ČASOPIS MORAVSKÉHO MUZEA
ACTA MUSEI MORAVIAE
LXIX • 1984
Vědy přírodní *Scientiae naturales*

SEKUNDÁRNÍ MINERÁLY URANU ZE ZÁLESÍ A HORNÍCH HOŠTIC V RYCHLEBSKÝCH HORÁCH, SEVERNÍ MORAVA

SECONDARY MINERALS OF URANIUM FROM ZÁLESÍ AND HORNÍ HOŠTICE IN THE RYCHLEBSKÉ HORY MTS., NORTHERN MORAVIA

ZDENĚK MRÁZEK
Katedra mineralogie, VŠCHT, Praha

MILAN NOVÁK
Mineralogicko-petrografické oddělení
Moravské muzeum, Brno

Abstract

A set of secondary minerals of uranium from Zálesí and Horní Hoštice in the Rychlebské hory Mts., Northern Moravia is described in the present paper. Studtite, becquerelite, wölsendorfite, fourmarierite, masuyite, uranophane, beta-uranophane, kasolite, parsonsite, autunite, metaautunite, torbernite, metatorbernite, zeunerite, metazeunerite, uranospinite, metauranospinite, novačekite II, metanovačekite, tyuyamunite and metatyuyamunite have been determined using chiefly X-ray analysis and infrared absorption spectroscopy, Northern Tracor TN 2000 analysator (EDAX) and optical study too. Several mineral assemblages of secondary minerals of uranium have been distinguished in the localities: oxide-silicate, phosphate-silicate, phosphate (metatorbernite), arsenate I, arsenate II and silicate one.

Úvod

Mezi nejzajímavější lokality sekundárních minerálů posledních let patří dnes již opuštěná ložiska uranových rud Zálesí a Horní Hoštice v Rychlebských horách. První údaje o lokalitě Zálesí publikovali Fojt, Kruťa (1959), zde se ale o uranovém zrudnění a jeho sekundárních produktech nezmiňují. Následuje řada prací, které se týkají hlavně primární mineralizace (Fojt, Tenčík 1962), (Fojt et al. 1971), (Fojt 1972). Detailnější práci o sekundárních minerálech mědi uveřejnili Fojt, Lefnerová (1973) a Kruťa (1973) registruje také několik sekundárních nerostů uranu. V poslední době se sekundárními minerály v Zálesí zabývali Pauliš, Zíma (1981, 1982) a Bajer (1981).

Lokalita Horní Hoštice je svým vývojem poněkud chudší a byla jí věnována menší pozornost. Fojt et al. (1971) podávají geologickou a mineralogickou charakteristiku ložiska a všímají si hlavně primární mineralizace. Kruťa (1973) uvádí z Horních Hoštic několik sekundárních minerálů uranu. Přehled

ložiskových poměrů na obou lokalitách uveřejnili nově Šuráň, Veselý (1982).

V předložené práci jsou podány výsledky mineralogického studia sekundárních minerálů uranu z lokalit Zálesí a Horní Hoštice. Zpracovávané vzorky pocházejí ze sbírek mineralogicko-petrografického oddělení Moravského muzea v Brně a byly sbírány T. Kruťou ještě v průběhu těžby. Jen malá část vzorků byla získána novými sběry hlavně na odvalech štoly II v Zálesí. Při studiu sekundárních minerálů uranu z výše uvedených lokalit bylo identifikováno více než dvacet minerálních druhů ze skupiny oxidů, silikátů, fosfátů, arzenátů a vanadátů uranu, z nichž studtit, becquerelit, wölsendorfit, masuyit, kasolit, uranospinit, metauranospinit, nováčekit II a metaťujamunit jsou novými minerály pro ČSSR. Ťujamunit a parsonsit jsou novými minerály pro Moravu.

Geologické poměry ložisek Zálesí a Horní Hoštice

Uranová ložiska Zálesí a Horní Hoštice leží v javornickém výběžku Rychlebských hor asi 6 km jihozápadně, resp. severozápadně od Javorníka. Ložisko Zálesí je podle Fojta et al. (1971) situováno při jižním kontaktu parametamorfitů landeckotravenského pásma stroňské série a sněžnických rul. Zrudnění patří bazálnímu souvrství této série, kterou tvoří amfibolity, amfibolické a amfibolicko-biotitické břidlice, krystalické vápence, v menším množství také erlány, svory a jen ojediněle ruly a kvarcity. Z intruzivních hornin byly zjištěny lamprofyrické žíly. Zrudnění bylo soustředěno v řadě subparalelních pravých žil a žilek s generálním směrem SSZ—JJV, s úklonem k VSV a s úhlem sklonu 60—90°. Mocnost žil kolísá od několika mm do 1 m. Ložisko je silně tektonicky porušeno. Bylo zaznamenáno kolem 25 rudních žil s řadou odžilků. Hospodářsky významné zrudnění bylo vázáno na žílu Pavel, žíly č. 4, 7, 11, 13 a do rudních těles, z nichž největší význam měla tělesa Gábor a T 2. Tato tělesa tvoří silně hydrotermálně přeměněné a prokřemenělé horniny se smouhovitě rozmístěnými impregnacemi uraninu, chalkopyritu a arzenidů. Tři zjištěná mineralizační stádia odpovídají zároveň třem paragenetickým skupinám. Z nich je nejstarší křemen-chalkopyrit-smolincové mineralizační stádium, které bylo také hospodářsky nejdůležitější. Další dvě stádia jsou arzenidové a sulfidické a neměla hospodářský význam. Prostorový vztah jednotlivých mineralizačních stádií není zákonitý. Na pravých žilách se jednotlivá mineralizační stádia objevují, jak zcela odděleně, tak společně, takže např. nerosty nejstaršího křemen-chalkopyrit-smolincového stádia jsou místy zatlačovány nerosty arzenidového stádia. V metasomatických rudních tělesech je arzenidové stádium potlačeno a naopak se objevuje více chalkopyritu a pyritu.

V Horních Hošticích na kótě Jelen 701,8 m byl podle Fojta et al. (1971) ověřen žilný systém ve vložkách parabřidlic v hoštickém sektoru sněžnických rul. Křemen-karbonátové žíly o směru SSZ—JJV s příkrým úklonem k VSV pronikají amfibolity, svorové ruly a jemnozrnné pararuly. Na devíti sledovaných žilách bylo zjištěno stejné zrudnění jako v Zálesí, avšak s menším rozsahem hlavně arzenidového mineralizačního stádia. Metasomatické zrudnění nebylo zaznamenáno.

Pro jednotlivá mineralizační stádia jsou na obou lokalitách charakteristické tyto minerály (Fojt et al. 1971):

Křemen-chalkopyrit-smolincové stádium: křemen, chalkopyrit, uranin, hematit, coffinit, clausthalit, fluorit (pouze Zálesí), dolomit.

Arzenidové stádium: Ni-skutterudit (pouze Zálesí), nikelín, rammelsbergit, safflorit, skutterudit, dolomit, křemen, kalcit.

Sulfidické stádium: pyrit, sfalerit, galenit, chalkopyrit, kalcit.

Vedle uvedených byla zjištěna řada vzácnějších minerálů a jejich seznam uvádí Kruťa (1973).

Metodika výzkumu

Základní metodou pro identifikaci sekundárních minerálů uranu byla rentgenometrická analýza. Prášková difrakční data většiny vzorků byla zaznamenána na difraktometru Geigerflex, Cu záření, Ni filtr, rychlost otáčení goniometru 1°/min. U několika vzorků byla použita Guinier-De Wolfova komora, diam. 114,6 mm, Co záření, Fe filtr. U vzorků dostupných jen v nepatrném množství byla použita Gandolfiho komora, diam. 57,3 mm, Cu záření, Ni filtr. Získaná prášková difrakční data byla srovnávána s tabelovými údaji v knize Selected powder diffraction data for minerals (Philadelphia 1974) vydanou Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) případně s daty v originální literatuře. Hodnoty mezirovinných vzdáleností d jsou uvedeny v rozměru 10^{-10} m.

Chemické složení minerálů bylo sledováno pomocí energiově disperzního analyzátoru rentgenových paprsků Tractor Northern TN 2000, v textu označovaného zkratkou EDAX.

Jako doplňující metoda byla u některých vzorků použita infračervená absorpční spektroskopie. Infračervená absorpční spektra v rozsahu 4000—200 cm^{-1} byla zaznamenána na přístroji Perkin Elmer 325 technikou KBr tablet.

Snímky některých minerálů byly získány na rastrovacím elektronovém mikroskopu Phillips PSEM 500.

Indexy lomu byly měřeny imersní metodou v sodíkovém světle s přesností $\pm$ 0,002. Pokud byla přesnost měření menší, je u jednotlivých minerálů uvedena i s odůvodněním.

Chemické vzorce minerálů, pokud není uvedeno jinak, jsou užity podle Ramdohr, Strunz (1980).

Mineralogie

Oxidy

Studtit $UO_4 \cdot 4\,H_2O$

Studtit patří mezi nejvzácnější sekundární minerály uranu a je dosud jediným peroxidem nalezeným v přírodě. Původně byl studtit popsán jako hydratovaný karbonát uranu (Vaes 1947) ze známého ložiska uranu Shinkolobwe v Zairu. Druhý výskyt studtitu uvádí Walenta (1974) na lokalitě Menzenschwand v NSR a zároveň zjistil, že prášková difrakční data jeho studtitu jsou identická s daty studtitu popsaného Vaesem a s daty syntetické sloučeniny $UO_4 \cdot 4\,H_2O$.

Studtit byl zatím zjištěn jen na jediné ukázce z lokality Horní Hoštice. Tvoří chomáčky a plstnaté agregáty složené z velmi jemných bílých jehliček, viz obr. 1, které narůstají na uranofán. Studtit patří mezi nejmladší sekundární minerály.

Optická data studtitu bylo možno vzhledem k velmi malým rozměrům jehliček změřit jen s omezenou přesností. Studtit je bezbarvý, Z = c, $\alpha = 1{,}538(5)$, $\gamma = 1{,}670(5)$. Index lomu γ je poněkud nižší, než uvádí Walenta (1974).

Tab. 1: Prášková difrakční data studtitu (Gandolfiho komora)
X-ray powder data of studtite (Gandolfi camera)

1		2		1		2	
d	I	d	I	d	I	d	I
5,89	10	5,93	10	2,12	2	2,12	1
4,25	4	4,27	4	2,01	3	2,02	5
3,48	3	3,49	2b	1,960	5	1,970	5b
3,40	7	3,40	8			1,934	3
2,95	5	2,96	6			1,837	0,5b
2,71	1	2,72	0,5			1,797	1
		2,66	1	1,754	2	1,755	2
2,61	1	2,60	1	1,700	1	1,700	2b
2,48	2	2,49	2	1,634	0,5	1,635	2b
		2,44	2			1,567	1b
2,36	3	2,37	3	1,505	2	1,505	3
2,22	3	2,23	6				

1 — vzorek HH-46, Horní Hoštice
2 — studtit, Walenta (1974)

Studtit z Horních Hoštic byl potvrzen rentgenometrickou analýzou. Jeho prášková difrakční data a srovnání s literárními údaji (Walenta 1974) jsou uvedeny v tab. 1. Kvalitativní chemická analýza (EDAX) ukázala jako hlavní prvek uran, v nepatrné koncentraci byly zjištěny Al, Si, Pb a Ca, které náleží nejspíše povrchovým nečistotám na analyzovaných jehlicích. Rozpad jehlic pod elektronovým svazkem svědčí o přítomnosti většího počtu molekul krystalové vody.

