

## Dewindtit z uranového ložiska Zálesí u Javorníka v Rychlebských horách (Česká republika)

### Dewindtite from the uranium deposit Zálesí in Rychlebské hory Mountains (Czech Republic)

JIŘÍ SEJKORA<sup>1)\*</sup>, PETR PAULIŠ<sup>1,2)</sup>, VLASTIMIL TOEGEL<sup>3)</sup>, LUBOŠ VRTIŠKA<sup>1)</sup> A RADANA MALÍKOVÁ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice;

\*e-mail: jiri\_sejkora@nm.cz

<sup>2)</sup>Smiškovka 564, 284 01 Kutná Hora

<sup>3)</sup>Medlov 251, 783 91 Uničov

Sejkora J., Pauliš P., Toegel V., Vrtiška L., Malíková R. (2016) Dewindtit z uranového ložiska Zálesí u Javorníka v Rychlebských horách (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 24, 1, 63-69. ISSN: 1211-0329.*

#### Abstract

A rare hydrated lead uranyl phosphate, mineral dewindtite, was found in the mine dump material of the abandoned uranium deposit Zálesí, Rychlebské hory Mountains, Silesia, Czech Republic. Dewindtite occurs there as lemon yellow acicular crystals, having about 0.1 mm in length and forming crystalline aggregates in fissures and cavities of "gummite" in association of dark green metatorbernite crystals. It is orthorhombic, space group *Bmmb*, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: *a* 16.032 (4), *b* 17.263(6), *c* 13.605(4) Å and *V* 3765(2) Å<sup>3</sup>. Chemical analyses of dewindtite correspond to the empirical formula  $(\text{Pb}_{1.17}\text{Ca}_{1.13}\text{K}_{0.52}\text{Cu}_{0.13}\text{Ba}_{0.12}\text{Co}_{0.04}\text{Ni}_{0.01})_{\Sigma 3.12}(\text{UO}_2)_{2.5,92}[(\text{PO}_4)_{4.3,49}(\text{AsO}_4)_{0.41}(\text{SO}_4)_{0.10}]_{\Sigma 4.00}\text{O}_2(\text{OH})_{1.66} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  on the basis of P+As+P 4 *apfu*. The origin of dewindtite is interpreted as product of *in-situ* supergene alteration of primary uranium mineralization in environment near under the present surface.

**Key words:** dewindtite, X-ray powder data, chemical composition, uranium deposit, Zálesí, Silesia, Czech Republic

Obdrženo: 30. 5. 2016; přijato: 7. 7. 2016

#### Úvod

Dewindtit, ortorombický  $\text{Pb}_3[(\text{UO}_2)_3(\text{PO}_4)_2\text{O}(\text{OH})_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , je poměrně vzácný uranový supergenní minerál, který byl v České republice zjištěn pouze na několika lokalitách. Jeho žluté až žlutooranžové celistvé povlaky a velmi drobné žluté tabulkovité krystaly byly zjištěny na žíle Geister v dolu Eliáš v jáchymovském rudním revíru (Ondruš et al. 1997). Nověji byly jeho slabé krystalické povlaky jasně žluté barvy, tvořené velmi tence protáhle tabulkovitými krystaly o velikosti do 60 μm, nalezeny na uranovém rudním výskytu Rýžoviště u Harrachova (Sejkora et al. 2003). V Medvědině tvoří minerály z izomorfní řady dewindtit - fosfuranilit žluté až sytě oranžové dlouze tabulkovité krystaly o velikosti do 2 mm (Plášil 2007; Plášil et al. 2009). Bez bližšího popisu a jakýchkoliv dat ho uvádějí i Fiala a Mrázek (1979) z uranového ložiska Zadní Chodov.

#### Charakteristika ložiska

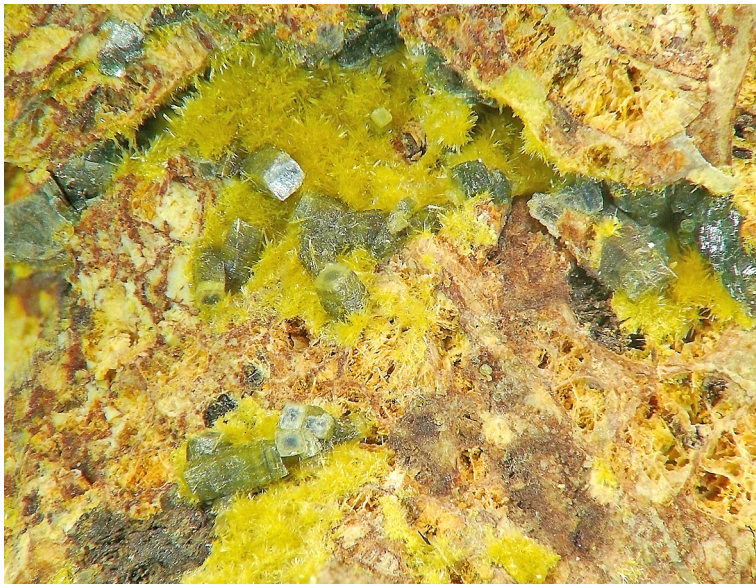
Opuštěné uranové ložisko Zálesí se nachází na východním svahu střední části Rychlebských hor, v. od obce Zálesí, jv. od obce Travná a cca 8 km jz. od Javorníka ve Slezsku (Česká republika). Objeveno bylo v roce 1957 emanačním průzkumem při regionální prospekci Jáchymovských dolů n. p. a dobýváno v letech 1958 - 1968. Rudní zóna byla rozfárána v pěti horizontech ze tří štol (č. 1, 2 a 3) a ze slepé jámy vyražené ze štoly č. 3. Kromě dvou rudních sloupů bylo důlními pracemi sledováno přes 30 žil a odžilků, z nichž 23 bylo dobýváno. Na pěti patrech

bylo celkem vyraženo 23.6 km horizontálních důlních děl a vytěženo přes 400 t uranu (Pluskal 1992; Cimala 1997). Objemem získaného kovu je toto ložisko největším z řady malých uranových ložisek krystalinika Českého masivu (Šuráň, Veselý 1982). Po ukončení těžby uranu byl proveden průzkum na rudy Cu, zjištěné bilanční zrudnění je však velmi nepravidelné a zjištěné zásoby malé (Fojt et al. 1971).

