenu u Vítkova popisují Sidorinová a Dobeš (2015) wolframit s 0.63 - 0.87 *apfu* Fe a 0.12 - 0.36 *apfu* Mn. Kromě hlavních komponent uvádějí ve wolframitu až 0.04 *apfu* Nb. Z rudonosných křemenných žilek v mikrogranitu ze Szklarske Poręby je popisován wolframit s 22.6 - 29.9 mol. % hübneritové komponenty (Kozłowski et al. 1975). Dobeš et al. (2011) a Kozłowski et al. (1975) nezaznamenali ve wolframitu žádné další významnější příměsi, podobně jako je tomu na námi studovaném výskytu. Scheelit ztlakuje zrna wolframitu na všech výše zmíněných lokalitách, ale přítomnost Mo a As (tato práce) a ani žádných dalších významnějších příměsí v něm nebyla zjištěna. Obdobný chemismus wolframitu naznačuje, že by se jednalo o geologickou pozici i parageneticky odlišné typy mineralizací, tak je pravděpodobné, že podmínky vzniku wolframitu (resp. charakter zdrojových fluid) mohly být podobné, ale v některých dílčích aspektech se lišily, jak naznačuje přítomnost Nb ve wolframitu z greisenu od Vítkova (Sidorinová, Dobeš 2015).

Původ W

Výskyt W-zrudnění uloženého přímo v tanvaldském granitu podporuje domněnku Klomínské et al. (2003) a Dobeše et al. (2011), že zdrojem wolframu na výskytu u Jeřmanic je zmíněná hornina. Za možný zdroj W lze na námi studované lokalitě považovat W- a Nb-bohaté rutily (obsahující až 0.03 *apfu* W), uzavírané v biotitech hostitelského tanvaldského granitu. Ani samotné biotity nelze vyloučit jako možný potenciální zdroj W, jelikož jeho obsah v biotitu nebyl nijak analyzován a v jiných případech W-zrudnění jsou tmavé slídy právě považovány za významný zdroj W, jako je tomu například na Cínovci (Johan et al. 2012).

Chemické složení a vývoj fluid

Ve fluidních inkluzích byly v křemenu z popisované W-mineralizace od Jablonce n. Nisou zachyceny tři typy fluid lišící se teplotami homogenizací i chemickým složením (obr. 9). Raných fází vývoje studované mineralizace se účastnila fluida typu H_2O-CO_2 s nízkou salinitou (0.0 - 4.6 hm. % NaCl ekv., Diamond 1992, obr. 9) a s relativně nízkým obsahem plynů, mezi nimiž značně převažoval CO_2 (86.7 - 90.7 mol. % v nevodné fázi) nad N_2 (1.8 - 9.0 mol. %) a CH_4 (0.3 - 6.6 mol. %). Vzhledem k omezené



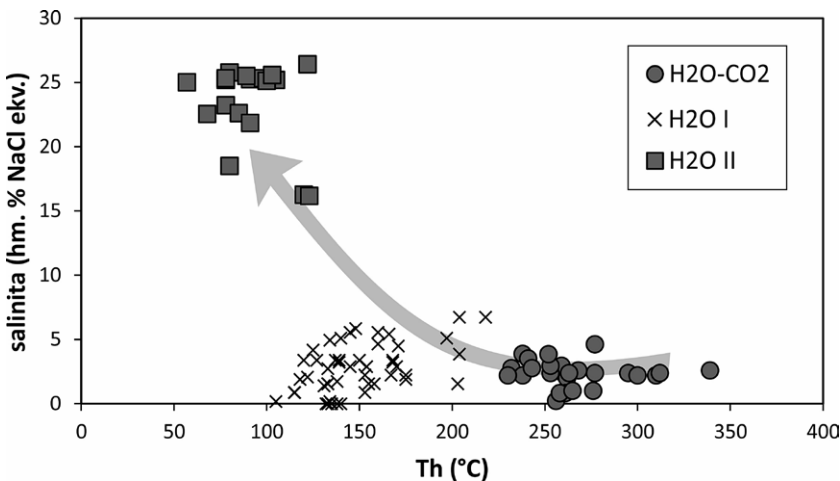
Obr. 8 Graf závislosti obsahů Mn a Fe ve wolframitu z Jablonce n. Nisou v porovnání s publikovanými daty z Jeřmanic, Vítkova a Szklarske Poręby.