Dosud nevyřešenou otázkou je vznik studtitu v přírodě. Walenta (1974) naznačuje určitou možnost v působení povrchové vody s obsahem H_2O_2 na minerály uranu. Nízké obsahy peroxidu vodíku jsou známy v dešťové vodě a i ve vodě z tajícího sněhu. Zajímavým faktem je jistě i to, že výskyt studtitu v Shinkolobwe, Menzenschwandu a v Horních Hošticích je vždy úzce spjat s uranofánem.

Becquerelit $CaO : 6\ UO_3 \cdot 10—11\ H_2O$

Becquerelit byl popsán jako hydratovaný oxid uranu (Schoep 1922). Frondel, Cuttitta (1953) a Frondel (1958) připisují becquerelitu vzorec $7\ UO_3 \cdot 11\ H_2O$. Protas (1957, 1959) zjistil ve všech dostupných vzorcích tohoto minerálu vápník a uvádí vzorec $CaO : 6\ UO_3 \cdot 11\ H_2O$. Obsah vody však není doposud přesně definován a obvykle se nyní uvádí množství 10—11 molekul (Čejka, Urbanec 1983).

Becquerelit byl zjištěn pouze na jediném vzorku z Horních Hoštic na puklině celistvého agregátu hydratovaných oxidů uranu a olova spolu s červenými krystalky wölsendorfitu II. Tvoří sírově žluté jehlice a nedokonalé sloupcovité krystalky často seskupené do drobnějších vějířů, viz obr. 2. Krystaly mají vysoký skelný lesk. V procházejícím světle je becquerelit silně pleochoický; X = světle žlutá, Z = kanárkově žlutá, Z = c, $\alpha \doteq 1{,}74$. Uvedená data jsou v souhlase s literárními údaji (Christ, Clark 1960).

Prášková difrakční data becquerelitu z Horních Hoštic dobře odpovídají datům publikovaným pro tento minerál (Christ, Clark 1960). Podle rentgenometrické analýzy je becquerelit nepatrně znečištěn uranofánem. Kvalitativní

Tab. 2: Prášková difrakční data becquerelitu (Guinier-De Wolfova komora)
X-ray powder data of becquerelite (Guinier-De Wolfe camera)

1		2		1		2	
d	I	d	I	d	I	d	I
7,88*	3			2,749	1	2,71 }	4b
7,45	10	7,44	100			2,74 }	
6,57	1	6,56	4	2,565	3	2,566	10
6,20	1	6,21	1	2,526	2	2,53	2
5,60	1	5,59	2	2,478	1	2,483	2
4,771*	1					2,441	4
4,665	1	4,68	6			2,378	4
3,935*	1			2,326	2		
3,726	4	3,73	30	2,300	2	2,305	4
3,593	2	3,61	4	2,263	1		
3,539	7	3,54	20	2,238	2		
3,447	4	3,45	4	2,196	2	2,197	2
3,355	4	3,37	4			2,102	4
3,208	10	3,20	35	2,058	4	2,065	4
3,129	5	3,14	4	2,031	2	2,036	6
3,084	2			2,008	2		
2,997*	2			1,990	4	1,989	4
2,948	3	2,959	4	1,940	3	1,935	6
2,900	2	2,894	4			1,891	2
2,847	1	2,848	4	1,864	2	1,869	4

1 — vzorek HH-48, Horní Hoštice
2 — becquerelit, Christ a Clark (1960)
* — linie příslušející uranofánu

chemickou analýzou (EDAX) byl vedle uranu jako hlavního prvku potvrzen i nízký obsah vápníku a ve stopách také olova.

Hydratované oxidy uranu a olova

Do této skupiny zajímavých většinou však ne zcela dostatečně definovaných minerálů patří curit, fourmarierit, masuyit, vandendriesscheit a wölsendorfit. V literatuře se objevují ještě názvy dalších minerálů, např. richetit (Vaes 1947) nebo metavandendriesscheit (Christ, Clark 1960), které však nelze pro zcela nedostatečné určení zařadit do mineralogického systému. Tyto minerály, vyjma curitu, představují hlavní fáze produktů sekundární přeměny uraninu, které byly dříve označovány jako gummit.

Rozlišení výše uvedených minerálů je velmi obtížné. Makroskopický vzhled je téměř stejný, zejména jedná-li se o kusové celistvé agregáty. Určité rozlišení lze podle literárních údajů provést na základě optických vlastností, které je však vzhledem k obvykle jemnozrnnému charakteru vzorků téměř nemožné změřit. Jako spolehlivé kritérium považují někteří autoři prášková difrakční data. Rozlišením těchto minerálů na základě práškových difrakčních dat se zabýval především Deliens (1977), který pro tyto fáze uvádí také charakteristické linie, viz tab. 3. Ze srovnání literárních údajů o práškových datech těchto fází (Deliens 1977), (Christ, Clark 1960) a (Bělova, Fedorov 1974) je však zřejmé, že i v datech pro jednotlivé fáze existují někdy dosti značné rozdíly. Uvedené minerály nejsou vždy dobře zkrystalovány a navíc je většinou obtížné a prakticky i nemožné je získat v čistém stavu. To také znesnad-

Tab. 3: Přehled hydratovaných oxidů uranu a olova
Review of the hydrated oxides of uranium and lead

	vandendriesscheit	fourmarierit	masuyit	wölsendorfit	curit
Vzorec	$PbO.7UO_3.12H_2O$	$PbO.4UO_3.4H_2O$	$3PbO.8UO_3.10H_2O$	$(Pb, Ca)O.2UO_3.2H_2O$	$2PbO.5UO_3.4H_2O$
Krystalová soustava	kosočtverečný	kosočtverečný	kosočtverečný	kosočtverečný	kosočtverečný
a	14,07	14,00	41,93	11,95	12,50
b	40,85	16,47	24,22	13,99	13,01
c	43,33	14,39	42,61	7,02	8,40
Pseudocela	7,04 (a/2) 4,08 (b/10) 7,22 (c/6)	7,00 (a/2) 4,12 (b/4) 7,20 (c/2)	6,99 (a/6) 4,04 (b/6) 7,10 (c/6)	7,00 (b/2) 3,98 (a/3) 7,02	
Diagnost. difrakční linie*	3,6 s 3,18 vs 2,80 w 2,42 mw	3,57 vs 3,51 ms 3,16 vs 6,4 w 2,73 w 2,51 m	3,56 m 3,52 s 3,48 ms 3,13 vs	3,46 vs 3,10 vs 6,9 s	3,51 vs 3,36 s 3,11 s 6,22 vs

* — podle Deliense (1977)

ňuje jejich rentgenometrickou identifikaci. Zejména ne vždy lze jednoznačně rozlišit fourmarierit od vandendriesscheitu a masuyit od wölsendorfitu.

Na studovaných lokalitách je běžná asociace hydratovaných oxidů uranu a olova se silikáty uranu. V Horních Hošticích převládají oxidy nad silikáty, v Zálesí je tomu naopak. Kruťa (1973) uvádí z obou lokalit vandendriesscheit a fourmarierit, který pro Zálesí potvrdil Bajer (1981). V rámci této studie byly identifikovány formarierit, wölsendorfit a masuyit. První dva minerály jsou na obou lokalitách dosti rozšířeny, zdá se však, že wölsendorfit mírně převládá. Masuyit byl zjištěn pouze na jediné ukázce v Horních Hošticích. Nepodařilo se potvrdit přítomnost vandendriesscheitu, který však naprosto nelze vyloučit.

Minerální asociace oxidů uranu a olova spolu se silikáty uranu je vždy vázaná na pravé žíly s výrazně převládajícím smolincovým zrudněním, a to pouze na jejich podpovrchové partie. Na hlubších horizontech rudních žil nebyla tato asociace zjištěna (Fojt — ústní sdělení). Oxidy uranu a olova tvoří celistvé agregáty zemitého nebo voskového vzhledu a nepravidelná oka zatlačující masivní uranin. Barva agregátů kolísá od tmavě červenooranžové až po žlutooranžovou, partie s vyšším podílem silikátů uranu jsou žluté. Celistvé agregáty mají zřetelnou kolomorfní stavbu, obr. 11, zajímavá a poměrně rozšířená je i klastická textura, obr. 12, svědčící o podrcení okrajů žil před jejich supergenní přeměnou. Agregáty jsou také protínány četnými tenkými žilkami žlutého uranofánu a obsahují značné množství uzavřenin čirého jasně žlutého rentgenamorfního minerálu vzhledem blízkého schoepitu. Pouze na jediném vzorku byly na puklině oxidů uranu a olova nalezeny krystalky patrně mobilizovaného wölsendorfitu II s becquerelitem. Tabulkovité pseudohexagonální krystalky wölsendorfitu II jsou červené až červenooranžové barvy a dosahují velikosti maximálně desetiny mm, obr. 3 a 4.

V práškovém preparátu jsou agregáty oxidů uranu a olova velmi jemnozrnné, jejich barva je červenooranžová až červenohnědá, někdy jsou téměř opakní. Vesměs mají velmi vysoké indexy lomu a jen ojediněle se vedle vysoce lomných oxidů objevují také zrníčka s nižšími indexy lomu a s modrými anomálními interferenčními barvami, která patří uranofánu nebo beta-uranofánu.

Tab. 4: Prášková difrakční data wölsendorfitu (Gandolfiho komora)
X-ray powder data of wölsendorfite (Gandolfi camera)

1		2	
d	I	d	I
7,73	2		
6,91	3	6,90	40
		5,99	5
3,47	7	3,44	90b
3,10	10	3,09	100
2,74	1	2,734	30
2,44	2	2,438	20
		2,270	20
2,01	3	2,010	30
		1,987	25
1,949	2		

1 — vzorek HH-47, Horní Hoštice
2 — wölsendorfit, Deliens (1977)

Tab. 5: Prášková difrakční data fourmarieritu (difraktometr)
X-ray powder data of fourmarierite (diffractometer)

1		2		3	
d	I	d	I	d	I
		8,55	1		
7,89	60			7,88	100
7,19	100	7,20	100		
6,60	9			6,61	40
6,41	10	6,42	3		
5,38	12			5,42	40
		5,04	11		
4,81	18	4,82	2		
4,37	15	4,36	2		
4,286	12b			4,29	20
		4,13	2		
3,942	30	4,0—3,90	3b	3,94	90
3,600	10			3,60	40
3,587	48	3,58	50		
3,539	60	3,55	18		
3,501	42	3,50	6	3,51	40
				3,41	10
				3,35	10
		3,28	1		
3,206	45			3,20	50
3,177	100	3,178	50		
3,149	66	3,143	12		
3,091	21	3,095	2	3,09	10
2,996	18			2,99	80
		2,97	1		
2,904	12			2,91	80
2,723	15b	2,724	4		

1 — vzorek HH-11a, Horní Hoštice
2 — fourmarierit, Christ a Clark (1960)
3 — uranofán, JCPDS 8-442

V tab. 4, 5 a 6 jsou uvedená prášková difrakční data hydratovaných oxidů uranu a olova ze Zálesí a Horních Hoštic srovnána s literárními údaji. V tab. 4 jsou uvedena pouze data krystalovaného wölsendorfitu (vzorek HH-47), data celistvého wölsendorfitu ve směsi s kasolitem a uranofánem jsou v tab. 9. Ne vždy se podařilo získat údaje, umožňující jednoznačnou identifikaci uvedených fází, zejména z důvodů nedokonalé krystalové struktury. Ve všech vzorcích s výjimkou krystalovaného wölsendorfitu II byla zjištěna příměs uranofánu nebo beta-uranofánu, pouze výjimečně kasolitu. Rentgenometrická analýza však ukázala, že i přes různorodou texturu celistvých agregátů (obr. 11 a 12) je vždy zastoupen pouze jeden z minerálů patřících do skupiny oxidů uranu a olova, jejich vzájemné směsi nebyly pozorovány.