Po geologické stránce je ložisko Zálesí vázáno na styk parametamorfik ladecko-travenského pásma stroňské skupiny s novovilémovským sektorem sněžnických rul. Rudní mineralizace je vyvinuta v bazální části tohoto pásma, které je petrograficky velmi pestré - zastoupeny jsou amfibolity, amfibolové a amfibol-biotitové břidlice, mramory a v menší míře i erlány, svory, ruly, kvarcity a žíly lamprofytrů. Primární zrudnění křemen-uraninit-karbonátového typu s lokálními výskyty arsenidů Ni a Co a častým chalkopyritem je vyvinuto v podobě řady subparalelních žil s generelním směrem SSZ - JJV a úklonem 60 - 90° k VSV. Mocnost zjištěných žil kolísá od mm do m rozměrů. Při těžbě bylo na ložisku zastíženo 25 významnějších žil s řadou odžilků, prakticky však bylo těženo zrudnění vázáno na pět hlavních žil (Pavel, č. 4, 7, 11 a 13). Vedle žilné mineralizace je na ložisku vyvinuto i metasomatické zrudnění v silně karbonatizovaných krystalických břidlicích. Dobývána byla i dvě „rudní tělesa“: těleso T2, tvořené metasomatickým zatlačení krystalických vápenců a v menší míře i rul a svorů křemenem s rudními komponenty, a těleso Gábor, kde bylo uranové zrudnění vyvinuto v plochách foliace amfibolových hornin a v puklinách na ně



**Obr. 1** Místo nálezu dewindtitu na povrchovém výchozu struktury Pavel v Zálesí. Foto V. Toegel, 2014.



**Obr. 2** Agregáty jehličkovitých krystalů dewindtitu narůstajících v asociaci s krystaly metatorbernitů na alterovaný „gummit“, Zálesí. Šířka záběru 5 mm. Foto P. Fuchs.



kolmých (Šuráň, Veselý 1982; Cimala 1997).

Na ložisku byla rozlišena tři primární mineralizační stadia, odpovídající třem rozdílným minerálními asociacím: uraninitové, arsenidové a sulfidické (Fojt 1993; Fojt et al. 2005). Nejstarší **uraninitové stadium** je spojené především s hlavním primárním nositelem uranu – uraninitem. Typické pro toto stadium jsou i minerál blízký coffinitu, hematit, fluorit a clausthalit s dalšími selenidy - naumannitem, bohdanowiczitem, nepojmenovaným  $\text{Bi}_4\text{Se}_3$  (Sejkora et al. 2006), watkinsonitem (Topa et al. 2010), novým minerálem lithochlebitem (Sejkora et al. 2011), umangitem, athabascaitem, berzelianitem, kloekmannitem (Sejkora et al. 2012), tiemannitem, hakitem, bukovitem, eucairitem, eskebornitem a třemi pravděpodobně novými minerálními druhy (Sejkora et al. 2014). Velmi hojným minerálem je chalkopyrit, jenž jako nejmladší složka této asociace vystupuje spolu s kalcitem. Z nerudných minerálů jsou zastoupeny křemen, kalcit a dolomit.

Následující je **arsenidové stadium**, kde je žilovina reprezentována hlavně dolomitem, mnohdy intenzivně zatlačovaným mladším kalcitem, méně rozšířen je křemen. Nejstaršími minerály tohoto stadia jsou ryzí kovy - stříbro a bismut, které sloužily jako krystalizační základ arsenidů, které na ně narůstají a zcela je obklopují. Stříbro však bylo následnými mineralizačními procesy téměř beze zbytku vyloučeno. Bezprostřední vnitřní okraj obalových perimorfóz tvoří löllingit lemovaný Ni-kobaltinem. Vše bývá obklopeno rammelsbergitem. Podstatně vzácnější bismut obklopují zonálně vyvinuté arsenidy a sulfoarsenidy. Rámcově sleduje krystalizace arsenidů vývojovou řadu od monoarsenidů (nikelín) přes diarsenidy (rammelsbergit-safflorit) k triarsenidům (skutterudit). Spolu s nimi jsou místy zastoupeny i sulfoarsenidy (Ni-kobaltin, glaukodot a arsenopyrit). Sulfidy s niklem a kobaltem (Ni-bohatý pyrit, bravoit) patří k nejmladším součástem arsenidového stadia (Fojt 1972; Fojt et al. 2005). Vzácně byla v agregátech ryzího bismutu zjištěna i mikroskopická zrna selenidů pravděpodobně izomorfní řady ikunolit-laitakarit (Fojt, Škoda 2005).

Nejmladší, **sulfidické stadium** (pyrit, sfalerit, chalkopyrit, galenit aj.) s převládajícím kalcitem, je zastoupeno na ložisku jen v malé míře a pouze na žilách relativně větších mocností. Jde o některé partie žil č. 4, 7, 11 a 13 v hloubkovém horizontu 2. až 3. patra (Fojt 1993; Fojt et al. 2005).

**Obr. 3** Agregáty jehličkovitých krystalů dewindtitu narůstajících v asociaci s krystaly metatorbernitů na alterovaný „gummit“, Zálesí. Šířka záběru 5 mm. Foto P. Fuchs.

Na ložisku je dále vyvinuta velmi bohatá **supergenní mineralizace**, zejména minerálů U, Cu, Co, Ni, As a Se včetně nově popsaného minerálu zálesíitu (Sejkora et al. 1999); zjištěny zde byly minerální asociace vznikající jak v podmínkách supergenní zóny *in-situ* (Fojt, Lefnerová 1973; Pauliš, Zima 1982; Mrázek, Novák 1984; Sejkora et al. 2004, 2007b, 2008; Pauliš et al. 2006, 2012, 2014b), tak i (sub)recentní asociace vznikající zvětráváním v podmínkách opuštěných důlních chodeb (Frost et al. 2009, 2010a,b; Plášil et al. 2008; Sejkora et al. 2007b, 2008).