variabilitě fázového složení inkluzí za pokojové teploty i relativně malému rozptylu naměřených mikrotermometrických parametrů lze předpokládat, že tyto inkluze byly zachyceny z homogenního fluida za teplot minimálně 230 - 340 °C. Skutečné tlakové a teplotní podmínky zachycení fluid (resp. krystalizace hostitelského minerálu v případě primárních inkluzí) lze v takovém případě odvodit kombinací izochor a nezávislých termometrů či barometrů, které však nejsou k dispozici.

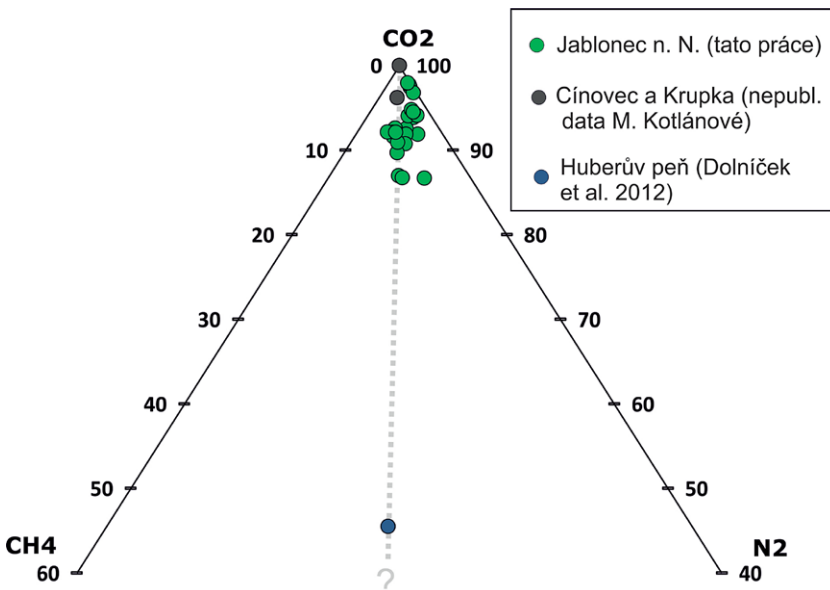
Podobná fluida popisují i Dobeš et al. (2011), kteří z jižního exokontaktu tanvaldského granitu na křemenné žíle s wolframem zjistili v křemeni nízkosalinní (0.8 až 4.2 hm. % NaCl ekv.) inkluze H_2O-CO_2 s teplotami homogenizace 318 - 357 °C. Kombinací izochor a izotopových termometrů autoři interpretovali tlak při zachycení inkluzí mezi 40 a 70 MPa. H_2O-CO_2 fluida popisuje i Karwowski (1973) z greisenové zóny Mlázdz-Kamień-Pobiedna ze severního exokontaktu krkonošsko-jizerského krystalinika. Tato fluida byla zčásti i vysoce salinní (přítomnost krystalu halitu v inkluzích) a teploty homogenizace se pohybovaly v rozmezí 240 - 390 °C. Z greisenů u Vítkova (Sidorinová, Dobeš 2015) jsou z primárních inkluzí popisována