Kvalitativní chemickou analýzou (EDAX) oxidů uranu a olova byly jako hlavní prvky potvrzeny olovo a uran, u wölsendorfitu pak i poněkud vyšší obsah vápníku. Obsah Ca u ostatních minerálů stejně jako obsah Si a Al se pohybuje jen ve stopách. Zvýšený obsah vápníku u wölsendorfitu opět naznačuje, že jde o hydratovaný oxid uranu, olova a vápníku, jak tomu nasvědčují i chemické

Tab. 6: Prášková difrakční data masuyitu (difraktometr)
X-ray powder data of masuyite (diffractometer)

1		2		3	
d	I	d	I	d	I
7,86	100			7,88	100
7,41	10				
7,08	60	7,10	80		
6,60	18			6,61	40
6,04	12	6,05	15		
5,41	16			5,42	40
4,77	32			4,76	50
		4,38	5		
4,29	8			4,29	20
3,93	40			3,94	90
3,60	20			3,60	40
3,50	95b	3,528	80	3,51	40
		3,481	80		
3,41	6			3,41	10
3,35	4			3,35	10
3,20	32			3,20	50
3,13	100	3,132	100	3,09	10
2,99	30			2,99	80
2,90	16			2,91	80
2,77	14	2,774	15		
2,69	14			2,69	40
2,58	8			2,57	20
2,51	6			2,52	20
2,482	10b	2,486	40		
				2,40	10
		2,364	10		
2,271	7	2,281	30	2,26	20

1 — vzorek HH-10b, Horní Hoštice
2 — masuyit, Deliens (1977)
3 — uranofán, JCPDS 8-442

analýzy wölsendorfitů z jiných lokalit. Např. Bělova, Fedorov (1974) nalezli ve wölsendorfitu 3,54 % CaO.

Geneze minerální asociace hydratovaných oxidů uranu a olova a silikátů uranu

Popsané oxidy uranu a olova jsou na studovaných lokalitách stejně jako na ostatních světových výskytech bezprostředně vázány na rozklad masivního uraninu a jsou vždy doprovázeny silikáty uranu — uranofánem a beta-uranofánem. Stavba těchto zajímavých sekundárních produktů rozpadu uraninu je vždy stejná. Jádro, resp. vnitřní část se skládá z ještě nepřeměněného černého masivního uraninu, vnější část je tvořena různě silnou kůrou uranofánu. Ve střední části mezi těmito dvěma zónami se objevují nepravidelná oka a větší celistvé agregáty červenooranžové barvy. Fázové složení této asociace studoval detailně Frondel (1956). V silikátové zóně je hlavním minerálem uranofán, méně beta-uranofán, výjimečně se uplatňují kasolit, soddyit a další minerály. Hlavními minerály červenooranžových agregátů prostřední zóny jsou podle Frondela (1956) fourmarierit, vandendriesscheit, masuyit a minerál C, později určený jako

wölsendorfit (P r o t a s 1957). Jen výjimečně se zde uplatňují ještě curit, becquerelit a schoepit. Výsledky fázového složení této asociace na lokalitách Horní Hoštice a Zálesí zcela zapadají do Frondelových zjištění (F r o n d e l 1956). Jako hlavní zástupci hydratovaných oxidů uranu a olova byly nalezeny wölsendorfit a fourmarierit, vzácný je masuyit, a pouze výjimečně se objevuje becquerelit. V silikátové zóně převládá uranofán, méně hojný je beta-uranofán a vzácně se objevuje také kasolit. F r o n d e l (1956) předpokládá při vzniku této asociace tři stádia:

1. oxidace uraninu (U^{4+}—U^{6+}).
2. rozklad a hydratace oxidovaného uraninu a vznik hydroxidů (hydratovaných oxidů) uranu a olova, v tomto stádiu předpokládá Frondel částečné vyloučení uranu.
3. reakce mezi hydratovanými oxidy uranu a olova a okolním prostředím na kontaktu s horninou za působení prosakujících vod, vznik silikátové zóny.

Pravděpodobnější se však zdá, že právě vznik silikátové zóny podmiňuje vznik oxidů uranu a olova a nikoliv naopak. Při prosakování povrchových vod po kontaktu žíly s uraninem a okolní horniny dochází k oxidaci a hydrataci uraninu a reakci produktů takto vzniklých s SiO_2 vyloučeným z horniny. Při tomto procesu vzniká často mocná zóna silikátů uranu a vápníku a tím dochází k vyloučení části uranu z kontaktní zóny. Toto vyloučení, které předpokládá F r o n d e l (1956) ve druhém stupni při vzniku hydratovaných oxidů uranu a olova, vede v této zóně k relativnímu obohacení radiogenním olovem na takovou míru, že je umožněn vznik samostatných minerálů uranu a olova.

Na studovaných vzorcích dosahuje vnější silikátová zóna často mocnosti několika cm, což jistě vedlo k výraznému zvýšení poměru Pb : U v této zóně. To by mohlo vysvětlovat značné zastoupení fourmarieritu a wölsendorfitu a nepřítomnost nebo jen malé zastoupení vandendriesscheitu, který má ve srovnání s předešlými minerály nižší poměr PbO : UO_3.

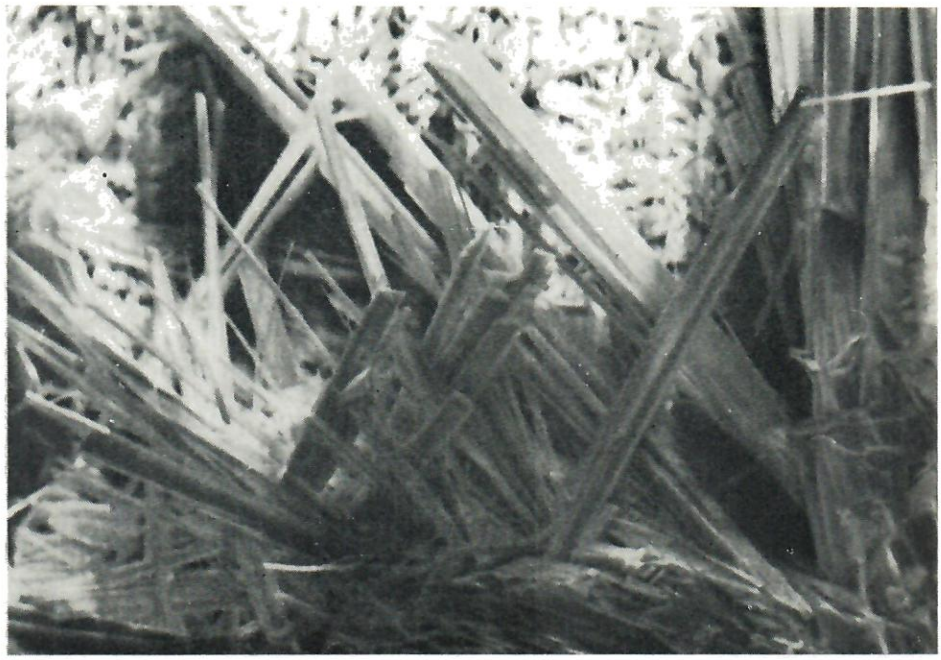
S i l i k á t y

Uranofán $CaH_2\,[UO_2\,|\,SiO_4]_2 \cdot 5\,H_2O$

Uranofán je nejhojnějším sekundárním minerálem uranu v Zálesí a velmi hojný je také v Horních Hošticích. Poprvé jej uvádí K r u ť a (1963) a nověji byl identifikován P a u l i š e m a Z í m o u (1981, 1982) a B a j e r e m (1981). Na studovaných lokalitách je uranofán přítomen ve více typech. Uranofán I se vyskytuje spolu s beta-uranofánem I a kasolitem, buď jako příměs v červenooranžových agregátech oxidů uranu a olova, nebo jako podstatná součást jejich žlutých lemů. V Zálesí byly občas zjištěny v křemenné žílovině pseudomorfózy uranofánu I po uraninu jako kulovité agregáty s radiálně paprsčitou stavbou. Uranofán II tvoří nejčastěji světle žluté zemité agregáty a povlaky na puklinách hornin většinou spolu s metaautunitem a metatorbernitem. Povlaky někdy přecházejí do ledvinitých agregátů nebo do izolovaných kuliček s radiálně paprsčitou stavbou. Uranofán III byl zjištěn pouze v Zálesí v silně hydrotermálně přeměněných prokřemenělých horninách s metasomatickým zrudněním. Vyskytuje se zde spolu s beta-uranofánem II v drobných dutinkách jako žluté jehlicovité krytalky často uspořádané do radiálně paprsčitých agregátů (obr. 5) nebo jako sloupcovité krystaly až 3 mm dlouhé.

Zemité formy uranofánu jsou v práškovém preparátu velmi jemnozrnné, světle žluté a vykazují agregátní polarizaci. Vzácně lze pozorovat modré anomální interferenční barvy. Podrobněji byly studovány drobné sloupečkovité

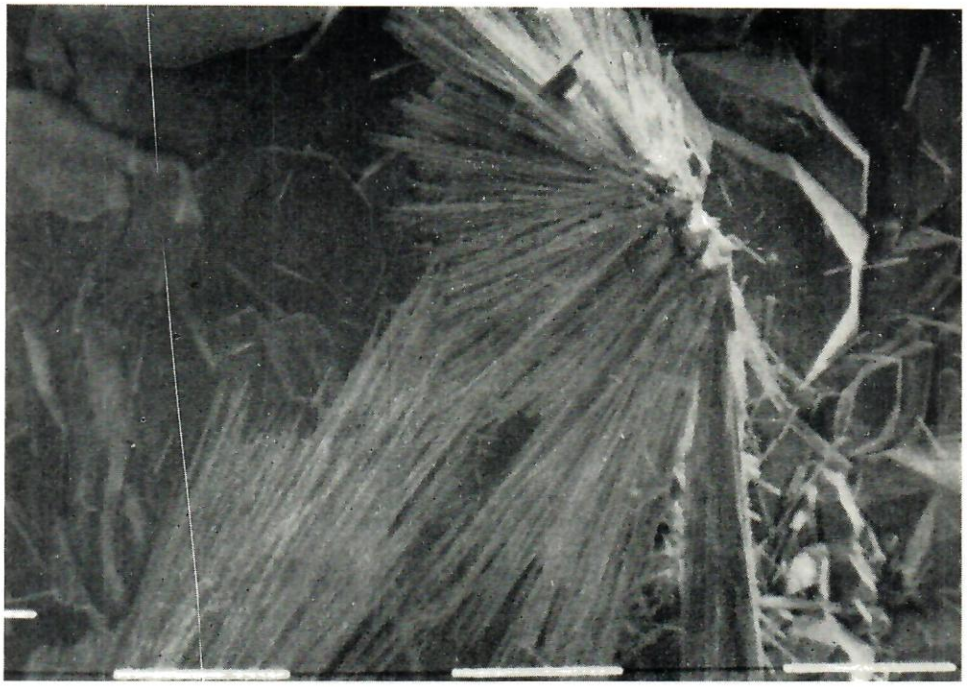
Obr. 1. Jehlice studtitu se sloupcovitými krystaly uranofánu II. Zvět. 640×.
Fig. 1. Needles of studtite with columnar crystals of uranophane II. Magn. 640×.



