

<https://doi.org/10.46861/bmp.31.105>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

# Kleemanit, vzácný fosforečnan z Krásna u Horního Slavkova, Česká republika

## Kleemanite, a rare phosphate from Krásno near Horní Slavkov, Czech Republic

LUBOŠ VRTIŠKA\*, JAROMÍR TVRDÝ, RADANA MALÍKOVÁ A ZDENĚK DOLNÍČEK

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

VRTIŠKA L, TVRDÝ J, MALÍKOVÁ R, DOLNÍČEK Z (2023) Kleemanit, vzácný fosforečnan z Krásna u Horního Slavkova, Česká republika. Bull Mineral Petrolog 31(2): 105-110. ISSN 2570-7337

### Abstract

A very rare secondary Zn-Al phosphate, kleemanite, was found in association with Al-rich chalcosiderite and krásnoite on samples from the Huber stock in the Krásno deposit near Horní Slavkov (Karlovy Vary Region, Czech Republic). Kleemanite forms small white needle-like to fibrous crystals clustering into urchin-like aggregates up to 2 mm in size. Individual crystals reach a length of up to 0.5 mm. The mineral grows on the walls of the corrosion cavity of the fluorapatite aggregate in quartz gangue. Its chemical composition corresponds to the empirical formula  $Zn_{1.02}(Al_{2.04}Fe_{0.09})_{\Sigma 2.13}(PO_4)_{2.00}[(OH)_{2.41}(F)_{0.04}]_{\Sigma 2.45} \cdot 3H_2O$ . Kleemanite is monoclinic, unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are  $a$  7.286(8),  $b$  7.194(5),  $c$  9.774(8) Å,  $\beta$  110.2(6)° and  $V$  480.9(7) Å<sup>3</sup>. The Raman spectrum of kleemanite has not been published before and is included in this paper.

**Key words:** kleemanite, chemical composition, X-ray powder data, Raman spectroscopy, phosphates, Krásno near Horní Slavkov, Czech Republic

Obdrženo 5. 8. 2023; přijato 3. 11. 2023

### Úvod

Kleemanit, vzácný monoklinický hydratovaný fosfát zinku a hliníku s ideálním vzorcem  $ZnAl_2(PO_4)_2(OH)_2 \cdot 3H_2O$ , získal své jméno po australském petrologovi a pedagogovi na Adelaidské univerzitě Alfredu Williamu Kleemanovi (1913 - 1982). Poprvé byl zjištěn na ložisku prekambričských železných rud Iron Knob v Jižní Austrálii a jako nový minerální druh schválen komisí IMA v roce 1978 (Pilkington et al. 1979). Dalšími známými lokalitami kleemanitu jsou povrchový důl Kintore na polymetalickém ložisku Broken Hill v Austrálii (Pring, Birch 1989), ložisko manganu Baokeng v provincii Kuang-tung (Guangdong) v Číně (Lai, Sun 1993) a polymetalické ložisko Poopó v Bolívii (Torres et al. 2019). Nově byl kleemanit identifikován v asociaci druhotných minerálů z Hubského pně v Krásně u Horního Slavkova v České republice. Jeho bližší charakteristika je námětem této práce.

### Charakteristika lokality

Historický revír Sn-W rud Krásno-Horní Slavkov ve Slavkovském lese v západních Čechách náleží z geologického hlediska do oblasti saxothuringika. Greisenové a žilné zrudnění je vázáno na apikální části granitů komplexu karlovarského žulového masivu, které intrudovaly do pláště budovaného migmatitizovanými pararulami slavkovského krystalinika. Ve státní bilanci jsou v současné době vedena ložiska Krásno (zahrnující mj. i Hubský a Schnödův peň) a Krásno-Horní Slavkov v centrální části revíru a ložisko Krásno-Koník v krásenském ložiskovém úseku. Nebilancovanými zdroji Sn-W jsou Krásno-Vysoký Kámen a Horní Slavkov-Hánská elevace (obr. 1).