pouze vodná fluida se salinitou 4 - 8 hm. % NaCl ekv. a homogenizačními teplotami mezi 312 a 358 °C. Pouze vodná fluida se salinitou maximálně 12.5 hm. % NaCl ekv. byla zjištěna rovněž v žilné Sn-W-Mo mineralizaci a v pegmatitových hnízdech v mikrogranitu ze Szklarske Poręby (Kozłowski et al. 1975), kde wolframit krystalizoval v rozsahu teplot 300 - 380 °C. Dobeš et al. (2011), Sidorinová, Dobeš (2015), Karwowski (1973) a Kozłowski et al. (1975) se domnívají, že jimi popisované wolframitové mineralizace v krkonošsko-jizerském plutonu a jeho exokontaktu vznikaly v přímé vazbě na jeho umístění. Vzhledem k širšímu rozsahu salinit i homogenizačních teplot, respektive teplot zachycení inkluzí, lze v oblasti krkonošsko-jizerského plutonu předpokládat vznik wolframitové mineralizace v delším časovém intervalu v průběhu chladnutí plutonu. Nižší teploty homogenizace primárních inkluzí, téměř úplná absence kasiteritu a „imobilních“ elementů (např. Nb, Zr) ve wolframitu by v tomto kontextu naznačovaly příslušnost studované mineralizace od Jablonce n. Nisou spíše k pozdější (nižeteplotnější) fázi vzniku W mineralizace.

Chemické složení nevodné fáze ve fluidních inkluzích



Obr. 9 Graf závislosti teploty celkové homogenizace na salinitě fluidních inkluzí. Šipka indikuje vývoj od nejstarších fluid po nejmladší.



Obr. 10 Chemické složení nevodné fáze fluidních inkluzí typu H_2O-CO_2 v porovnání s údaji z Krušných hor a Slavkovského lesa. Šedá tečkovaná linie naznačuje možný trend mísení dvou koncových fluid s kontrastním složením.

z W-mineralizací dosud nebylo podle našich znalostí na žádné lokalitě v oblasti krkonošsko-jizerského plutonu detailněji studováno. Porovnání námi získaných údajů je tak možné jen s publikovanými údaji ze sousedního saxothuringika. V primárních inkluzích z greisenového Sn-W ložiska Huberův peň u Horního Slavkova zjistili Dolníček et al. (2012) 45.5 mol. % CO_2 , 26.2 mol. % N_2 a 28.3 mol. % CH_4 . M. Kotlánová (nepubl. data) naměřila na Sn-W ložisku Krupka v nevodné fázi ve dvou inkluzích obsahy 96.2 a 100 mol. % CO_2 , 1.7 a 0.0 mol. % N_2 a 2.1 a 0.0 mol. % CH_4 , a na ložisku Cínovec v jedné měřené inkluzi 100 mol. % CO_2 . Data z nového výskytu od Jablonce n. Nisou, společně se srovnávanými daty z Krušných hor a Slavkovského lesa, naznačují jednotný lineární trend (obr. 10), navesvědčující míchání fluida bohatého na CO_2 s fluidem bohatým na CH_4 a N_2 , přičemž poměr $CH_4:N_2$ je téměř konstantní. To (při vědomí malého množství dat) ukazuje na podobnost procesů vedoucích ke vzniku wolframem obohacených fluid saxothuringika i krkonošsko-jizerského plutonu.

V dalších fázích vývoje se v pozdních pseudosekundárních a hlavně v hojných sekundárních inkluzích na studované lokalitě zachycovala vodná nízkosalinní (0.0 - 6.7 hm. % NaCl ekv., Bodnar 1993) a nízko- až středněteplotní ($Th = 105 - 218$ °C) fluida (typ H_2O I, obr. 9). V nejpozdější fázi (po ukončení růstu křemene) se na trhlínách zachycovaly vysokosalinní (16.2 - 26.4 hm. % NaCl ekv., Bodnar 1993) a nízkoteplotní fluida ($Th = 57 - 123$ °C) (typ H_2O II, obr. 9). Tyto roztoky náležely systému H_2O

-NaCl-CaCl₂, což indikují teploty eutektika blízké -52 °C (Spencer et al. 1990). Podle chemického složení, salinity a homogenizačních teplot se s největší pravděpodobností jedná o povariské solanky, jejichž aktivita je popisována z mnoha lokalit v Českém masivu, například z Jáchymova (Ondruš et al. 2003), Zálesí (Dolníček et al. 2009), Rožné (Kříbek et al. 2009) a Krásna (Dolníček, René 2012).