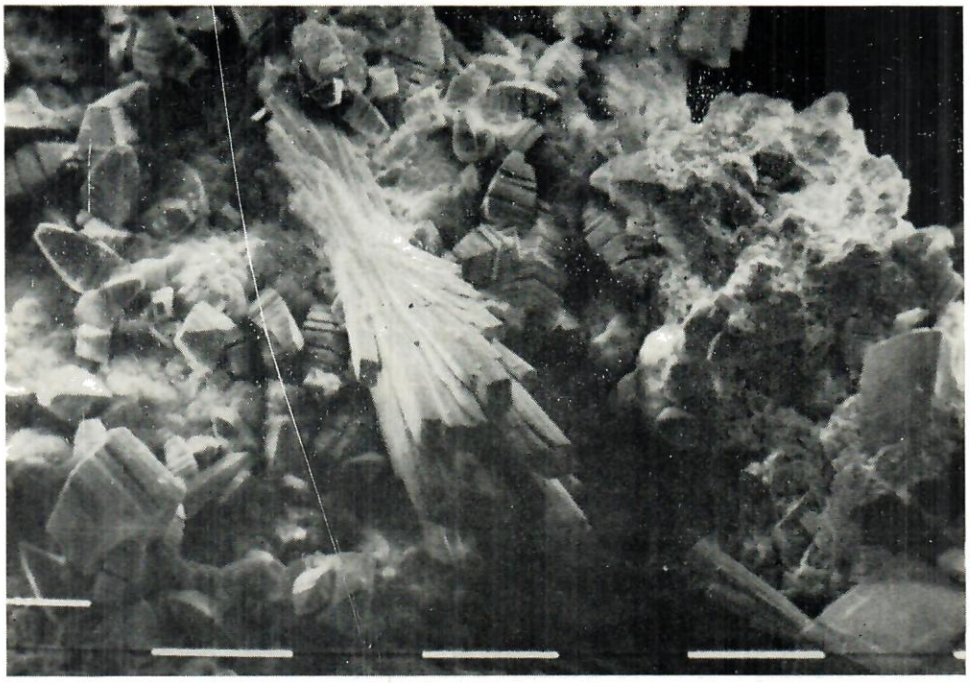
Obr. 2. Tence sloupcovité krystaly becquerelitu. Zvět. 800×.
Fig. 2. Acicular crystals of becquerelite. Magn. 800×.

Obr. 3. Dobře vyvinuté pseudohexagonální krystaly wölsendorfitu II. Zvět. 1200×.
Fig. 3. Well developed pseudohexagonal crystals of wölsendorfite II. Magn. 1200×.

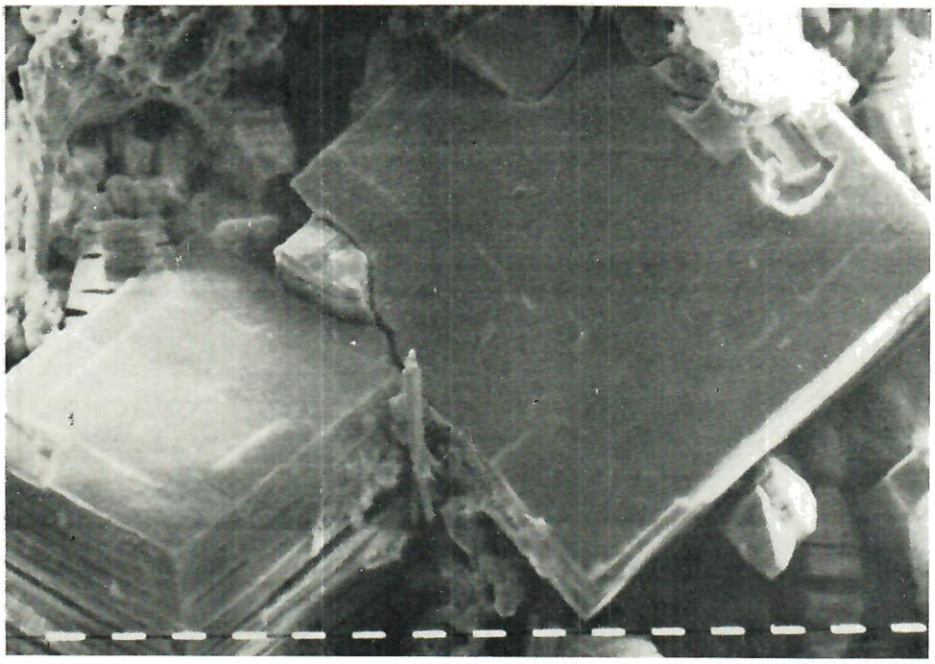
Obr. 4. Hypoparalelní srostlice tabulkovitých krystalů wölsendorfitu II. Zvět. 460×.
Fig. 4. Hypoparallel growths of tabular crystals of wölsendorfite II. Magn. 460×.



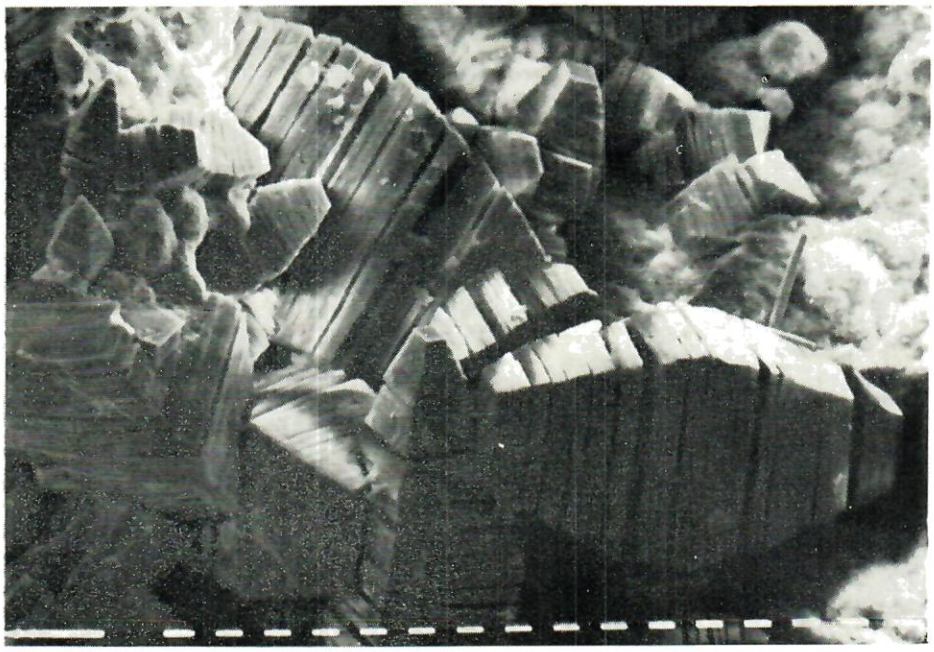
Obr. 5. Jehlicovité krystaly uranofánu III. Zvět. 120×.
Fig. 5. Needle-like crystals of uranophane III. Magn. 120×.



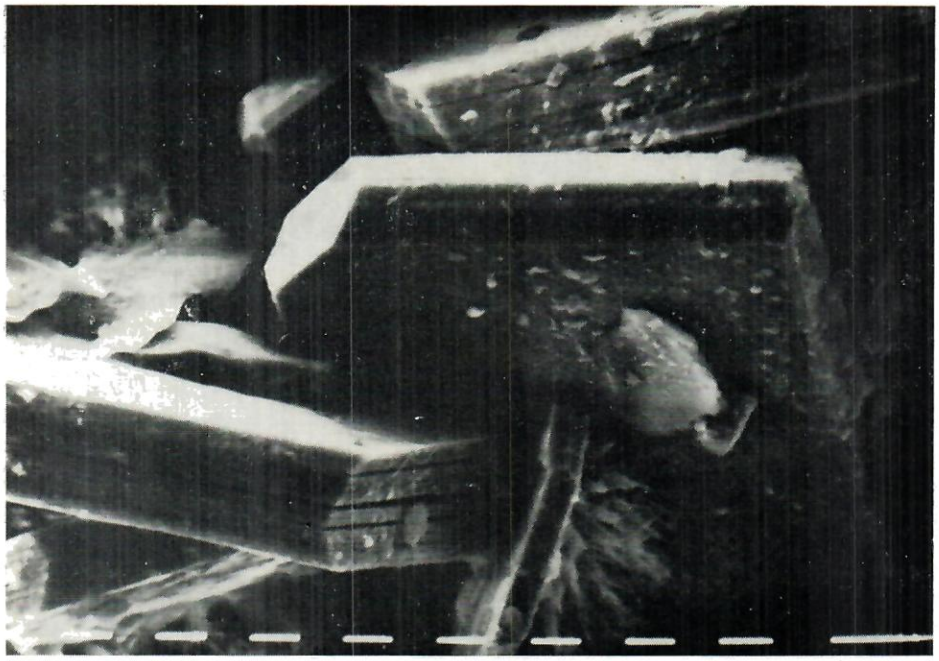
Obr. 6. Snopkovitý agregát krystalů parsonitu. Zvět. 280×.
Fig. 6. Sheaf-like aggregate of parsonite crystals. Magn. 280×.



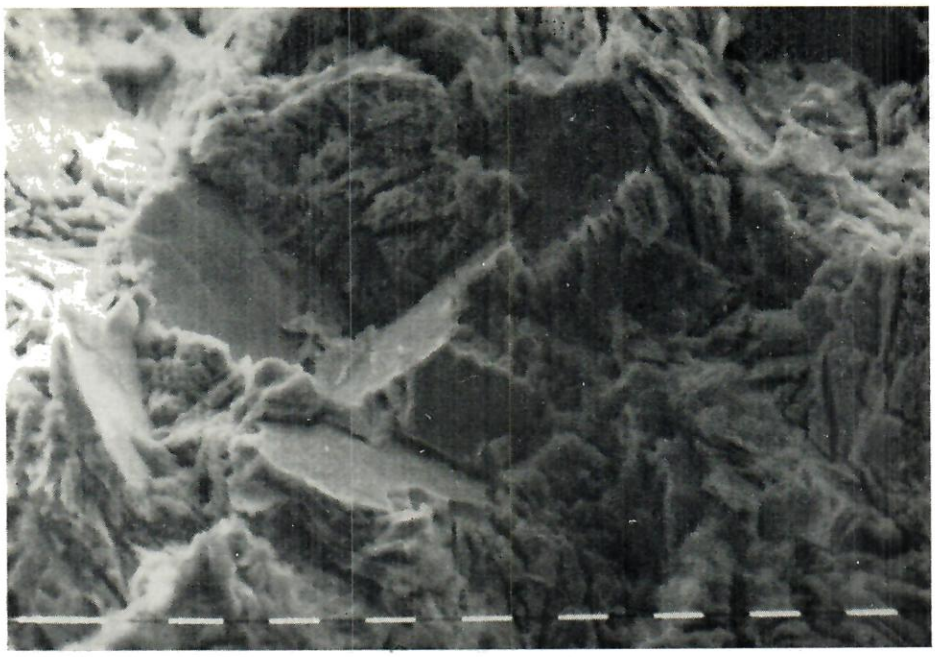
Obr. 7. Tabulkovité krystaly metatorbernitu. Zvět. 80×.
Fig. 7. Tabular crystals of metatorbernite. Magn. 80×.