### Charakteristika dewindtitu

Dewindtit byl nalezen (VT) v květnu 2014 v jz. části nevelké haldy v oblasti povrchového výchozu struktury Pavel (obr. 1). Místo nálezů bylo lokalizováno přibližně 8 m západně od ohlubeně šurfu č. 1, asi 0.8 m pod povrchem haldy (GPS souřadnice: 50°21'19.55" S; 16°57'10.85" E). Oblast povrchových výchozů struktury Pavel a dalších žil je situována cca 450 m východně od ústí bývalé štoly č. 1 (1.5 km jv. od obce Zálesí), žilné struktury zde byly sledovány z povrchu více než 10 nehlubokými šachticemi („šurfy“) pravděpodobně v první etapě průzkumu ložiska Zálesí v letech 1957 - 1959 (Janata, Zachař 2007). Na podzim roku 2014 byly zbytky haldového materiálu v této oblasti v rámci rekultivačních prací odtěženy a odvezeny do areálu GEAM v Dolní Rožince.

Dewindtit zde byl zjištěn pouze na několika nevelkých (3 - 4 cm) úlomcích nahnědlé žlutého *gummitu* s černými relikty silně alterovaného uraninitu. Na puklinách a v drobných dutinách *gummitu* vytváří dewindtit drobné skupiny citrónově žlutých jehličkovitých krystalů o délce kolem 0.1 mm (obr. 2). Jednotlivé křehké krystaly jsou průsvitné až průhledné a vykazují skelný lesk. V krátkoaním dlouhovlnném UV-záření nevykazuje fluorescenci. V asociaci vystupují hojně tmavozelené lupinkovité, tlustě tabulkovité či soudečkovité krystaly metatorbernitů o velikosti do 1 mm (obr. 3).

V haldovém materiálu v bezprostředním okolí nálezů vzorků s dewindtitem byly zjištěny na úlomcích

hornin časté a plošně rozsáhlé ukázky růžově červených povlaků drobně krystalických agregátů minerálů skupiny vivianitu (erytrín/köttigit/annabergit/hörnesit) a relativně častěji i vzorky se selenidy (clausthalit, umangit) a supergenními selenicitany (především chalkomenit, vzácněji demesmaekerit).

### Rentgenové difrakční studium

Rentgenová prášková difrakční data dewindtitu byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s polovodičovým pozicičně citlivým detektorem LynxEye za užití CuK $\alpha$  záření (40 kV, 40 mA). Práškový preparát byl nanesen v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku a následně pak byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.01°, načítací 8 s/krok detektoru). Pozice jednotlivých difrakčních maxim byly popsány profilovou funkcí Pseudo-Voigt a upřesněny profilovým fitováním v programu HighScore Plus. Mřížkové parametry byly zpřesněny metodou nejmenších čtverců pomocí programu Celref (Laugier, Bochu 2011).

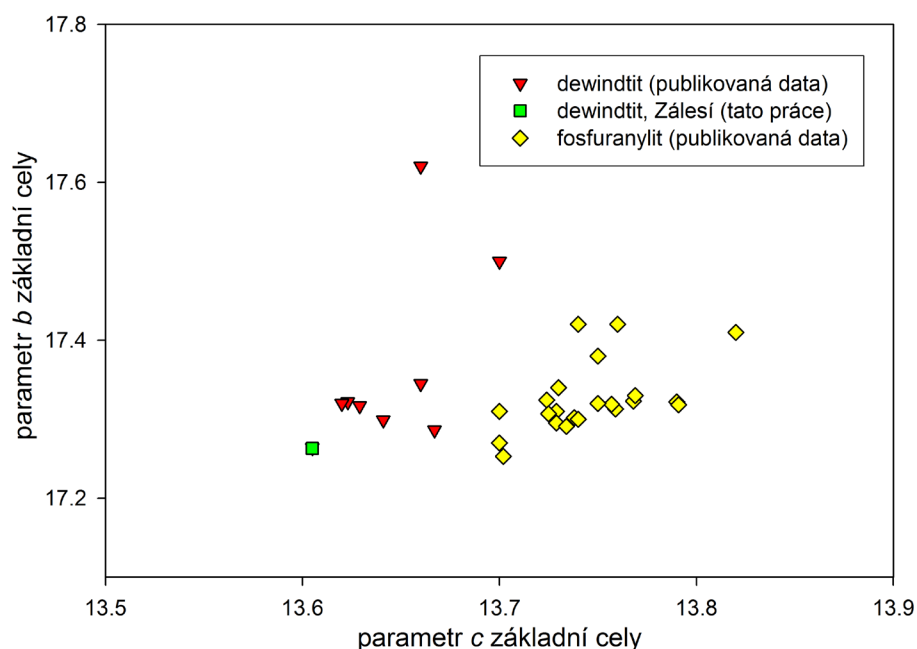
Pozice difrakčních maxim v rentgenových práškových datech dewindtitu (tab. 1) odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury (Piret et al. 1990); ve srovnání s teoretickými daty byly zjištěny významné rozdíly v intenzitě jednotlivých difrakčních maxim, které nelze jednoduše vysvětlit přednostní orientací jednoho, případně i více směrů. Obdobný jev uvádějí pro dewindtit z Harrachova - Rýžovic Sejkora et al. (2003). Na tomto místě je nezbytné podotknout, že rozlišení dewindtitu a fosforanilitu pouze na základě rentgenových práškových dat je značně komplikované a nejednoznačné (Sejkora et al. 2003, 2007a; Plášil et al. 2009). Pro rozlišení obou fází je možno využít (Sejkora et al. 2003) hodnot zpřesněných parametrů *b* a *c* základní cely (obr. 4). Zpřesněné parametry základní cely studovaného dewindtitu ze Zálesí jsou v tabulce 2 porovnány s publikovanými údaji pro minerální fáze izomorfní řady dewindtit - fosforanilit.