Závěr

Tento příspěvek popisuje nový nález žilné W-mineralizace z Jablonce nad Nisou, uložené v nevýrazně porfyrickém tanvaldském granitu. Wolframové zrudnění v křemenné žíle je tvořeno hlavně wolframitem (ferberit se 17 - 31 mol. % hübneritové komponenty), který je zatlačován scheelitem a místy i Mo-bohatým scheelitem až powellitem. Hematit, kasiterit a sekundární W-bohaté Fe-Mn oxy-hydroxidy jsou přítomny jen v akcesorickém množství. V primárních fluidních inkluzích přítomných v křemenu jsou uzavřena nízkosalinní (max. 4.6 hm. % NaCl ekv.) H₂O-CO₂-N₂-CH₄ fluida s minimální možnou teplotou zachycení 240 - 390 °C. Sekundární fluidní inkluze obsahují později zachycená vodná nízkosalinní (max. 6.7 hm. % NaCl ekv.) fluida s Th = 105 - 218 °C a také mladší vysokosalinní (16.2 - 26.4 hm. % NaCl ekv.) H₂O-NaCl-CaCl₂ fluida s Th = 57 - 123 °C odpovídající povariským solankám. Možným zdrojem wolframu potřebného pro vznik popisované mineralizace mohl být Nb- a W-bohatý rutil zjištěný jako uzavřeniny v biotitech tanvaldského granitu. Tento náález potvrzuje potenciál výskytu dalších, dosud neobjevených projevů wolframového zrudnění indikovaný přítomností šlichové anomálie W pokrývající celou plochu krkonoško-jizerského plutonu.

Poděkování

Autoři děkují M. Kotlánové (MU Brno a VÚSTAH Brno) za poskytnutí nepublikovaných Ramanovských dat a J. Zachariášovi a J. Tvrđemu za vstřícné recenzní posouzení rukopisu. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2019-2023/1.II.a, 00023272).