Počátky získávání cínu v oblasti Ize na základě archeologických nálezů datovat až do 12. století (Beran 1995), kasiterit však byl pravděpodobně rýžován již mnohem dříve. Nejvýznamnějším obdobím těžby bylo 16. století, kdy zdejší ložiska patřila produkcí cínu k největším v Evropě. Během I. světové války se začal těžit také wolfram do speciálních ocelí (Beran, Tvrđý 2008). Po II. světové válce se hornická činnost soustředila na uranové rudy, v okolí Horního Slavkova intenzivně těžené v období let 1948 až 1963. Nové průzkumné a otvirkové práce na cín a wolfram započaly až v roce 1957 a po deseti letech byla v roce 1966 na Hubském pni zahájena vlastní těžba rudy. V roce 1971 byla vyražena nová jáma Huber a důlní provozy přejmenovány na závod Stannum. Těžba Sn-W rud byla ukončena v roce 1991 (Beran, Tvrđý 2008). Komplexním zpracováním historie těžby v revíru Krásno-Horní Slavkov se zabývají například Majer (1970, 1995); Beran, Sejkora (2006); Beran, Tvrđý (2008).

Z mineralogického hlediska patří Sn-W revír Krásno-Horní Slavkov k nejbohatším v rámci České republiky. Zjištěno zde bylo více než 130 minerálů. Detailní popis zdejší mineralizace publikovali Beran, Sejkora (2006) a Sejkora et al. (2006a-d). Pestrá mineralizace je zastoupena jak primárními rudními a nerudními minerály (kasiterit, ferberit-hübnerit, chalkopyrit, molybdenit, sfalerit, apatit, topaz, fluorit, křemen aj.), tak i hojnými supergenními minerály převážně ze skupiny fosforečnanů a arzeničnanů. Krásno je typovou lokalitou pro šest minerálních druhů, které až na alumosilikát manganu karfolit (Werner 1817) patří právě mezi druhotné fosfáty. Jedná se o minerály zjištěné Sejkorou et al. (2006c, 2006d) a následně popsá-



**Obr. 1** Mapa rudního revíru Krásno-Horní Slavkov. 1 lom, propadlina, 2 křemenné žíly systému Gellnauer, 3 Sn-W jámy, 4 středověké haldy, 5 haldy uranových dolů, 6 uranové šachty. Zpracoval J. Tvrđý 2008.



**Obr. 2** Povrchová dobývka na Hubsčém pni, pohled od jihu, foto J. Tvrđý, stav květen 2009.

né jako kunatit (Mills et al. 2008; s kotypovou lokalitou Lake Boga v Austrálii), ian-grejit (Mills et al. 2011) a krásnoit (Mills et al. 2012; oba s kotypovou lokalitou Silver Coin Mine v Nevadě, USA), tvrdýit (Sejkora et al. 2016) a kenngottit (Sejkora et al. 2019a). Mineralogii Sn-W ložisek se podrobněji věnovali například Beran (1995; 1999); Sejkora, Beran (2008); Sejkora, Tvrđý (2008), v případě uranového revíru to byli hlavně Sejkora, Plášil (2008).

Charakteristickou minoritní složkou greisenových těles a přidružených křemenných žil krásenského ložiska jsou fosfátové akumulace o velikosti od několika milimetrů až po 30 cm (Sejkora et al. 2006d). Jejich pozdně hydrotermálními až supergenními alteracemi vznikly obzvláště pestré minerální asociace, ze kterých pocházejí jak výše uvedené nově popsané fosforečnany, tak i v České republice poprvé zjištěné arzeničnany philipsburgit (Vrtiška et al. 2016), arthurit (Vrtiška et al. 2018), bendadait (Sejkora et al. 2019b), jakož i fosforečnany zinkoberanit (Tvrđý et al. 2020) a zde charakterizovaný klemanit.