Tabulka 1 Rentgenová prášková data dewindtitu ze Zálesí

| <i>h</i> | <i>k</i> | <i>l</i> | <i>d<sub>obs</sub></i> | <i>I<sub>obs</sub></i> | <i>d<sub>calc</sub></i> | <i>h</i> | <i>k</i> | <i>l</i> | <i>d<sub>obs</sub></i> | <i>I<sub>obs</sub></i> | <i>d<sub>calc</sub></i> | <i>h</i> | <i>k</i> | <i>l</i> | <i>d<sub>obs</sub></i> | <i>I<sub>obs</sub></i> | <i>d<sub>calc</sub></i> |
|----------|----------|----------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------|----------|----------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------|----------|----------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1        | 0        | 1        | 10.353                 | 2                      | 10.374                  | 1        | 3        | 5        | 2.4313                 | 1                      | 2.4315                  | 2        | 6        | 6        | 1.7365                 | 1                      | 1.7386                  |
| 2        | 0        | 0        | 7.906                  | 100                    | 7.950                   | 7        | 0        | 1        | 2.2518                 | 1                      | 2.2586                  | 4        | 5        | 6        | 1.7111                 | 1                      | 1.7134                  |
| 0        | 1        | 2        | 6.351                  | 2                      | 6.329                   | 0        | 1        | 6        | 2.2480                 | 1                      | 2.2483                  | 0        | 1        | 8        | 1.6917                 | 1                      | 1.6925                  |
| 2        | 2        | 0        | 5.843                  | 17                     | 5.874                   | 3        | 6        | 3        | 2.2135                 | 1                      | 2.2117                  | 5        | 0        | 7        | 1.6622                 | 1                      | 1.6621                  |
| 2        | 1        | 2        | 4.943                  | 2                      | 4.967                   | 2        | 1        | 6        | 2.1679                 | 2                      | 2.1647                  | 8        | 6        | 0        | 1.6456                 | 1                      | 1.6445                  |
| 0        | 3        | 2        | 4.414                  | 6                      | 4.393                   | 5        | 6        | 1        | 2.1160                 | 1                      | 2.1154                  | 6        | 8        | 2        | 1.6300                 | 1                      | 1.6299                  |
| 1        | 0        | 3        | 4.360                  | 2                      | 4.364                   | 2        | 8        | 0        | 2.0830                 | 2                      | 2.0837                  | 5        | 7        | 5        | 1.5897                 | 1                      | 1.5876                  |
| 2        | 3        | 2        | 3.854                  | 5                      | 3.853                   | 5        | 1        | 5        | 2.0580                 | 1                      | 2.0599                  | 4        | 10       | 0        | 1.5852                 | 1                      | 1.5855                  |
| 2        | 4        | 0        | 3.806                  | 3                      | 3.800                   | 6        | 2        | 4        | 2.0422                 | 1                      | 2.0416                  | 0        | 8        | 6        | 1.5635                 | <1                     | 1.5632                  |
| 1        | 3        | 3        | 3.477                  | 50                     | 3.477                   | 8        | 0        | 0        | 2.0025                 | 2                      | 2.0040                  | 3        | 10       | 3        | 1.5444                 | <1                     | 1.5445                  |
| 0        | 0        | 4        | 3.411                  | 5                      | 3.401                   | 4        | 0        | 6        | 1.9729                 | 1                      | 1.9736                  | 2        | 8        | 6        | 1.5329                 | 1                      | 1.5343                  |
| 0        | 1        | 4        | 3.348                  | 6                      | 3.337                   | 1        | 1        | 7        | 1.9154                 | 1                      | 1.9176                  | 8        | 7        | 2        | 1.5163                 | <1                     | 1.5162                  |
| 2        | 0        | 4        | 3.128                  | 8                      | 3.131                   | 4        | 8        | 0        | 1.8974                 | 1                      | 1.9000                  | 8        | 0        | 6        | 1.5009                 | <1                     | 1.5016                  |
| 5        | 1        | 1        | 3.072                  | 5                      | 3.071                   | 1        | 2        | 7        | 1.8832                 | 2                      | 1.8830                  | 9        | 1        | 5        | 1.4849                 | <1                     | 1.4849                  |
| 2        | 2        | 4        | 2.953                  | 2                      | 2.943                   | 7        | 4        | 3        | 1.8490                 | 1                      | 1.8476                  | 0        | 12       | 0        | 1.4389                 | <1                     | 1.4386                  |
| 4        | 4        | 0        | 2.936                  | 2                      | 2.937                   | 3        | 0        | 7        | 1.8262                 | 1                      | 1.8266                  | 4        | 11       | 2        | 1.4288                 | <1                     | 1.4288                  |
| 0        | 6        | 0        | 2.879                  | 9                      | 2.877                   | 5        | 7        | 3        | 1.7959                 | 1                      | 1.7952                  | 11       | 1        | 3        | 1.3841                 | <1                     | 1.3831                  |
| 1        | 0        | 5        | 2.684                  | 1                      | 2.683                   | 4        | 7        | 4        | 1.7877                 | 1                      | 1.7871                  | 9        | 7        | 3        | 1.3758                 | <1                     | 1.3760                  |
| 5        | 0        | 3        | 2.631                  | 1                      | 2.618                   | 0        | 6        | 6        | 1.7801                 | 1                      | 1.7810                  |          |          |          |                        |                        |                         |

**Tabulka 2** Parametry základní cely minerálů řady dewindtit - fosfuranylit (pro porovnání transformovány do postavení ortorombické prostorové grupy Bmmb)