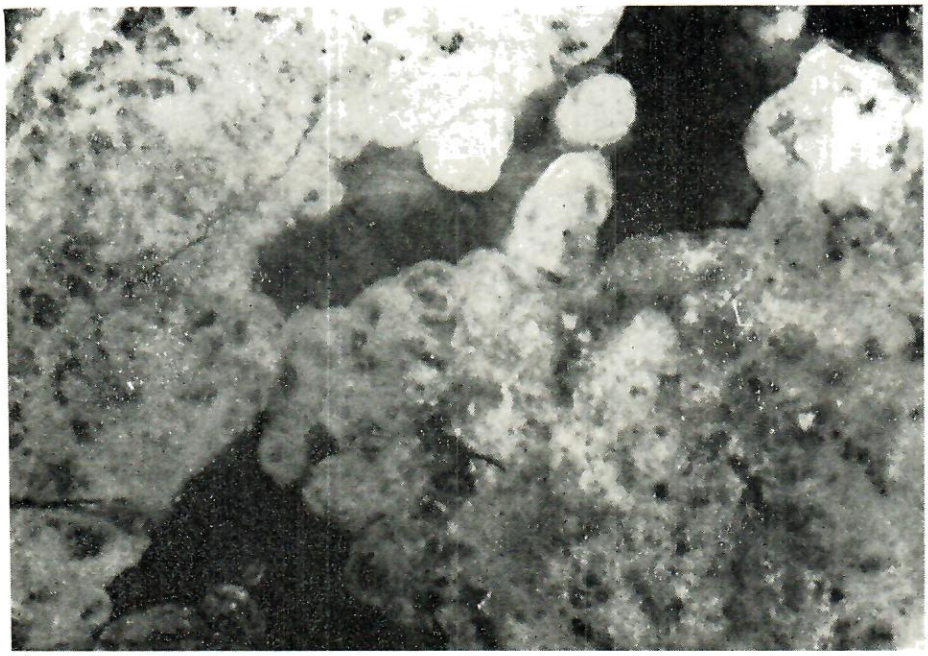
Obr. 8. Bipyramidální krystaly metatorbernitu. Zvět. 240×.
Fig. 8. Bipyramidal crystals of metatorbernite. Magn. 240×.



Obr. 9. Tabulkovité krystaly zeuneritu. Zvět. 320×.
Fig. 9. Tabular crystals of zeunerite. Magn. 320×.



Obr. 10. Nedokonale vyvinuté lupenité agregáty ťujamunitu. Zvět. 800×.
Fig. 10. Imperfectly developed lamellar aggregates of tyuyamunite. Magn. 800×.



Obr. 11. Kolomorfní struktura celistvých agregátů hydratovaných oxidů uranu a olova. Zvět. 120×.

Fig. 11. Colloform structure of massive aggregates of hydrated uranium and lead oxides. Magn. 120×.

Obr. 12. Klastická textura masivních agregátů hydratovaných oxidů uranu a olova. Zvět. 20×.

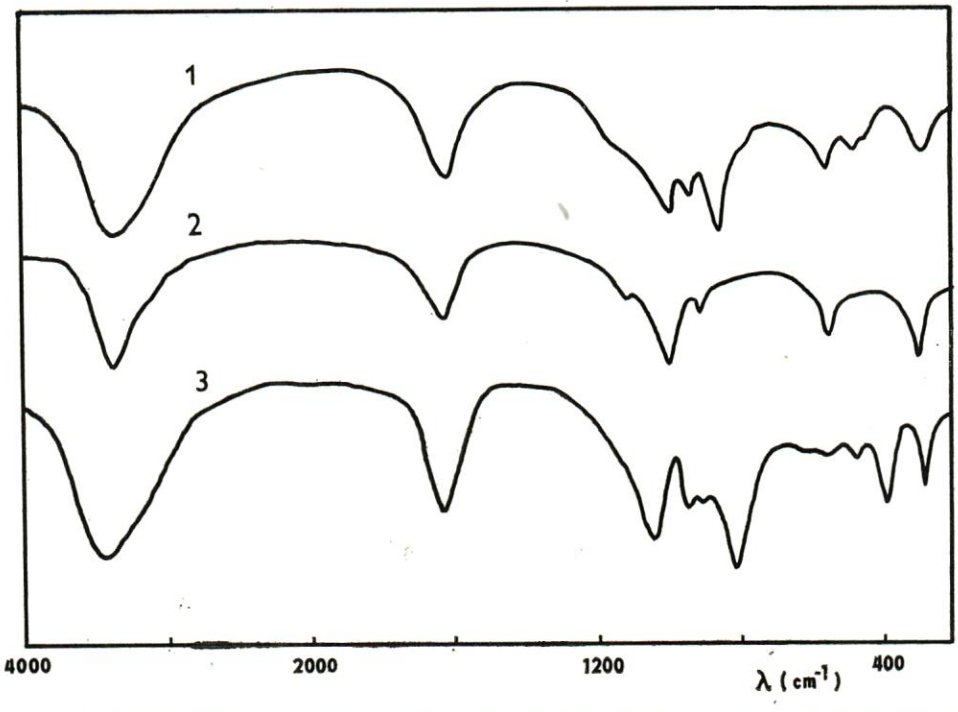
Fig. 12. Clastic texture of massive aggregates of hydrated uranium and lead oxides. Magn. 20×.

a jehličkovité krystalky uranofánu III. Indexy lomu jsou uvedeny v tab. 7 a poměrně dobře odpovídají literárním údajům (Soboleva, Pudovkina 1957). Uranofán je pleochroický, X = nažloutlá, Y = Z = světle žlutá, Z ≐ c. Na štěpných plochách (010) má výrazné modré až fialové anomální interferenční barvy a ojediněle zde byly zjištěny dvojčatné lamely.

Tab. 7. Indexy lomu uranofánu a beta-uranofánu.
Refractive indices of uranophane and beta-uranophane.

	α	β	γ
uranofán III Z-2	1,647	1,667	1,670
uranofán III Z-3	1,650	—	1,669
beta-uranofán II Z-3	1,660	—	1,690
beta-uranofán II Z-56	1,660	—	1,692

Infračervené absorpční spektrum uranofánu (vzorek Z-16a) je znázorněno na obr. 13. V oblasti 1000—800 cm^{-1} jsou charakteristické absorpční pásy příslušející valenční vibraci ν_3 SiO_4 tetraedrů — 1002 a 860 cm^{-1}. Pás při 940 cm^{-1} náleží vibraci ν_3 UO_2. Deformačním vibracím ν_4 SiO_4 přísluší absorpční pásy při



Obr. 13. Infračervená absorpční spektra uranofánu, metaautunitu a metanováčekitu.
Fig. 13. Infrared absorption spectra of uranophane, metaautunite and metanováčekite.

1. uranofán, uranophane Zálesí Z-16a
2. metaautunit, metaautunite Zálesí Z-7
3. metanováčekit, metanovačekite Zálesí Z14

483 a 562 cm^{-1}. Valenční vibraci OH skupin odpovídá velmi intenzivní absorpční pás při 3440 cm^{-1}, přítomnost krystalové vody je potvrzena absorpčním pásem při 1630 cm^{-1}.

Beta-uranofán $CaH_2 [UO_2 | SiO_4]_2 \cdot 5 H_2O$

Je méně hojný než uranofán a většinou je od něj makroskopicky neodlišitelný. Beta-uranofán I je spolu s oxidy uranu a olova a uranofánem I součástí červenooranžových až žlutých celistvých agregátů poblíž primárního uraninu. Beta-uranofán II byl zjištěn spolu se světle žlutými jehličkami uranofánu III jako sytě žluté sloupcovité krystalky v dutinách silně hydrotermálně přeměněných hornin v Zálesí. Tento typ beta-uranofánu registruje Jedlička (1983a), ale poprvé popsal v Zálesí beta-uranofán Bajer (1981).

Krystalky beta-uranofánu mají pod mikroskopem silný pleochroismus, X = nažloutlá, Y=Z = žlutá, výraznější než uranofán. Z/c = 34—35°, indexy lomu jsou uvedeny v tab. 7 a odpovídají literárním údajům (Soboleva, Pudovkina 1957). Na štěpných plochách (010) má beta-uranofán modré anomální interferenční barvy a hojné dvojčatné lamely.

Prášková difrakční data uranofánu a beta-uranofánu jsou uvedena v tab. 8 a dobře odpovídají literárním údajům. Oba minerály mají data dosti podobná a pokud se vyskytují ve směsi, není vždy snadné pro překrývání difrakčních linií identifikovat ve směsi méně zastoupenou fázi.

Tab. 8: Prášková difrakční data vzorků uranofánu a beta-uranofánu (difraktometr)
X-ray powder data of uranophane and beta-uranophane (diffractometer)

1		2		3		4	
d	I	d	I	d	I	d	I
7,89	100	7,88	100	8,66	4		
6,61	35	6,61	40	7,83	100	7,83	100
5,40	40	5,42	40	6,68	4	6,66	40
4,78	65	4,76	50	6,13	4	6,15	40
4,275	20	4,29	20	5,06	4	5,07	40
3,941	100	3,94	90	4,875	2	4,85	40
3,592	32	3,60	40	4,560	9	4,55	40
3,502	35	3,51	40	4,090	4	4,11	30
3,419	6	3,41	10	3,886	67	3,90	90
		3,35	10	3,748	4	3,75	10
3,203	50	3,20	50	3,495	8	3,51	60
3,095	5	3,09	19			3,41	10
2,989	52	2,99	80	3,331	4	3,35	20
2,908	40	2,91	80	3,188	2	3,19	50
2,695	26	2,69	40	3,039	5	3,04	40
2,624	23	2,63	50			2,99	30
2,557	8	2,57	20			2,91	20
2,520	10	2,52	20	2,824	4	2,83	40
2,400	4	2,40	10	2,776	2	2,78	30
2,261	7	2,26	20	2,589	13	2,59	50
2,199	16	2,20	40				

1 — vzorek Z-27b, Zálesí
2 — uranofán, JCPDS 8-442
3 — vzorek Z-20d, Zálesí
4 — beta-uranofán, JCPDS 8-301

Tab. 9: Prášková difrakční data kasolitu (difraktometr)
X-ray powder data of kasolite (diffractometer)

1		2		3		4	
d	I	d	I	d	I	d	I
7,90	100			7,88	100		
6,90	22					6,90	40
6,60	16b	6,51	20	6,61	40		
6,12	10b	6,15	40				
6,00	10b					5,99	5
5,43	16			5,42	40		
5,30	5	5,32	5				
4,79	16	4,73	5	4,76	50		
				4,29	10		
4,215	25	4,21	60				
3,948	50			3,94	90		
3,598	14			3,60	40		
3,520	30b	3,52	60	3,51	40		
3,445	30					3,44	90b
3,346	5			3,35	10		
3,252	45	3,24	60				
3,206	25			3,20	50		
3,116	19						
3,087	38			3,09	10	3,09	100
3,068	25	3,06	80				
2,993	16			2,99	80		
2,919	36	2,92	100	2,91	80		
2,732	11	2,74	5			2,734	30
2,694	8			2,69	40		
2,632	12	2,65	5	2,63	50		

1 — vzorek 27a-Z, Zálesí
2 — kasolit, JCPDS 12-210
3 — uranofán, JCPDS 8-442
4 — wölsendorfit, Deliens (1977)

Kasolit $Pb_2[UO_2|SiO_4]_2 \cdot 2H_2O$

Kasolit je členem nepříliš početné skupiny supergenních silikátů uranu, jehož nádherné krystaly pocházejí především z oblasti Katangy (Zair). V nevelkém množství je tento minerál součástí „gummitů" v asociaci s oxidy uranu a olova a uranofánem (Frondel 1956). V této asociaci byl také zjištěn i na studovaných lokalitách.