#### Metodika výzkumu

Barevné mikrofotografie byly pořízeny pomocí mikroskopu Nikon SMZ 25 s digitální kamerou Nikon DS-Ri2 a funkce skládání obrazu za použití programu NIS Elements AR verze 4.20. Fotografie minerálů ve zpětně rozptýlených elektronech (BSE) byly pořízeny na elektronovém skenovacím mikroskopu Hitachi S3700-N (Lenka Váchová, Národní muzeum, Praha).

Rentgenová prášková difrakční data klemanitu byla získána pomocí difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s polovodičovým pozicně citlivým detektorem LynxEye za užití CuK $\alpha$  záření (40 kV, 40 mA). Práškové preparáty byly naneseny v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokystalu křemíku a následně pak byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.01°, načítací čas 8 s/krok detektoru, celkový čas experimentu cca 15 hod.). Pozice jednotlivých difrakčních maxim byly popsány profilovou funkcí Pseudo-Voigt a zpřesněny profilovým fitováním v programu HighScore Plus. Mřížkové parametry byly zpřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Celref (Laugier, Bochu 2011).

Chemické složení klemanitu bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha). Podmínky měření: WD analýza, napětí 15 kV, proud 5 nA, průměr svazku elektronů 7  $\mu$ m. Použité standardy: apatit (PK $\alpha$ ), sarnidin (AlK $\alpha$ ), hematit (FeK $\alpha$ ), ZnO (ZnK $\alpha$ ),

LiF (FK $\alpha$ ). Kvantitativně analyzovány byly i obsahy dalších prvků (Ca, Si, K, Mg, Na, As, S, Sr, Mn, Pb, V, Cl, Cu, Co, Ba, Bi, Co, N), zjištěné hodnoty však byly pod detekčním limitem. Získaná data byla korigována za použití algoritmu PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

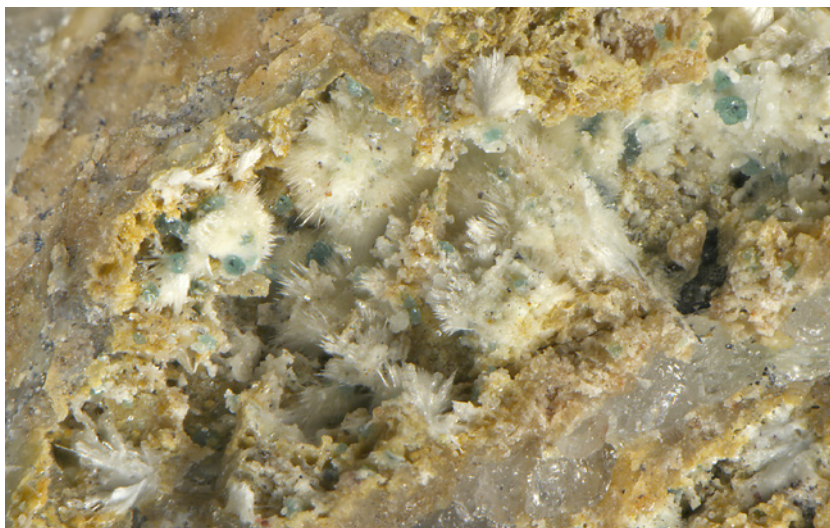
Ramanovo spektrum kleemanitu bylo pořízeno na disperzním spektrometru DXR (Thermo Scientific) spojeném s konfokálním mikroskopem Olympus (Národní muzeum, Praha). Podmínky měření: rozsah 30 - 4500 cm<sup>-1</sup>, zvětšení objektivu 50 $\times$ , použitý laser 532 nm, doba expozice 10 s, celkový počet expozic 100, nastavený výkon laseru 8 mW, použitá apertura 50  $\mu$ m pinhole, velikost měřené stopy 1.1  $\mu$ m. Spektrometr byl kalibrován pomocí softwarově řízené procedury za využití emisních linií neonu (kalibrace vlnočtu), Ramanových pásů polystyrenu (kalibrace frekvence laseru) a standardizovaného zdroje bílého světla (kalibrace intenzity). Zpracování spektra bylo provedeno pomocí software Omnic 9 (Thermo Scientific).