|              |                     | a [Å]                       | b[Å]      | c [Å]     | V [Å <sup>3</sup> ] |           |
|--------------|---------------------|-----------------------------|-----------|-----------|---------------------|-----------|
| dewindtit    | Zálesí              | tato práce                  | 16.032(4) | 17.263(6) | 13.605(4)           | 3765(2)   |
|              | Medvědin (XME7ZZ)   | Plášil et al. (2009)        | 15.738(8) | 17.345(9) | 13.66(1)            | 3728(3)   |
|              | Medvědin (M29)      | Plášil et al. (2009)        | 15.841(4) | 17.322(5) | 13.623(4)           | 3738(1)   |
|              | Shinkolobwe (Zaire) | Piret et al. (1990)         | 16.031(6) | 17.264(6) | 13.605(2)           | 3765      |
|              | Rýžoviště           | Sejkora et al. (2003)       | 15.725(2) | 17.317(3) | 13.629(3)           | 3711(1)   |
|              | Jáchymov            | Ondruš et al. (1997)        | 15.817(8) | 17.286(6) | 13.667(5)           | 3737      |
|              | Jáchymov            | Ondruš et al. (1997)        | 15.79(3)  | 17.32(1)  | 13.62(1)            | 3725      |
|              | Grury (France)      | PDF 39-1350                 | 15.826(6) | 17.299(7) | 13.641(2)           | 3735      |
|              | Kasolo (Zaire)      | Hogarth, Nuffield (1954)    | 16.00     | 17.62     | 13.66               | 3851      |
|              | Katanga (Zaire)     | PDF 8-328                   | 16.01     | 17.50     | 13.70               | 3838      |
| fosfuranylit | Abertamy            | Pauliš et al. (2016)        | 15.893(6) | 17.302(7) | 13.738(5)           | 3777.6(4) |
|              | Smrkovec            | Pauliš et al. (2014a)       | 15.827(4) | 17.310(7) | 13.729(5)           | 3761(2)   |
|              | Medvědin (M25)      | Plášil et al. (2009)        | 15.793(7) | 17.323(7) | 13.768(5)           | 3766(1)   |
|              | Medvědin (GA 120)   | Plášil et al. (2009)        | 15.769(5) | 17.313(8) | 13.759(7)           | 3757(2)   |
|              | Medvědin (XME6ZV)   | Plášil et al. (2009)        | 15.770(9) | 17.319(9) | 13.757(9)           | 3757(3)   |
|              | Medvědin (P2)       | Plášil et al. (2009)        | 15.793(6) | 17.320(7) | 13.75(1)            | 3761(3)   |
|              | Bois Noir (France)  | Demartin et al. (1991)      | 15.778(3) | 17.330(3) | 13.769(2)           | 3765      |
|              | Sardinia (Italy)    | Demartin et al. (1991)      | 15.899(2) | 17.300(3) | 13.740(2)           | 3779      |
|              | Peveagno (Italy)    | Demartin et al. (1991)      | 15.890(6) | 17.322(5) | 13.790(5)           | 3796      |
|              | Zambie              | Demartin et al. (1991)      | 15.862(6) | 17.253(7) | 13.702(5)           | 3750      |
|              | Margnac (France)    | Piret, Piret-Meunier (1991) | 15.835(7) | 17.324(6) | 13.724(4)           | 3765      |
|              |                     | Šaškin, Sidorenko (1975)    | 15.95(2)  | 17.38(4)  | 13.75(2)            | 3812      |
|              | Urgeirica           | Hoggart, Nuffield (1954)    | 15.85(1)  | 17.42(1)  | 13.76(1)            | 3799      |
|              |                     | PDF 6-43                    | 15.85     | 17.42     | 13.74               | 3794      |
|              | Horní Halže         | Sejkora et al. (2007a)      | 15.743(2) | 17.295(4) | 13.729(4)           | 3736(1)   |
|              | Rýžoviště           | Sejkora et al. (1994)       | 15.780(7) | 17.307(8) | 13.725(8)           | 3748(2)   |
|              | Kladská             | Pauliš et al. (1999)        | 15.82     | 17.34     | 13.73               | 3766      |
|              | Horní Slavkov       | Plášil et al. (2006)        | 15.774(4) | 17.318(4) | 13.791(3)           | 3767.5    |
|              | Jáchymov            | Ondruš et al. (1997)        | 15.48(2)  | 17.41(4)  | 13.82(2)            | 3725      |
|              | Předbořice          | Sejkora (1993)              | 15.85(1)  | 17.31(1)  | 13.70(1)            | 3759      |
| Kladská      | Sejkora (1993)      | 15.83(2)                    | 17.27(2)  | 13.70(1)  | 3745                |           |
| Chotěboř     | Sejkora (1993)      | 15.772(4)                   | 17.291(5) | 13.734(4) | 3745                |           |

**Obr. 4** Hodnoty parametrů c a b základní cely minerálů řady dewindtit - fosfuranylit; publikovaná data jsou uvedena v tabulce 2.

Tabulka 3 Chemické složení dewindtitu ze Zálesí (hm. %)

|                                | mean   | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| K <sub>2</sub> O               | 0.94   | 0.73   | 1.01   | 1.01   | 0.99   | 0.96   |
| CaO                            | 2.43   | 2.37   | 2.45   | 2.53   | 2.42   | 2.37   |
| BaO                            | 0.71   | 0.50   | 0.42   | 0.71   | 1.01   | 0.93   |
| PbO                            | 9.94   | 9.01   | 9.80   | 10.43  | 10.46  | 9.97   |
| CuO                            | 0.40   | 0.00   | 0.12   | 1.02   | 0.46   | 0.39   |
| CoO                            | 0.11   | 0.00   | 0.23   | 0.31   | 0.00   | 0.00   |
| NiO                            | 0.04   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.20   |
| As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 1.81   | 1.81   | 2.56   | 2.02   | 1.18   | 1.50   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 9.47   | 9.21   | 9.35   | 8.55   | 10.22  | 10.03  |
| SO <sub>3</sub>                | 0.29   | 0.14   | 0.36   | 0.20   | 0.00   | 0.75   |
| UO <sub>3</sub>                | 64.70  | 65.04  | 65.59  | 64.04  | 65.02  | 63.79  |
| H <sub>2</sub> O*              | 8.83   | 8.45   | 8.93   | 8.83   | 8.91   | 9.05   |
| total                          | 99.67  | 97.27  | 100.82 | 99.65  | 100.66 | 99.92  |
| K                              | 0.521  | 0.419  | 0.539  | 0.612  | 0.543  | 0.497  |
| Ca                             | 1.134  | 1.149  | 1.104  | 1.285  | 1.120  | 1.033  |
| Ba                             | 0.122  | 0.089  | 0.069  | 0.133  | 0.170  | 0.148  |
| Pb                             | 1.165  | 1.096  | 1.108  | 1.330  | 1.216  | 1.091  |
| Cu                             | 0.131  | 0.000  | 0.039  | 0.365  | 0.149  | 0.119  |
| Co                             | 0.037  | 0.000  | 0.076  | 0.117  | 0.000  | 0.000  |
| Ni                             | 0.014  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.064  |
| Σ                              | 3.124  | 2.754  | 2.935  | 3.842  | 3.199  | 2.951  |
| As                             | 0.413  | 0.428  | 0.561  | 0.499  | 0.266  | 0.320  |
| P                              | 3.492  | 3.523  | 3.325  | 3.428  | 3.734  | 3.452  |
| S                              | 0.095  | 0.049  | 0.114  | 0.073  | 0.000  | 0.229  |
| Σ                              | 4.000  | 4.000  | 4.000  | 4.000  | 4.000  | 4.000  |
| U                              | 5.919  | 6.176  | 5.786  | 6.375  | 5.898  | 5.447  |
| Htot                           | 25.661 | 25.490 | 25.018 | 27.894 | 25.652 | 24.528 |
| OH                             | 1.661  | 1.490  | 1.018  | 3.894  | 1.652  | 0.528  |
| H <sub>2</sub> O               | 12     | 12     | 12     | 12     | 12     | 12     |