Rentgenometrická analýza některých vzorků oranžových celistvých „gummitů" prokázala vedle uranofánu a wölsendorfitu také příměs kasolitu. Směs těchto minerálů je velmi jemnozrnná a ani opticky je nelze navzájem odlišit. Zálesí a Horní Hoštice jsou prvními lokalitami tohoto minerálu v ČSSR.

Fosfáty, arzenáty a vanadáty

Parsonsit $Pb_2[UO_2|(PO_4)_2] \cdot 2H_2O$

Parsonsit patří mezi vzácné supergenní minerály uranu a je znám pouze z nevelkého počtu lokalit. První československou lokalitou tohoto minerálu

je Jáchymov (H l o u š e k — ústní sdělení), druhou lokalitou parsonsitu v ČSSR je Zálesí a byl zde zjištěn na jediném vzorku z oxidační zóny ložiska uranových rud. Tvoří špinavě žluté snopkovité agregáty jednoduchých, kose ukončených hranolovitých krystalů (obr. 6). Tyto agregáty, jejichž velikost nepřesahuje 1 mm, jsou doprovázeny bipyramidálními krystaly metatorbernitu.

Tab. 10: Prášková difrakční data parsonsitu (Gandolfiho komora)
X-ray powder data of parsonsite (Gandolfi camera)

1		2		1		2	
d	I	d	I	d	I	d	I
		10,2	10			3,283	100
		6,795	8	3,25	10	3,253	
		6,505	2	3,16	2	3,160	45
		6,045	8	3,09	1	3,092	14
5,80	1	5,764	12			3,012	10
		5,106	8			2,940	30
5,07	1	5,060	8	2,92	2b	2,920	30
		4,875	2	2,78	2	2,784	35
		4,413	2			2,719	2
4,22	10	4,233	65			2,616	8
		4,155	3	2,26	1	2,260	12
3,94	1	3,945	10	2,22	1b	2,231	10
		3,900	6			2,208	10
3,39	5	3,410	65	2,13	2	2,128	25

1 — vzorek Z-35, Zálesí
2 — parsonsit, JSPDS 12-259

Parsonsit byl potvrzen rentgenometrickou analýzou. V procházejícím světle je parsonsit žlutý bez pleochroismu s velmi vysokými indexy lomu, Z/c se pohybuje kolem 20°.

Kvalitativní chemická analýza (EDAX) prokázala přítomnost uranu, olova a fosforu jako hlavních prvků, ve stopách byla zjištěna měď.

U r a n o v é s l í d y

Rozsáhlou a v přírodě velmi rozšířenou skupinou supergenních minerálů jsou tzv. uranové slídy. Chemickým složením představuje tato skupina uranylfosfáty, uranylarzenáty a uranylvanadáty dvojmocných, méně jednomocných a výjimečně i trojmocných kovů o obecném vzorci $Me^{2+}[UO_2|PO_4]_2 \cdot nH_2O$, resp. $Me_2^{1+}[UO_2|PO_4]_2 \cdot nH_2O$. Do skupiny uranových slíd jsou také řazeny seleničitany, selenany a molybdenany obdobného složení jako výše uvedené uranylfosfáty. Jsou známy dvě řady minerálů lišící se obsahem krystalové vody. Plně hydratované formy obsahují 10 molekul krystalové vody, metaformy obsahují 8 molekul krystalové vody. V několika případech jsou známy tři krystalohydráty, např. nováčekit I s 12 molekulami vody, nováčekit II s 10 molekulami vody a metanováčekit s 8 molekulami vody. Jiné přechodné formy jsou popisovány mnohými autory i u dalších uranových slíd. Makroskopický vzhled různě hydratovaných forem je zcela totožný, lze je však odlišit rentgenometrickou analýzou i na základě optických dat.

Podmínky vzniku různě hydratovaných forem v přírodě nejsou dodnes objasněny. Z analýz četných uranových slíd ČSSR jedním z autorů se např.

Tab. 11: Prášková difrakční data autunitu a metaautunitu (difraktometr)
X-ray powder data of autunite and metaautunite (diffractometer)

1		2		3		4	
d	I	d	I	d	I	d	I
10,34	100	10,4	100	10,38*	25		
8,70	12	8,72	2	8,50	100	8,47	100
		8,24	2	5,38	18	5,37	45
6,65	2	6,67	6	5,19*	10		
5,17	16	5,19	50	4,93	14	4,93	20
4,95	7	4,96	25	4,23	42	4,23	65
4,46	6	4,48	20	3,63	52	3,61	85
4,23	4			3,58*	8		
3,57	16	3,58	16	3,50	20	3,48	30
3,51	20	3,51	20	3,23	10	3,22	25
3,34	6	3,33	18	2,938	6	2,93	16
		2,91	6	2,614	20	2,61	35
		2,86	8	2,511	4	2,51	6
2,724	4	2,73	10			2,47	4
2,609	2	2,60	2	2,453	4	2,45	4
		2,50	4			2,24	6
2,469	3	2,48	4	2,212	6	2,21	10
2,411	3	2,41	6	2,113	30	2,11	70
		2,30	4	2,039	6b	2,04	10
		2,22	6	2,023	10	2,02	14
2,187	3	2,19	6	1,942	10	1,943	14
2,167	2b	2,17	6			1,807	8b
		2,15	8	1,760	4	1,758	6b
2,072	5	2,08	16	1,747	8	1,745	10

1 — vzorek Z-7, Zálesí
2 — autunit, JCPDS 12-418
3 — vzorek HH-13, Horní Hoštice
4 — metaautunit, JCPDS 12-423
* — linie příslušející autunitu

ukazuje, že metatorbernit zcela jasně převažuje nad torbernitem. Obdobně je tomu i v případě metauranocircitu. Hloušek (ústní sdělení) i další pozorovali recentní vznik metaforem v silně zvodnělém prostředí. Také při syntetické přípravě uranových slíd srážením z vodných roztoků vznikají metaformy. Proto nelze, zejména při studiu vzorků uložených delší čas v depozitech muzejí, opomenout ani možnost částečné dehydratace v relativně suchých podmínkách a přechod plně hydratovaných forem na metaformy. Jak bylo pozorováno i u vzorků ze studovaných lokalit, v mnoha případech představují studované minerály směs obou různě hydratovaných forem.

Autunit $Ca\,[UO_2\,|\,PO_4]_2 \cdot 10—12\,H_2O$

Metaautunit $Ca\,[UO_2\,|\,PO_4]_2 \cdot 8\,H_2O$

Oba minerály se vyskytují ve směsích, kde na rozdíl od metatorbernitu nepřevládá vždy metaforma, i když je mnohem hojnější. Metaautunit, resp. autunit má jedovatě žlutozelenou až světle žlutou barvu a v ultrafialovém světle září intenzívně žlutozeleně. Tvoří tence tabulkovité krystalky až 2 mm velké,

ale častější jsou drobně lupenité až zemité povlaky doprovázené metatorbernitem a uranofánem II. V této asociaci vytváří metaautunit okraje krystalků metatorbernitu, ale zda na metatorbernit narůstá, nebo jej zatlačuje, nelze spolehlivě zjistit.

V procházejícím světle je metaautunit světle žlutý bez pleochroismu. V řezech (001) je slabě anizotropní a sektorovaně zháší. Metaautunit v lemu metatorbernitových krystalků nevykazuje žádné anomální interferenční barvy, — 2 V ~ 5—10°. Metaautunit tvořící samostatné krystaly má někdy nevýrazné modré anomální interferenční barvy, — 2 V ~ 0°. Indexy lomu metaautunitu jsou na všech vzorcích stejné, $\omega = 1{,}604$.

Infračervené absorpční spektrum metaautunitu je znázorněno na obr. 13. Vibracím ν_3PO_4 přísluší intenzivní pás při 1005 cm^{-1}, deformačním vibracím ν_4PO_4 pak pás při 558 cm^{-1}. Vibracím uranylové skupiny přísluší absorpční pás při 919 cm^{-1}. Valenčním vibracím OH skupin odpovídá výrazný absorpční pás při 3450 cm^{-1}, deformačním vibracím krystalové vody náleží pás při 1630 cm^{-1}. Ve spektru nebyly pozorovány absorpční pásy příslušející vibracím AsO_4 skupin.

Kvalitativní chemická analýza (EDAX) krystalů metaautunitu, resp. autunitu prokázala přítomnost fosforu, uranu a vápníku jako hlavních prvků, ve stopách se objevuje Si a Al, zřejmě jen jako povrchové nečistoty.

Torbernit $Cu\,[UO_2\,|\,PO_4]_2 \cdot 10—12\,H_2O$

Metatorbernit $Cu\,[UO_2\,|\,PO_4]_2 \cdot 8\,H_2O$

Metatorbernit patří k nejhojnějším sekundárním minerálům uranu, zatímco torbernit byl jen ojediněle rentgenometricky zjištěn v metatorbernitu. Metatorbernit tvoří krystaly až 4 mm velké různého typu a habitu. Krystaly jsou nejčastěji lupenité až tlustě tabulkovité a většinou na nich převládá bazální plocha a plochy protoprizmatu, v menší míře se objevují plochy deuteroprizmatu a pyramidální plochy (obr. 7). Krátce sloupcovité a bipyramidální krystaly jsou většinou menší, asi do 1 mm, a mnohem vzácnější. U méně protaženého habitu převládají podobně jako u tabulkovitých krystalů bazální plocha a prizmatické plochy. U bipyramidálních krystalů jsou prizmata a bazalní plocha silně potlačeny, nebo zcela chybí, a převládají plochy vysokých bipyramid (obr. 8). Tento typ metatorbernitu doprovází parsonsit. Větší tabulkovité krystaly mají někdy na bazální ploše narostlé menší stejně orientované tabulky. Metatorbernit je většinou jasně zelený, některé tabulkovité krystaly jsou makroskopicky zonální, mají světlejší okraje. Tabulky metatorbernitu často přechází na okrajích do metaautunitu jedovatě žlutozelené barvy.

Tab. 12. Indexy lomu metatorbernitu.
Refractive indices of metatorbernite.

	ω
metatorbernit HH-31	1,624
metatorbernit Z-38	1,621
metatorbernit Z-41	1,629
metatorbernit Z-58	1,624

V procházejícím světle je metatorbernit zelený se zřetelným pleochroismem O = zelená, E = světle zelená. Bazální řezy metatorbernitu jsou vždy izotropní, velmi výrazné modré až rudé anomální interferenční barvy se objevují na řezech kosých ke stěpným plochám (001). Metatorbernit je jednoosý ne-

gativní, indexy lomu jsou uvedeny v tab. 12 a kolísají v nevelkém intervalu. Všechny uvedené optické vlastnosti dobře odpovídají literárním údajům (Ross et al. 1964), (Winchell, Winchell 1961), i když posledně uvedení autoři udávají metatorbernit jako opticky pozitivní (pro bílé světlo). Prášková difrakční data metatorbernitu a torbernitu jsou uvedena v tab. 13.