### Výsledky studia kleemanitu

Studované vzorky našli Karel Jakobec a Milan Křišťufek (Sokolov) na jaře roku 2013 v povrchové dobové Huber v Krásně (obr. 2). Kleemanit se na nich vyskytuje v korozních dutinách po světle hnědorůžových agregátech s převažujícím fluorapatitem v mléčném křemenu. Tvoří bílé, drobně jehlicovité až vláknité krystaly shlukující se do ježkovitých a snopkovitých agregátů o velikosti do 2 mm (obr. 3, 4). Jednotlivé krystaly dosahují délky do 0.5 mm (obr. 5, 6). Nejčastějšími doprovodnými minerály jsou Al-bohatý chalkosiderit a krásnoit.

Rentgenová prášková data kleemanitu z Krásna (tab. 1) odpovídají údajům publikovaným pro tento minerální druh. Zpřesněné parametry jeho základní cely (tab. 2) se dobře shodují s publikovanými údaji uvedenými v práci Pilkingtona et al. (1979).

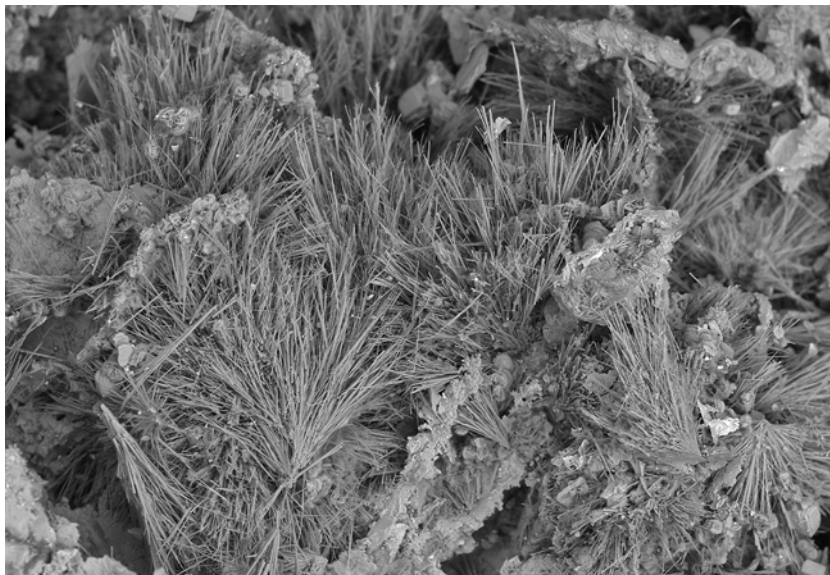
**Obr. 5** Jehlicovité agregáty kleemanitu v dutině alterovaného fluorapatitu. Vzorek inv. č. P1N 116825. Šířka záběru 1.5 mm, BSE foto L. Váchová.