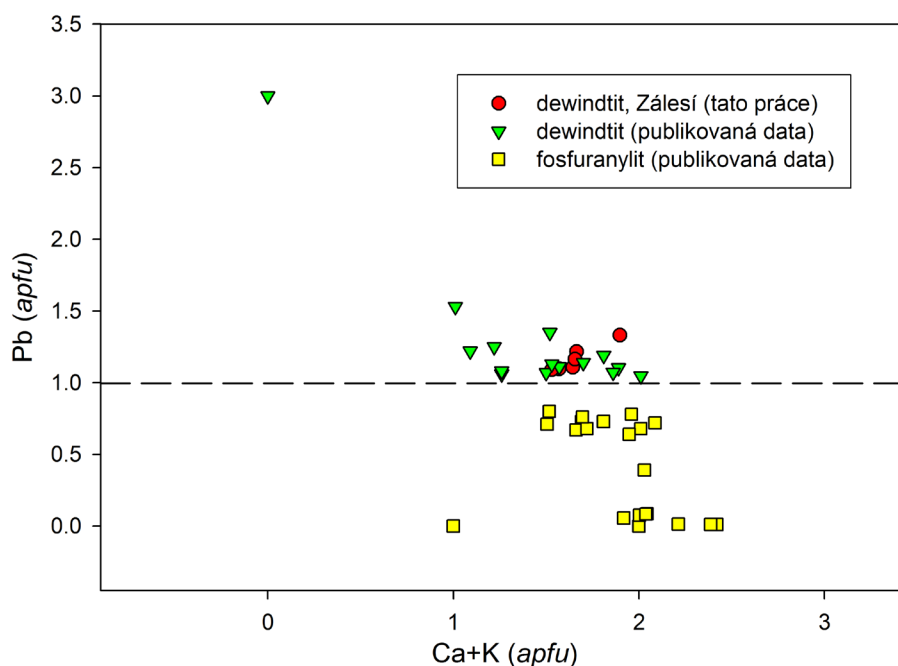
H<sub>2</sub>O\* - dopočtený obsah na základě vyrovnání nábojů (OH) a ideálního obsahu 12 molekul H<sub>2</sub>O; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi P+As+S = 4 apfu.

## Studium chemického složení

Chemické složení dewindtitu bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalyzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta, MU Brno, analytik J. Sejkora, R. Škoda), vlnově disperzní analýza, za podmínek: napětí 15 kV, proud 2 nA, průměr svazku 15 μm, standardy a použité vlnové délky: baryt (BaLβ), albit (NaKα), sanidin (AlKα, SiKα, KKα), spessartin (MnKα), Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> (MgKα), fluorapatit (PKα, CaKα), almandin (FeKα), gahnit (ZnKα), lammerit (CuLa, AsLa), vanadinit (PbMa, ClKα), uranofán (UMα), Co (CoKα), Ni<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> (NiKα), ScVO<sub>4</sub> (VKα), YPO<sub>4</sub> (YLa) a SrSO<sub>4</sub> (SKα). Obsahy měřených prvků, které nejsou uvedeny v tabulce, byly pod mezí detekce přístroje (cca 0.03 - 0.05 hm. %). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Při studiu chemického složení dewindtitu ze Zálesí (tab. 3) byly vedle obsahů Pb (1.09 - 1.33 apfu) zjištěny i významné obsahy Ca (1.03 - 1.28 apfu) a K (0.42 - 0.61 apfu) a minoritní obsahy Cu (do 0.37 apfu), Ba (do 0.17 apfu), Co (do 0.12 apfu) a Ni (do 0.06 apfu). Zvýšené obsahy Ca a K indikují významnou přítomnost fosfuranilytové komponenty ve studovaných vzorcích, podobné obsahy uvádějí pro dewindtit z Medvědína Plášil et al. (2009). Dewindtit se od fosfuranilytu odlišuje chemickým složením a krystalovou strukturou. Oba minerály mají sice stejnou topologii uranylových vrstev (Burns et al. 1996; Burns 2005), ale vykazují zřetelné rozdíly v obsazení prostoru mezivrstev. Dewindtit, na rozdíl od fosfuranilytu, neobsahuje v mezivrstvi jednu skupinu uranilu, což vyvolává nižší celkový poměr U : P (6 : 4 u dewindtitu, 7 : 4 u fosfuranilytu). Poměr U : P zjištěný u studovaných vzorků v rozmezí 5.5 - 6.4 tak dobře odpovídá hodnotám dewindtitu. Vzhledem ke komplikovaným heterovalentním substitucím v kationtové části struktury (převažující 3Pb → Ca+K+(H<sub>3</sub>O)<sub>3</sub>+(UO<sub>2</sub>)) lze hranici mezi dewindtitem a fosfuranilytem klást pravděpodobně k hodnotě obsahu 1 apfu Pb (obr. 5). Tato hranice odpovídá i změnám v poměru U : P a rozdílu v hodnotách parametrů základní cely (obr. 4). Definitivní vyřešení vztahu dewindtitu a fosfuranilytu čeká na vyřešení krystalových struktur jak kraj-

Obr. 5 Graf obsahu Ca+K vs. Pb (apfu) pro minerály řady dewindtit - fosfuranilyt; publikovaná data pro dewindtit jsou převzata z prací Piret et al. (1990), Plášil et al. (2009); pro fosfuranilyt z prací Demartin et al. (1991), Piret, Piret-Meunier (1991), Sejkora et al. (2007), Plášil et al. (2009), Pauliš et al. (2014) a Pauliš et al. (2016).



ních tak i přechodných členů na základě vzorků s jasně určeným chemickým složením. Empirický vzorec dewindtitu ze Zálesí (průměr pěti bodových analýz) je možno na bázi  $P+As+S = 4$  apfu vyjádřit jako  $(Pb_{1.17}Ca_{1.13}K_{0.52}Cu_{0.13}Ba_{0.12}Co_{0.04}Ni_{0.01})_{\Sigma 3.12}(UO_2)_{2.5,92}[(PO_4)_{3.49}(AsO_4)_{0.41}(SO_4)_{0.10}]_{\Sigma 4.00}O_2(OH)_{1.66} \cdot 12H_2O$ .