Tab. 13: Prášková difrakční data torbernitu a metatorbernitu (difraktometr)
X-ray powder data of torbernite and metatorbernite (diffractometer)

1		2		3		4	
d	I	d	I	d	I	d	I
10,39	100	10,3	100	8,75	100	8,71	100
6,62	21	6,61	40	6,49	20	5,75	25
5,16	33	5,18	30	5,75	30	6,48	40
4,95	39	4,94	90	5,46	64	5,44	75
4,48	15	4,48	40	4,95	42	4,93	75
3,70	10	3,67	40			4,79	20
3,57	68	3,58	90	4,36	69	4,31	65
3,51	18	3,51	80	3,65	42	3,68	100
		2,90	30	3,49	33	3,48	80
2,90	8	3,10	10	3,24	36	3,25	80
2,82	7	2,85	20	3,06	15	3,06	40
2,710	14	2,73	10			2,979	15
2,665	5	2,67	10	2,93	12	2,931	70
2,469	9b	2,48	10			2,846	10
		2,41	20	2,718	20	2,714	40
		2,37	10	2,673	32	2,667	70
2,322	8	2,32	10	2,532	28	2,529	70
2,248	6	2,24	10	2,490	19	2,488	45
2,217	18b	2,21	30	2,465	18	2,462	60
2,162	4	2,158	20	2,370	15	2,368	65
2,043	8	2,040	30			2,304	10
		1,917	10	2,243	11	2,241	50
1,880	9	1,873	10	2,206	20	2,201	70

1 — vzorek Z-44, Zálesí
2 — synt. torbernit, JCPDS 8-360
3 — vzorek Z-38, Zálesí
4 — metatorbernit, JCPDS 16-404

Zeunerit $Cu\,[UO_2\,|\,AsO_4]_2 \cdot 10—12\,H_2O$

Metazeunerit $Cu\,[UO_2\,|\,AsO_4]_2 \cdot 8\,H_2O$

Zeunerit byl ze Zálesí popsán Paulišem a Zímou (1981, 1982), jeho metaformu metazeunerit identifikoval poprvé Bajer (1981). Zeunerit je jedinou uranovou slídou na studovaných lokalitách, která převažuje nad příslušnou mírně dehydratovanou metaformou.

Zeunerit se vyskytuje na puklinách a v dutinách hydrotermálně přeměněných prokřemenělých hornin. Tvoří smaragdově zelené skelně lesklé tabulkovité krystaly až 3 mm velké. Menší krystaly jsou lupenité až tence tabulkovité. Na větších krystalech lze pozorovat vedle převládající báze také plochy deuteropyramidy a protoprizmatu (obr. 9). Tyto tvary pozorovali i Pauliš, Zíma (1982). Zeunerit je často doprovázen erythrínem a chryzokolem.

Tab. 14: Prášková difrakční data zeuneritu a metazeuneritu (difraktometr)
X-ray powder data of zeunerite and metazeunerite (diffractometer)

1		2		3		4	
d	I	d	I	d	I	d	I
10,22	100	10,28	100	10,3	100		
		8,85	60			8,86	100
6,77	10	6,80	25	6,81	30		
						6,63	5
		5,58	24			5,57	80
5,17	40	5,18	30	5,20	70		
		5,11	33			5,10	60
4,96	22	4,96	18	4,98	50		
				4,58	5		
						4,38	5
		3,74	42			3,73	100
3,58	62	3,59	68	3,59	100	3,57	70
3,38	34	3,39	28	3,39	50		
		3,29	29			3,30	80
3,15	10	3,16	8	3,16	10		
						3,13	5b
				3,06	5		
		2,98	15			2,98	40
2,95	15	2,95	11	2,95	30		
				2,91	5		
				2,86	10		
						2,77	10
2,73	10	2,74	17	2,74	30		
		2,70	5			2,69	20
		2,58	11			2,57	40
2,53	12b	2,52	10b	2,53	40	2,51	40

1 — vzorek Z-28b, Zálesí
2 — vzorek Z-55, Zálesí
3 — zeunerit, Walenta (1964a)
4 — metazeunerit, Walenta (1964a)

V procházejícím světle je zeunerit velmi čistý s minimálním množstvím inkluzí. Je světle zelený s nevýrazným pleochroismem O = světle zelená, E = nazelenalá. Na ploše (001) je zeunerit izotropní a nevykazuje žádné anomální interferenční barvy. Je jednoosý negativní, indexy lomu $\omega = 1{,}616$, $\varepsilon = 1{,}590$ jsou srovnatelné s hodnotami, které uvádějí Pauliš, Zíma (1982) a také s hodnotami publikovanými Walentou (1964a).

Prášková difrakční data zeuneritu a metazeuneritu jsou uvedena v tab. 14. Metazeunerit je ve směsi obsažen jen ve velmi malém množství a nezřídka byl identifikován pouze plně hydratovaný zeunerit.

Nováčekit II $Mg\,[UO_2\,|\,AsO_4]_2 \cdot 10\,H_2O$

Metanováčekit $Mg\,[UO_2\,|\,AsO_4]_2 \cdot 8\,H_2O$

Dosud jedinou lokalitou uranových slíd obsahujících hořčík v ČSSR je ložisko Zálesí. Z trhlin kvarcitických hornin popsali Pauliš, Zíma (1981, 1982) metanováčekit, který byl zjištěn i na vzorcích uložených ve sbírkách

Tab. 15: Prášková difrakční data nováčekitu II a metanováčekitu (difraktometr)
X-ray powder data of novačekite II and metanováčekite (diffractometer)

1		2		3	
d	I	d	I	d	I
9,94	36			9,92	10
8,54	100	8,52	10		
5,06	20	5,05	4		
5,02	22			5,01	7
4,89	4			4,86	3
				4,54	1
4,29	48	4,29	5		
3,96	5				
3,559	18	3,57	9	3,56	9
3,460	17	3,44	1		
3,341	12			3,34	5
3,201	6b	3,19	0,5		
				3,16	0,5
2,998	10b	3,02	4		
				2,89	1
2,808	4				
				2,64	1
2,551	4	2,27	4		
2,500	8			2,49	4
2,264	7	2,53	4		
2,252	7			2,25	4
				2,22	1b
2,143	20	2,14	6	2,13	3
				2,06	0,5
2,001	4			2,00	1
				1,864	1
				1,824	1
1,797	15	1,791	5		

1 — Z-14, Zálesí
2 — Metanováčekit, Walenta (1964a)
3 — Nováčekit II, Walenta (1964a)

mineralogicko-petrografického oddělení Moravského muzea v Brně. Spolu s metanováčekitem byl identifikován i jeho vyšší hydrát — nováčekit II.

Oba minerály makroskopicky naprosto neodlišitelné tvoří žluté tence tabulkovité nedokonalé krystaly max. velikosti 2 mm, které obvykle složitě prorůstají. Ve směsích převažuje metanováčekit a oba minerály jsou často doprovázeny erythrínem.

V procházejícím světle je metanováčekit slabě nažloutlý, na ploše (001) sektorovaně zháší a —2V se blíží 0°. Krystaly minerálu obsahují značné množství uzavřenin, které ztěžují měření optických konstant. Index lomu $\omega = 1{,}613(4)$ je nižší, než pro metanováčekit uvádí Walenta (1964a). Tato hodnota může být způsobena značným obsahem fosfátové složky. V ultrafialovém světle září metanováčekit slabě žlutozeleně.

Metanováčekit a nováčekit II byly identifikovány rentgenometrickou analýzou a prášková difrakční data jsou uvedena v tab. 15. Naměřená data dobře

souhlasí s hodnotami naměřenými W a l e n t o u (1964a) pro tyto minerály z lokality Grube Anton (NSR).

Semikvantitativní spektrální analýza metanováčekitu prokázala vedle uranu, hořčíku a arzénu také značné zastoupení fosforu. Přítomnost fosfátové složky potvrzuje i infračervené absorpční spektrum metanováčekitu (obr. 13). Absorpční pás při 860 cm^{-1} odpovídá ν_3AsO_4, pásy při 448 a 482 cm^{-1} odpovídají ν_4AsO_4. Výrazný absorpční pás při 1002 cm^{-1} přísluší ν_3PO^4, pás při 564 cm^{-1} ν_4PO_4. Vibracím ν_3UO_2 přísluší pás při 938 cm^{-1}. Valenčním vibracím OH skupin náleží výrazný absorpční pás při 3440 cm^{-1}, deformačním vibracím krystalové vody odpovídá pás při 1630 cm^{-1}.

Značný obsah fosforu ve studovaných vzorcích naznačuje možnost přítomnosti saléeitu, fosfátového analogu nováčekitu II. Avšak, jak rentgenometrická analýza, tak i optické konstanty přítomnost tohoto minerálu vylučují a jde tedy jen o izomorfismus AsO_4—PO_4.

Uranospinit $Ca\,[UO_2\,|\,AsO_4]_2 \cdot 10—12\,H_2O$

Metauranospinit $Ca\,[UO_2\,|\,AsO_4]_2 \cdot 8\,H_2O$

Uranospinit a metauranospinit, arzénové analogy autunitu a metaautunitu, se vyskytují v přírodě mnohem vzácněji a především metauranospinit, popsaný

Tab. 16: Prášková difrakční data uranospinitu a metauranospinitu (difraktometr)
X-ray powder data of uranospinite and metauranospinite (diffractometer)

1		2		3	
d	I	d	I	d	I
10,28	25			10,20	100
8,81	100	8,85	100		
6,73	16			6,71	20
5,54	24	5,57	80		
5,06	30	5,10	70	5,13	70
				4,90	60
				4,53	30
4,38	16	4,40	20		
3,72	50	3,74	50		
3,56	38	3,59	90	3,56	90
3,38	16			3,39	80
3,35	20	3,34	80		
				3,16	10b
3,03	6b	3,02	40		
2,92	8			2,91	40b
		2,81	10	2,82	10b
2,69	10	2,68	10	2,70	40b
2,56	18b	2,55	50		
2,52	10			2,52	50b
2,46	6			2,46	50
2,42	8	2,44	40		
				2,37	10
2,26	8	2,29	30	2,27	50b
		2,20	20	2,21	20
2,17	10	2,16	20	2,16	40b

1 — vzorek Z-28a, Zálesí
2 — metauranospinit synt., JCPDS 8-319
3 — uranospinit, JCPDS 8-320

Walentou (1964b) je znám jen z několika lokalit. Oba tyto minerály byly nyní zjištěny i v Zálesí, které je tak jejich první československou lokalitou.

Uranospinit a metauranospinit se vyskytují na puklinách zvětralého uraninu. Jsou obvykle doprovázeny zemitým erythrínem a světle zeleným minerálem, patrně zeuneritem. Metauranospinit tvoří žlutohnědé až hnědavé lupenité nebo téměř zemité agregáty a kůry. V práškovém preparátu je metauranospinit, který ve směsi jasně převládá, světle hnědý a obsahuje značné množství uzavřenin. Na ploše (001) je izotropní, nemá žádné anomální interferenční barvy, —2V se blíží 0°, index lomu $\omega = 1{,}616(4)$ dobře souhlasí s literárními údaji (Walenta 1964b). V ultrafialovém světle září metauranospinit žlutozeleně, méně intenzívně než metaautunit.

Prášková difrakční data metauranospinitu dobře odpovídají datům pro synteticky připravenou sloučeninu (Mrose 1953). Data publikovaná Walentou (1964b) pro metauranospinit z Wittichenu i pro jím připravený syntetický produkt se poněkud liší nižší hodnotou mezirovinné vzdálenosti hlavní difrakční linie. Také data publikovaná pro uranospinit z Wittichenu (Walenta 1964b) se vyznačují nižšími hodnotami mezirovinných vzdáleností ve srovnání s hodnotami uranospinitu ze Zálesí, která dobře odpovídají hodnotám tabelovaným (Karta JCPDS 8-320).