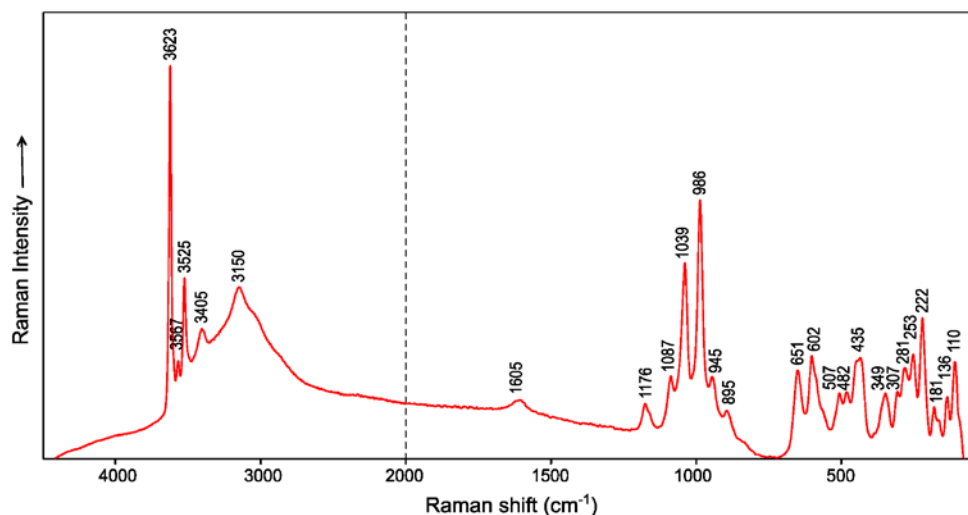
**Obr. 3** Bílé agregáty jehlicovitých krystalů kleemanitu spolu se zeleným Al-bohatým chalkosideritem. Hubský peň. Sběr K. Jakobec, sbírka Národní muzeum Praha, inv. č. P1N 116825. Šířka záběru 6 mm, foto L. Vrtiška.



**Obr. 4** Snopkovité agregáty vláknitých krystalů bílého kleemanitu, zelené krystaly Al-bohatého chalkosideritu a bílé kulovité shluky tabulkových krystalů krásnoitu. Sběr K. Jakobec, sbírka Národní muzeum Praha, inv. č. P1N 116825. Šířka záběru 1.5 mm, foto L. Vrtiška.







Obr. 7 Ramanovo spektrum kleemanitu z Krásna.

Chemické složení kleemanitu je relativně blízké ideálnímu vzorci (tab. 3). V oxoaniontové části krystalové struktury byl zjištěn pouze fosfor. V kationtové části byly zjištěny obsahy Zn (0.97 - 1.07 *apfu*), Al (2.00 - 2.10 *apfu*) a zvýšené obsahy Fe do 0.11 *apfu*. Na základě stechiometrie nebylo možné zjistit, do které pozice Fe vstupuje. Pilkington et al. (1979) uvádějí, že Fe vstupuje do kleemanitu v trojmocném stavu. Za tohoto předpokladu obsahuje vzorek z Krásna 0.08 - 0.11 *apfu* Fe<sup>3+</sup>. Zajímavé jsou zvýšené obsahy F (do 0.08 *apfu*), které odrážejí všeobecný nadbytek tohoto prvku v minerálních asociacích na lokalitě. Empirický vzorec kleemanitu z Krásna (průměr devíti bodových analýz) lze na bázi P = 2 *apfu* vyjádřit jako Zn<sub>1.02</sub>(Al<sub>2.04</sub>Fe<sub>0.09</sub>)<sub>Σ2.13</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4.200</sub>[(OH)<sub>2.41</sub>(F)<sub>0.04</sub>]<sub>Σ2.45</sub>·3H<sub>2</sub>O. Collatonová (2002) na základě podobnosti stechiometrie usuzuje na podobnost struktury kleemanitu s metavauxitem. Struktura metavauxitu je podle Della Ventura et al. (2019) tvořena vrstvami [Al(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH)(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>]<sup>7-</sup>, mezi nimiž jsou izolované oktaedry [Fe(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>]<sup>2+</sup> propojené vodíkovými můstky. Obdobné strukturální prvky mají například také strunzit a pseudolaueit.