## Závěr

Nález vzácného fosfátu uranuly a olova dewindtitu na haldách malého uranového ložiska Zálesí v Rychlebských horách doplňuje bohaté spektrum supergenní mineralizace této unikátní lokality a je čtvrtým potvrzeným výskytem této minerální fáze v České republice. Vznik asociace dewindtitu s metatorbernitem je vázán na *in-situ* zvětrávání primární uranové mineralizace v podmínkách nehluboko pod dnešním povrchem.

## Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za spolupráci při laboratorním studiu R. Škodovi z Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity (Brno) a P. Fuchsovi (Teplice) za poskytnutí fotografií. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (cíl DKRVO 2016/02, 00023272).

## Literatura

- Burns P. C. (2005)  $U^{6+}$  minerals and inorganic compounds: insights into an expanded structural hierarchy of crystal structures. *Can. Mineral.* 43, 1839-1894.
- Burns P. C., Miller M. L., Ewing R. C. (1996)  $U^{6+}$  minerals and inorganic phases: a comparison and hierarchy of crystal structures. *Can. Mineral.* 34, 845-880.
- Cimala Z. (1997) Po stopách průzkumu a těžby uranových ložisek na Moravě a východních Čechách. *GEAM, Dolní Rožinka*, 1-129.
- Demartin F., Diella V., Donzelli S., Gramaccioli C. M., Piliati T. (1991) The importance of accurate crystal structure determination of uranium minerals. I. Phosphuranlylite  $KCa(H_3O)_3(UO_2)_7(P O_4)_4 O_4 \cdot 8H_2O$ . *Acta cryst. B*, 47, 439-446.
- Fiala V., Mrázek P. (1979) Hydrotermální alterace hornin ložiska Zadní Chodov. *Sbor. Západočes. Muz., Přír.*, 31, 1-50.
- Fojt B. (1972) Studium arzenidové mineralizace z lokality Zálesí ve Slezsku pomocí elektronové mikrosondy. *Sbor. symposia „Hornická Příbram ve vědě a technice“, sekce N*, 447-470. Praha.
- Fojt B. (1993) Minerály uranových ložisek v okolí Javorníka ve Slezsku. *Sbor. V. min. cykl. sem., (Horní Bečva)*, 108-109.
- Fojt B., Dolníček Z., Kopa D., Sulovský P., Škoda R. (2005) Paragenetická charakteristika hypogenních minerálních asociací uranového ložiska Zálesí u Javorníku ve Slezsku. *Čas. Slez. Muz., Sér. A* 54, 223-280.
- Fojt B., Lefnerová V. (1973) Supergene minerals of the ore deposit Zálesí, Silesia, part I. – minerals of the copper - ore association. *Scr. Univ. Purkyn. brun., Geol.* 3, 35-51.
- Fojt B., Škoda R. (2005)  $Bi_4Se_3$  a ikunolit-laitakarit z uranového ložiska Zálesí u Javorníku v Rychlebských horách. *Čas. Morav. Muz., Geol.* 90, 99-107. Brno.
- Fojt B. a kolektiv (1971) Mineralogický a geochemický výzkum rudních ložisek a drobných výskytů kyzů a rud barevných kovů v oblasti východních a středních Sudet, ložiska Zálesí - Horní Hoštice - Bílá Voda - Lesní Čtvrť. *MS, Závěrečná zpráva. Geofond, Praha*.
- Frost R. L., Bahfenne S., Čejka J., Sejkora J., Plášil J., Palmer S. J. (2010a) Raman spectroscopic study of the hydrogen-arsenate mineral pharmacolite  $Ca(AsO_3OH) \cdot 2H_2O$  - implication for aquifer and sediment remediation. *J. Raman Spectrosc.* 41, 1348-1352.
- Frost R. L., Keeffe E. C., Čejka J., Sejkora J. (2009) Vibrational spectroscopic study of the arsenate mineral strashimirite  $Cu_8(AsO_4)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$  - relationship to other basic copper arsenates. *Vibrat. Spectr.* 50, 289-297.
- Frost R. L., Reddy B. J., Sejkora J., Čejka J., Keeffe E. C. (2010b) Characterisation of the copper arsenate mineral strashimirite,  $Cu_8(AsO_4)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ , by near infrared spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.* 18, 157-165.
- Hoggart D. D., Buffield E. W. (1954) Studies of radioactive compounds: VII - phosphuranlylite and dewindtit. *Am. Mineral.* 39, 444-447.
- Janata M., Zachař Z. (2007) Javornický uran. 1-96, *Jan Škoda - Fortprint, Dvůr Králové nad Labem*.
- Laugier J., Bochu B. (2011) LMGPSuite of Programs for the Interpretation of X-ray Experiments. <http://www.ccp14.ac.uk/tutorial/lmgp>, přístup duben 2011.
- Mrázek Z., Novák M. (1984) Sekundární minerály uranu ze Zálesí a Horních Hoštic v Rychlebských horách, severní Morava. *Čas. Morav. Muz., Vědy přír.* 69, 7-35.
- Ondruš P., Veselovský F., Hloušek J., Skála R., Vavřín I., Frýda J., Čejka J., Gabašová A. (1997) Secondary minerals of the Jáchymov (Joachimsthal) ore district. *J. Czech Geol. Soc.*, 42, 4, 3-76.
- Pauliš P., Zíma J. (1982) Sekundární minerály ložiska uranových rud Zálesí u Javorníka ve Slezsku. *Čas. Slez. Muz., Sér. A* 31, 129-148.
- Pauliš P., Ševců J., Novotný J., Rendl J. (1999) Saléit a minerál izomorfní řady fosfuranlylit-yingjiangitové z uranového ložiska Kladská u Mariánských Lázní. *Věst. Čes. geol. Úst.* 74, 1, 47-49.
- Pauliš P., Škoda R., Novák F. (2006) Demesmaekerit z uranového ložiska Zálesí v Rychlebských horách. *Čas. Morav. Muz., Vědy geol.* 91, 89-95.
- Pauliš P., Toegel V., Jebavá I. (2012) Kintoreit z ložiska uranových rud Zálesí v Rychlebských horách (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 20, 2, 223-225.
- Pauliš P., Kopecký S. sen., Kopecký S. jun., Sejkora J., Malíková R., Vrtiška L. (2014a) Fosfuranlylit z uranového rudního výskytu Smrkovec u Lázní Kynžvart (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 22, 1, 99-104.
- Pauliš P., Toegel V., Malíková R. (2014b) Eulytin z ložiska uranových rud Zálesí v Rychlebských horách. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 22, 1, 120-122.
- Pauliš P., Sejkora J., Urban M., Nesrsta M., Vrtiška L., Malíková R., Pour O., Laufek F. (2016) Uranová supergenní mineralizace s fosfuranlylitem z Abertam, Krušné hory (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 24, 1, 46-55.