Literatura

- ABRAHAM M, DUDEK A, FEDIUK F (2000) The Czech part of the Krkonoše-Jizera pluton in the light of regional heavy mineral prospecting. *Věst čes geol úst* 75 (1): 17-22
- BERNARD JH (1981) Minerály rudonosných hydrotermálních procesů - Český masív. 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 (eds.) *Mineralogie Československa*: 186-343. Academia Praha
- BODNAR RJ (1993) Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochim Cosmochim Acta* 57: 683-684
- BURKE EAJ (2001) Raman microspectrometry of fluid inclusions. *Lithos* 55: 139-158
- DIAMOND LW (1992) Stability of CO₂ clathrate hydrate + CO₂ liquid + CO₂ vapour + aqueous KCl-NaCl solutions: Experimental determination and application to salinity estimates of fluid inclusions. *Geochim Cosmochim Acta* 56: 273-280
- DOBEŠ P, KLOMÍNSKÝ J, TÁBORSKÝ Z (2006) Fluidní inkluze v žilné Sn-W mineralizaci v exokontaktu tanvaldského granitu u Liberce v severních Čechách. Sborník referátů ze semináře Mineralogie Českého masivu a Západních Karpat 2006: 11-12. Přírodovědecká fakulta Palackého univ., Olomouc
- DOBEŠ P, VONDROVIČ L, TRUBAČ J, DOLEJŠ D (2011) Cassiterite-wolframite mineralization at Jermanice in the Krkonoše-Jizera pluton (Czech Republic) - mineral chemistry, fluid inclusions, and stable isotopes. *European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI -XXI)*: 62. Montanuniversität Leoben
- DOLNÍČEK Z, FOJT B, PROCHASKA W, KUČERA J, SULOVSKÝ P (2009) Origin of the Zálesí U-Ni-Co-As/Bi deposit, Bohemian Massif, Czech Republic: fluid inclusion and stable isotope constraints. *Miner Deposita* 44: 81-97
- DOLNÍČEK Z, RENÉ M (2012) Doklad aktivity nízkoteplotních Ca-Na-Cl solanek ve feldspatizovaných granitech žilcového ložiska Krásno (masiv Krudum). *Geol výzk Mor Slez* 19 (1-2): 137-140
- DOLNÍČEK Z, RENÉ M, PROCHASKA W, KOVÁŘ M (2012) Fluid evolution of the Hub stock, Horní Slavkov-Krásno Sn-W ore district, Bohemian Massif, Czech Republic. *Miner Deposita* 47: 821-833
- FEDIUKOVÁ E, KLOMÍNSKÝ J, SCHOVÁNEK P (2008) Spessartin -almandinové granáty z alkalicko-žilcového tanvaldského granitu. *Zpr Geol Výzk v roce 2007*: 156-159
- HONSA V (1967) Zpráva o nálezu wolframu v Jizerských horách. *Čas Nár Muz, Odd přírodověd* 136 (2): 80
- CHALOUPSKÝ J, ČERVENKA J, JETEL J, KRÁLÍK F, LIBALOVÁ J, PÍCHOVÁ E, POKORNÝ J, POŠMOURNÝ K, SEKÝRA J, ŠHRBENÝ O, ŠALANSKÝ K, ŠRÁMEK J, VÁCL J (1989) *Geologie Krkonoše a Jizerských hor*. ČGÚ Praha
- CHRT J, ŠPONAR P, TENČÍK I (1982) Perspektiva ověření wolframových rud v Českém masivu. *Geol průzk* 24 (2): 33-37
- JARCHOVSKÝ T, FEDIUK F, KLOMÍNSKÝ J, SCHOVÁNEK P (2010) Geochemická diskriminace libereckého a jizerského granitu v západní části krkonoško-jizerského kompozitního masivu. *Zpr geol Výzk v roce 2009*: 219-222
- JOHAN Z, ŠTRNAD L, JOHAN V (2012) Evolution of the Cínovec (Zinnwald) Granite Cupola, Czech Republic: composition of feldspars and micas, a clue to the origin of W, Sn mineralization. *Canad Mineral* 50: 1131-1148
- KARWOWSKI Ł (1973) Greisens in the Mładz-Kamień-Pobiedna region in the Jizera Mts. *Acta Geol Pol* 23: 325-340
- KARWOWSKI Ł (1977) Geochemical conditions of greisenization in the Jizera Mts. (Dolny Śląsk). *Archiw Mineral* 33: 85-146
- KLOMÍNSKÝ J, TÁBORSKÝ Z (2003) Wolframitové zrudnění u jižního okraje tanvaldského granitu v severních Čechách. *Zpr Geol Výzk v roce 2002*: 169-170
- KLOMÍNSKÝ J, FEDIUK F, VESELOVSKÝ F, SCHOVÁNEK P, JARCHOVSKÝ T, TÁBORSKÝ Z (2004) Topaz-křemenný kvarcolit (greisen) u Chrastavy v severních Čechách jako metalogenetický indikátor W-Sn mineralizace. *Zpr Geol Výzk v roce 2003*: 112-114
- KLOMÍNSKÝ J, SCHOVÁNEK P, JARCHOVSKÝ T, SULOVSKÝ P, TOUŽIMSKÝ M (2007) Kontakt tanvaldského a libereckého granitu u Jablonce nad Nisou. *Zpr Geol Výzk v roce 2006*: 24-29
- KLOMÍNSKÝ J, FEDIUK F, SCHOVÁNEK P, JARCHOVSKÝ T (2009) Tanvaldský masív - relikv magmatického tělesa v krkonoško-jizerském kompozitním masivu. *Zpr Geol Výzk v roce 2009*: 158-161