Ramanovo spektrum kleemanitu nebylo dosud publikováno. Získaný záznam koresponduje s infračervenými spektry publikovanými pro tento minerál (Lai, Sun 1993; Chukanov, Chervonnyi 2016) a je srovnatelný s Ramanovými spektry přírodních fosforečnanů. Spektrum kleemanitu (obr. 7) lze orientačně interpretovat analogicky publikovaným údajům (Frost 2004; Capitelli et al. 2014; Čejka et al. 2014 apod.). Úsek vlnočtů 3700 - 2500 cm<sup>-1</sup> je charakteristický ostrými pásy valenčních vibrací  $\nu(\text{OH})$  volných OH skupin (3623 cm<sup>-1</sup>) a hydroxylů vázaných vodíkovými vazbami (3567 a 3525 cm<sup>-1</sup>), jakož i širokým maximem vyvolaným valenčními vibracemi OH vazeb v molekulách vody (3150 cm<sup>-1</sup> s dílčím píkem 3405 cm<sup>-1</sup>). Přítomnost krystalové vody dokládají také projevy její deformační vibrace  $\delta(\text{H}_2\text{O})$  v pásu u 1605 cm<sup>-1</sup>. Úseku spektra kolem 1000 cm<sup>-1</sup> dominují valenční vibrace fosfátové skupiny s možným přiřazením maxim 1176 a 1087 cm<sup>-1</sup> k antisymetrickému  $\nu_3(\text{PO}_4)$  a 1039 a snad i 986 cm<sup>-1</sup> k symetrickému módu  $\nu_1(\text{PO}_4)$ . Ne zcela jasné je přiřazení píků 945 a 895 cm<sup>-1</sup>; Frost (2004) v tomto úseku uvádí pro hopeit a parahopeit další projevy vibrací  $\nu_1(\text{PO}_4)$ , podle dat publikovaných pro fluellit (Čejka et al. 2014) by mohlo jít i o projevy deformačních vibrací  $\delta(\text{Al-OH})$ . Dvojice maxim 602 a 651 cm<sup>-1</sup> může být přiřazena deformačním antisymetrickým vibracím  $\nu_4(\delta)(\text{PO}_4)$ , následující pásy v intervalu cca 510 - 400 cm<sup>-1</sup> pak deformačnímu symet-

rickému módu  $\nu_2(\delta)(\text{PO}_4)$ . Skupinu maxim v rozmezí cca 350 - 200 cm<sup>-1</sup> lze nejspíše přiřadit překrývajícím se valenčním vibracím  $\nu(\text{M-OH})$  a  $\nu(\text{M-O})$ . Dochází zde ke koincidenci s mřížkovými vibracemi, k jejichž projevům patří i pásy s nižšími vlnočty.

## Závěr

Studovaný kleemanit z Hubského pně v Krásně u Horního Slavkova je prvním zjištěným výskytem tohoto minerálního druhu v České republice. Jeho vznik je vázán na *in-situ* supergenní zónu s vysokou aktivitou fosforu v prostředí korozních dutin ve fosfátových akumulacích s dominujícím fluorapatitem. Zdroj hliníku je možné hledat v alteraci fylosilikátů, topazu a živců. Zinek byl pravděpodobně uvolněn během alterace sfaleritu, jediného hojnější na lokalitě se vyskytujícího primárního minerálu Zn. Měď nutná pro vznik doprovodného chalkosideritu pochází z chalkopyritu či minerálů ze skupiny tennantitu, které se na lokalitě běžně vyskytují a jsou přítomny i na studovaných vzorcích. Studovaný vzorek kleemanitu je uložen v mineralogické sbírce Národního muzea v Praze pod inventurním číslem P1N116825.

## Poděkování

Poděkování patří zejména ing. Karlu Jakobcovi a Ing. Milanu Křišťůvkovi za poskytnutí studijního materiálu a ing. Lence Váchové za pořízení BSE fotografií. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národního muzea (00023272 - cíl DKRVO 2019/2023 - 1.II.e).