- Piret P., Piret-Meunier J. (1991) Composition chimique et structure cristalline de la phosphuranylite  $\text{Ca}(\text{UO}_2)[(\text{UO}_2)_3(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_2]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . *Eur. J. Mineral.* 3, 69-77.
- Piret P., Piret-Meunier J., Deliens M. (1990) Composition chimique et structure cristalline de la dewindtite  $\text{Pb}_3(\text{H}(\text{UO}_2)_3\text{O}_2(\text{PO}_4)_2)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . *Eur. J. Mineral.* 2, 399-405.
- Plášil J. (2007) Výzkum supergenní mineralizace uranového ložiska Medvědin, Krkonoše, ČR. MS, *Bakalářská práce PřF UK Praha*.
- Plášil J., Sejkora J., Čejka J., Škoda R., Goliáš V. (2009) Supergene mineralization of the Medvědin uranium deposit, Krkonoše Mountains, Czech Republic. *J. Geosci.* 54, 15-56.
- Plášil J., Sejkora J., Goliáš V. (2008) Kuprosklodowskit z uranového ložiska Zálesí u Javorníka v Rychlebských horách (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 16, 2, 205-207.
- Plášil J., Sejkora J., Ondruš P., Veselovský F., Beran P., Goliáš V. (2006) Supergene minerals in the Horní Slavkov uranium ore district, Czech Republic. *J. Czech geol. Soc.* 51, 149-158.
- Pluskal O. (1992) Československý uran. *Uhlí, rudy*, 7.
- Pouchou J. L., Pichoir 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.
- Sejkora J. (1993) Výskyty fosfuranylitu v České republice. In: *Sbor. V. min. cykl. sem. (Horní Bečva), Ústí nad Labem*, 97-99.
- Sejkora J., Veselovský F., Šrein V. (1994) The supergene mineralization of uranium occurrence Rýžoviště near Harrachov (Krkonoše Mts., Czech Republic). *Acta Mus. Nat. Pragae, ser. B (Historia Nat.)* 50, 55-91.
- Sejkora J., Řídkošil T., Šrein V. (1999) Zálesiite, a new mineral of the mixite group, from Zálesí, Rychlebské hory Mts., Czech Republic. *Neu. Jb. Mineral. Abh.* 175, 2, 105-124.
- Sejkora J., Čejka J., Pauliš P. (2003) Vzácný fosfát olova a uranylu - dewindtit z uranového rudního výskytu Rýžoviště u Harrachova (Krkonoše). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 11, 177-183.
- Sejkora J., Pauliš P., Malec J. (2004) Supergenní selenová mineralizace na uranovém ložisku Zálesí v Rychlebských horách. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 12, 174-179.
- Sejkora J., Škoda R., Pauliš P. (2006) Selenium mineralization of the uranium deposit Zálesí, the Rychlebské hory Mts., Czech Republic. *Miner. Polonica, Spec. Papers* 28, 196-198.
- Sejkora J., Čejka J., Šrein V. (2007a) Supergene uranium mineralization from Horní Halže near Měděnec (Krušné hory Mountains), Czech Republic. *J. Geosci.* 52, 199-210.
- Sejkora J., Pauliš P., Škoda R. (2007b) Uranové ložisko Zálesí v Rychlebských horách. *Minerál* 15, 4, 305-328.
- Sejkora J., Pauliš P., Tvrdý J. (2008) Zálesí – eine interessante Mineralfundstelle an der tschechisch-polnischen Grenze. *Lapis* 33, 10, 22-36.
- Sejkora J., Makovický E., Topa D., Putz H., Zagler G., Plášil J. (2011) Litochlebite,  $\text{Ag}_2\text{PbBi}_4\text{Se}_8$ , a new selenide mineral species from Zálesí, Czech Republic: description and crystal-structure determination. *Can. Mineral.* 49, 639-650.
- Sejkora J., Plášil J., Litochleb J., Škácha P., Pavlíček R. (2012) Asociace selenidů s makroskopickým umangitem z opuštěného uranového ložiska Zálesí v Rychlebských horách (Česká republika). *Bull. mineral. - petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 20, 2, 187-196.
- Sejkora J., Macek I., Škácha P., Pauliš P., Plášil J., Toegel V. (2014) Výskyt asociace Hg a Tl selenidů na opuštěném uranovém ložisku Zálesí v Rychlebských horách (Česká republika). *Bull. mineral. - petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 22, 2, 333-345.
- Šaškin D. P., Sidorenko G. (1975) Issledovanije kristallicheskoy struktury fosfuranilita. *Dokl. AN SSSR* 220, 1161-1164.
- Šurán J., Veselý T. (1982) Malá uranová ložiska krystalinika Českého masivu, IV. část: Oblast východních Čech a Moravy. *Geol. Hydrometallurg. Uranu* 6, 4, 3-50.
- Topa D., Makovický E., Sejkora J., Dittrich H. (2010) The crystal structure of watkinsonite,  $\text{Cu}_2\text{PbBi}_4\text{Se}_8$ , from the Zálesí uranium deposit, Czech Republic. *Can. Mineral.* 48, 1109-1118.