- KOZŁOWSKI A, KARWOWSKI Ł, OLSZYŃSKI W (1975) Tungsten-tin-molybdenum mineralization in the Karkonosze massif. *Acta Geol Pol* 25 (3): 415-430
- KOZŁOWSKI A, IŁNICKI S, MATYSZCZAK W, MARCINOWSKA A (2016) Magmatic and post-magmatic phenomena in the Karkonosze granite and its metamorphic envelope (West Sudetes, SW Poland). *Acta Geol Pol* 66 (3): 451-471
- KOZŁOWSKI A, MATYSZCZAK W (2018) Oxygenic bismuth minerals in the NE part of the Karkonosze pluton (West Sudetes, SW Poland). *Acta Geol Polon* 68 (4): 537-554
- KŘÍBEK B, ŽÁK K, DOBEŠ P, LEICHMANN, J, PUDILOVÁ M, RENÉ M, SCHARM B, SCHARMOVÁ M, HÁJEK A, HOLECZY D, HEIN UF, LEHMANN B (2009) The Rožná uranium deposit (Bohemian Massif, Czech Republic): Shear zone-hosted, late Variscan and post-Variscan hydrothermal mineralization. *Miner Deposita* 44: 99-128
- MOCHNACKA K, OBERC-DZIEDZIC T, MAYER W, PIECZKA A (2015) Ore mineralization related to geological evolution of the Karkonosze-Izera Massif (the Sudetes, Poland) - towards a model. *Ore Geol Rev* 64: 215-238
- NOVÁK F, VAVŘÍN I (1972) Scheelit a Bi-minerály z náplavů Malé Jizerské louky. *Sbor Nár Muz* 28: 15-22
- ONDŘUŠ P, VESELOVSKÝ F, GABAŠOVÁ A, DRÁBEK M, DOBEŠ P, MALÝ K, HLOUŠEK J, SEJKORA J (2003) Ore-forming processes and mineral parageneses of the Jáchymov ore district. *J Czech Geol Soc* 48 (3-4): 157-192
- PAŠAVA J, VESELOVSKÝ F, DRÁBEK M, SVOJTKA M, POUR O, KLOMÍNSKÝ J, ŠKODA R, ĎURIŠOVÁ J, ACKERMAN L, HALODOVÁ P, HALUZOVÁ E (2015) Molybdenite-tungstenite association in the tungsten-bearing topaz greisen at Vítkov (Krkonosé-Jizera Crystalline Complex, Bohemian Massif): Indication of changes in physico-chemical conditions in mineralizing system. *J Geosci* 60: 149-161
- POUCHOU J, PICOIR F (1985) „PAP“ (φρZ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: ARMSTRONG JT (ed): *Microbeam Analysis*: 104-106. San Francisco Press. San Francisco
- SIDORINOVÁ T, DOBEŠ P (2015) Wolframitová mineralizace z greisenu v krkonošsko-jizerském krystaliniku u Vítkova v Jizerských horách. *Zpr Geol Výzk v roce 2014*: 179-183
- SPENCER RJ, MØLLER N, WEARE JH (1990) The prediction of mineral solubilities in natural waters: a chemical equilibrium model for the Na-K-Ca-Mg-Cl-SO₄-H₂O system at temperatures below 25 °C. *Geochim Cosmochim Acta* 54: 575-590
- ŽÁK J, KLOMÍNSKÝ J (2007) Magmatic structures in the Krkonosé-Jizera Plutonic Complex: evidence for localized multiphase flow and small-scale thermal-mechanical instabilities in a granitic magma chamber. *J Volcanol Geotherm Res* 164: 254-267
- ŽÁK J, VERNER K, SLÁMA J, KACHLÍK V, CHLUPÁČOVÁ M (2013) Multistage magma emplacement and progressive strain accumulation in the shallow-level Krkonosé-Jizera plutonic complex, Bohemian Massif. *Tectonics* 32: 1493-1512