## Literatura

- BERAN P (1995) Mineralogie a petrologie Sn-W ložiska Krásno u Horního Slavkova. Bull Mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha) 3: 108-124
- BERAN P (1999) Nerosty cíno-wolframových ložisek Slavkovského lesa. Okresní muzeum a knihovna Sokolov 1-288
- BERAN P, SEJKORA J (2006) The Krásno Sn-W ore district near Horní Slavkov: Mining history, geological and mineralogical characteristics. J Czech Geol Soc 51: 3-42
- BERAN P, TVRDÝ J (2008) Historie dobývání rud v Slavkovském lese. Minerál, Speciál Krásno-Horní Slavkov: 13-21

- CAPITELLI F, DELLA VENTURA G, BELLATRECCIA F, SODO A, SAVIANO M, GHIARA R, ROSSI M (2014) Crystal-chemical study of wavellite from Zbirov, Czech Republic. *Mineral Mag* 78: 1057-1070
- COLLATON TG (2002) Kleemanite structure and synthesis  $ZnAl_2(PO_4)_2(OH)_2 \cdot 3H_2O$ . Thesis B.Sc. (Hons.), Flinders University of South Australia, School of Chemistry, Physics and Earth Sciences. 1-58
- ČEJKA J, SEJKORA J, MACEK I, FROST RL, LÓPEZ A, SCHOLZ R, XI Y (2014) A vibrational spectroscopic study of a hydrated hydroxy-phosphate mineral fluellite,  $Al_2(PO_4)_2F_2(OH) \cdot 7H_2O$ . *Spectrochim Acta, A* 126: 157-163
- DELLA VENTURA G, CAPITELLI F, CAPITANI G, VENTRUTI G, MONNO A (2019) X-ray structure refinement and vibrational spectroscopy of metavauxite  $FeAl_2(PO_4)_2(OH)_2 \cdot 8H_2O$ . *Crystals* 9, 297: 1-14
- FROST RL (2004) An infrared and Raman spectroscopic study of natural zinc phosphates. *Spectrochim Acta, A* 60: 1439-1445
- CHUKANOV NV, CHERVONNYI AD (2016) Infrared Spectroscopy of Minerals and Related Compounds. 1<sup>st</sup> ed. Springer, Berlin. 1-1109
- LAI L, SUN Y (1993) Discovery of kleemanite, a zinc aluminum phosphate in China. *Yanshi Kuangwuxue Zazhi* 12: 279-283 (in Chinese with English summary)
- LAUGIER J, BOCHU B (2011) LMGP-Suite of Programs for the Interpretation of X-ray Experiments. - Přístup 25. 4. 2011 na adrese <http://www.ccp14.ac.uk/tutorial/lmgp>
- MAJER J (1970) Těžba cínu ve Slavkovském lese v 16. století. Národní technické muzeum Praha, 1-227
- MAJER J (1995) Historie těžby ložiska Krásno. Likvidační zpráva závodu Stannum Horní Slavkov Rudných dolů Příbram s.p., Geomont s.r.o. Příbram. Česká geologická služba, Praha.
- MILLS SJ, KOLITSCH U, BIRCH WD, SEJKORA J (2008) Kunatite,  $CuFe_2(PO_4)_2(OH)_2 \cdot 4H_2O$ , a new member of the whitmoreite group, from Lake Boga, Victoria, Australia. *Austral J Mineral* 14: 3-12
- MILLS SJ, KAMPF AR, SEJKORA J, ADAMS PM, BIRCH WD, PLÁŠIL J (2011) langreyite: a new secondary phosphate mineral closely related to perhamite. *Mineral Mag* 75: 327-336
- MILLS SJ, SEJKORA J, KAMPF AR, GREY IE, BASTOW TJ, BALL NA, ADAMS PM, RAUDSEPP M, COOPER MA (2012) Krásnoite, the fluorophosphate analogue of perhamite, from the Huber open pit, Czech Republic and the Silver Coin mine, Nevada, USA. *Mineral Mag* 76: 625-634
- PILKINGTON ES, SEGNET ER, WATTS J, FRANCIS G (1979) Kleemanite, a new zinc aluminium phosphate. *Mineral Mag* 43: 93-95
- POUCHOU JL, PICOIR F (1985) "PAP" ( $\phi\rho Z$ ) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (J. T. Armstrong, ed.). San Francisco Press, San Francisco, 104-106
- PRING A, BIRCH WD (1989) Kleemanite from the Kintore Opencut, Broken Hill, New South Wales. *Australian Min* 4(4): 123-125
- SEJKORA J, BERAN P (2008) Minerály Sn-W revíru Krásno u Horního Slavkova. *Minerál, Speciál Krásno-Horní Slavkov*: 21-59
- SEJKORA J, PLÁŠIL J (2008) Minerály uranového revíru Horní Slavkov. *Minerál, Speciál Krásno-Horní Slavkov*: 69-74
- SEJKORA J, TVRDÝ J (2008) Minerály ložisek Vysoký Kámen u Krásna (greisen a živec). *Minerál, Speciál Krásno-Horní Slavkov*: 59-68
- SEJKORA J, ONDRUŠ P, FIKAR M, VESELOVSKÝ F, MACH Z, GABAŠOVÁ A (2006a) New data on mineralogy of the Vysoký Kámen deposit near Krásno, Slavkovský les area, Czech Republic. *J Czech Geol Soc* 51: 43-55
- SEJKORA J, ONDRUŠ P, FIKAR M, VESELOVSKÝ F, MACH Z, GABAŠOVÁ A, ŠKODA R, BERAN P (2006b) Supergene minerals at the Huber stock and Schnöd stock deposits, Krásno ore district, the Slavkovský les area, Czech Republic. *J Czech Geol Soc* 51: 57-101
- SEJKORA J, ŠKODA R, ONDRUŠ, P (2006c) New naturally occurring mineral phases from the Krásno-Horní Slavkov area, western Bohemia, Czech Republic. *J Czech Geol Soc* 51: 159-187
- SEJKORA J, ŠKODA R, ONDRUŠ P, BERAN P, SÜSSER C (2006d) Mineralogy of phosphate accumulations in the Huber stock, Krásno ore district, Slavkovský les area, Czech Republic. *J Czech Geol Soc* 5: 103-147
- SEJKORA J, GREY IE, KAMPF AR, PRICE JR, ČEJKA J (2016) Tvrdýite,  $Fe^{2+}Fe^{3+}Al_3(PO_4)_4(OH)_5(OH_2)_4 \cdot 2H_2O$ , a new phosphate mineral from Krásno near Horní Slavkov, Czech Republic. *Mineral Mag* 80(6): 1077-1088
- SEJKORA J, GREY IE, KAMPF AR (2019a) Kenngottite,  $Mn^{2+}Fe^{3+}(PO_4)_4(OH)_6(H_2O)_2$ , a new phosphate mineral from Krásno near Horní Slavkov, Czech Republic. *Eur J Mineral* 31: 629-636
- SEJKORA J, TVRDÝ J, ČEJKA J, VRTIŠKA L, DOLNÍČEK Z (2019b) Bendadaite from Krásno near Horní Slavkov (Czech Republic), description and Raman spectroscopy. *Bull Mineral Petrol* 27(1): 63-71
- TORRES B, MELGAREJO JC, TORRÓ L, CAMPRUBÍ A, CASTILLO-OLIVER M, ARTIAGA D, CAMPENY M, TAULER E, JIMÉNEZ-FRANCO A, ALFONSO P, ARCE-BURGOA OR (2019) The Poopó polymetallic epithermal deposit, Bolivia: mineralogy, genetic constraints, and distribution of critical elements. *Minerals* 9: 472
- TVRDÝ J, PLÁŠIL J, ŠKODA R (2020) New crystal-chemical data on zincoberaunite from Krásno near Horní Slavkov (Czech Republic). *J Geosci* 65: 45-57
- VRTIŠKA L, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R (2016) Philipsburgit z Krásna u Horního Slavkova, Slavkovský les (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 24(2): 243-251
- VRTIŠKA L, SEJKORA J, MALÍKOVÁ R (2018) Arthurit z Huberova Pně v Krásně u Horního Slavkova - první výskyt v České republice. *Bull Mineral Petrolog* 26(1): 74-77
- WERNER AG (1817) Karpolith. In: *Letztes Mineral-System* 10: 43-44