Kvalitativní chemická analýza (EDAX) prokázala jako hlavní prvky arzén, uran a vápník, ve stopách měď a olovo.

Ťujamunit $Ca\,[UO_2\,|\,VO_4]_2 \cdot 8\,H_2O$

Metaťujamunit $Ca\,[UO_2\,|\,VO_4]_2 \cdot 5\,H_2O$

Novým minerálem pro obě studované lokality je ťujamunit a pro Zálesí i pravděpodobný metaťujamunit. První výskyt ťujamunitu v ČSSR popsal

Tab. 17: Prášková difrakční data ťujamunitu (difraktometr)
X-ray powder data of tyuyamunite (diffractometer)

1		2	
d	I	d	I
10,16	100	10,16	10
8,64	30		
		6,51	2
		5,28	1
5,13	40	5,10	7
4,28	20		
		4,10	2b
3,39	50	3,40	5
3,23	18	3,24	5
3,04	12	3,03	2b
2,93	8b	2,88	2b
		2,65	2b
2,56	9b	2,55	2b
2,27	8		
2,24	9b		
2,17	6	2,17	2b

1 — vzorek Z-4, Zálesí
2 — ťujamunit, Stern et al. (1956)

Skalický (1973) (in Bernard et al. 1981) a Rojkovič, Krištín (1974), v melafyrových tufech v oblasti Broumova, resp. v Novoveské Hute. Metaťujamunit u nás nebyl dosud nalezen.

Ťujamunit byl identifikován na vzorcích označených obvykle jako zippeit. Tvoří zemité povlaky a tenké kůry jen nedokonale vyvinutých krystalků (obr. 10) a tyto žluté až oranžově žluté povlaky jsou prakticky vždy směsí ťujamunitu a jílových minerálů.

Prášková difrakční data vzorku s ťujamunitem jsou uvedena v tab. 17. Většina difrakčních linií je difuzní a svědčí o nedokonalém skrystalování ťujamunitu, což je pro tento minerál typické. Prášková difrakční data publikovaná v literatuře se navzájem poněkud liší. Naměřená data ťujamunitu ze Zálesí dobře souhlasí s daty publikovanými Sternem et al. (1956). Dvě poměrně výrazné difrakční linie — 8,65 a $4{,}28 \cdot 10^{-10}$ m nasvědčují přítomnosti metaťujamunitu, jehož dvě nejsilnější difrakční linie mají poněkud nižší hodnoty — 8,51 a $4{,}22 \cdot 10^{-10}$ m (Karta JCPDS 8-287).

Kvalitativní chemická analýza (EDAX) několika vzorků prokázala vždy přítomnost vanadu, uranu a vápníku a často jako hlavní prvky i hliník a křemík. V malém množství se objevuje také olovo, železo a hořčík. Za zdroj vanadu je možno považovat uranin, který podle Fojta et al. (1971) obsahuje v Zálesí 0,25—0,27 % vanadu.

Problematické minerály

Sekundární minerály uranu ze Zálesí byly předmětem několika prací; Pauliš, Zíma (1981, 1982), Bajer (1981), Jedlička (1983a, 1983b) a řadu sekundárních minerálů uranu uvádí také Kruťa (1973, 1976). Přesto zůstává několik minerálů, jejichž určení je nedostatečné nebo nesprávné.

Arzenuranylit $Ca\,[(UO_2)_4 \mid (OH)_4 \mid (AsO_4)_2] \cdot 8\,H_2O$

Tento minerál popsali v Zálesí Pauliš, Zíma (1981, 1982) a ve směsi s beta-uranofánem jej uvádí také Bajer (1981). Uvedení autoři zjistili intenzívně žluté dlouze sloupcovité krystalky arzenuranulitu spolu s jehlicemi uranofánu v hydrotermálně přeměněných prokřemenělých horninách ze štoly II. Pauliš, Zíma (1982) se opírají o nepříliš kvalitní prášková difrakční data a dále o infračervené spektrum, spektrální analýzu a optické vlastnosti arzenuranylitu. Prášková difrakční data arzenuranylitu jsou nápadně podobná datům beta-uranofánu, zejména pokud jde o hlavní difrakční linie, a autory uvedené linie lze přiřadit, jak k arzenuranylitu, tak i k beta-uranofánu. Také infračervené absorpční spektrum publikované těmito autory je téměř identické se spektrem uranofánu (obr. 13). Pouze spektrální analýza naznačuje, že by popisovaný minerál mohl být arzenátem. Poměrně jednoduše lze arzenuranylit a beta-uranofán rozlišit na základě indexů lomu, které jsou u arzenuranylitu podstatně vyšší. Pauliš, Zíma (1982) uvádí přibližné indexy lomu arzenuranylitu, které mu také zhruba odpovídají. Optickým výzkumem značného množství vzorků se nám však arzenuranylit nepodařilo potvrdit a všechny studované ukázky patřily beta-uranofánu. Bajerem popisovaný arzenuranylit byl novou rentgenometrickou analýzou originálního vzorku určen jako beta-uranofán.

Johannit $Cu\,(UO_2)_2\,[OH \mid SO_4]_2 \cdot 6\,H_2O$

Johannit ze Zálesí identifikoval rentgenometricky Jedlička (1983b) a uvádí tři nejintenzivnější difrakční linie: 3,826 (100), 3,153 (69), 2,881 (20). Srovnání jeho údajů s tabelárními hodnotami však ukazuje, že uvedená data

nesouhlasí s difrakčními liniemi johannitu. Tento minerál lze na základě vlastního rentgenometrického výzkumu považovat za conichalcit $CaCuAsO_4OH$ a jeho složení bylo potvrzeno kvalitativní chemickou analýzou (EDAX).

Schröckingerit $NaCa_3[UO_2|(CO_3)_3|SO_4|F]\cdot 10\,H_2O$

Kruťa (1976) se odvolává na schröckingerit, který je uložen ve sbírkách VŠB v Ostravě a který určili P. Kühn a B. Scharm. Na vzorku označeném jako schröckingerit byl však zjištěn pouze metatorbernit a Kühn (ústní sdělení) určení tohoto minerálu nepotvrdil. Proto je nutno považovat schröckingerit v Zálesí za nejistý.

Zippeit $2UO_3\cdot SO_4 + 3{-}6\,H_2O$

Zippeit je dalším problematickým sulfátem, který Kruťa (1973) popisuje jako žluté zemité povlaky. Pauliš, Zíma (1982) naznačili, že tyto povlaky neodpovídají zippeitu, ale tento minerál se jim nepodařilo identifikovat. V této práci byly vzorky označené jako zippeit určený jako ťujamunit.

Minerální asociace sekundárních minerálů uranu

Ze studia sekundárních minerálů uranu v Zálesí a v Horních Hošticích vyplynulo vyčlenění několika charakteristických asociací, které jsme rozdělili podle jejich minerálního složení a podle vztahu k typu primárního zrudnění. Tento úkol byl neobyčejně ztížen tím, že bylo nutno vycházet převážně ze vzorků sbíraných před mnoha lety a nebylo možné si své závěry kontrolovat v terénu. Lze se však domnívat, že předložené rozdělení v celku odpovídá skutečným poměrům, i když detailní terénní výzkum, který dnes již není možný, by mohl vést k určitým korekcím, např. k doplnění už vyčleněných asociací novými minerály, případně k vyčlenění dalších minerálních asociací. Asociace sekundárních minerálů uranu byly podle typu primárního zrudnění rozděleny na tři hlavní skupiny:

1. Asociace vázané na pravé žíly s výrazně převládajícím křemen-chalkopyrit-smolincovým zrudněním.
2. Asociace vázané na pravé žíly s křemen-chalkopyrit-smolincovým a arzenidovým zrudněním.
3. Asociace vázané na metasomatické zrudnění v silně hydrotermálně přeměněných a prokřemenělých horninách.

1. Tento typ zrudnění je v Zálesí i v Horních Hošticích nejrozšířenější a je na něj vázáno největší množství sekundárních minerálů uranu. Vzhledem k tomu, že primární zrudnění je na obou studovaných lokalitách téměř stejné a že velmi podobné jsou také asociace sekundárních minerálů, byly obě lokality zpracovány spolu. Byly zde vyčleněny tři asociace sekundárních minerálů uranu:

a) oxid-silikátová
b) fosfát-silikátová
c) fosfátová (metatorbernitová)

Oxid-silikátová asociace

wölsendorfit I + uranofán I
fourmarierit + uranofán I
± masuyit, beta-uranofán I, kasolit

Tato asociace se od ostatních liší tím, že z podstatné části vznikla přímým zatlačením primárního uraninu. Množství oxidů a silikátů poněkud kolísá, obecně lze říci, že v Zálesí převládají spíše silikáty a v Horních Hošticích oxidy. Ojediněle byla v Horních Hošticích nalezena na puklině masivních oxidů uranu a olova mladší mobilizovaná asociace.

wölsendorfit II + becquerelit

Fosfát-silikátová asociace

metaautunit + metatorbernit + uranofán II

± parsonsit, ťujamunit, studtit, malachit, chryzokol

Vzorky této asociace jsou na obou lokalitách téměř nerozlišitelné a minerální asociace se liší navzájem jen nepatrně. Minerály této asociace vznikly na otevřených puklinách v blízkosti primárního uraninu a často se vyskytují na jednom vzorku s minerály oxidsilikátové asociace. Jde o nejrozšířenější asociaci sekundárních minerálů uranu na obou lokalitách.

Fosfátová (metatorbernitová) asociace

metatorbernit

Monominerální asociace představovaná pouze metatorbernitem, který se vyskytuje na otevřených puklinách vždy v relativně větší vzdálenosti od primárního zrudnění a od obou předešlých asociací.

2. Tento typ zrudnění byl zjištěn prakticky jen v Zálesí a i zde nebyl hojný. Ve srovnání s asociacemi sekundárních minerálů uranu vázaných na předešlý typ zrudnění je tato asociace jednodušší a byla vyčleněna jediná arzenátová asociace I.

erythrín + metauranospinit + metanováčekit

± zeunerit, annabergit

Na rozdíl od do jisté míry analogické fosfát-silikátové asociace zde zcela chybí silikáty uranu, fosfáty jsou nahrazeny arzenáty a v hojné míře se zde objevuje sekundární minerál neobsahující uran - erythrín. V předešlých asociacích byly sekundární minerály neobsahující uran zjištěny jen ojediněle.

3. Metasomatické zrudnění v hydrotermálně přeměněných prokřemenělých horninách se vyskytuje pouze v Zálesí a převážná část známých vzorků pochází ze štoly II. Zrudnění je podle Fojta et al. (1971) představováno impregnacemi uraninu, chalkopyritu a arzenidů a v supergenní zóně podlehlo zřejmě podobným změnám jako ostatní typy zrudnění. Vzhledem k relativně malé velikosti rudních partií a jejich nepravidelnému rozmítění jsou obě vyčleněné asociace arzenátová II a silikátová poněkud odlišné od předešlých.

Arzenátová asociace II

erythrín + zeunerit

± metanováčekit, chryzokol, tirolit, goudeyit, malachit, conichalcit.

Tato asociace je velmi podobná arzenátové asociaci I, ale hlavním sekundárním minerálem uranu je zeunerit a navíc se zde objevuje řada sekundárních minerálů mědi neobsahujících uran.

Silikátová asociace

uranofán III ± beta-uranofán II

Tato asociace je na rozdíl od předešlé téměř monominerální a vedle uranofánu a poněkud vzácnějšího beta-uranofánu zde nebyl zjištěn jiný sekundární

minerál. To je velmi zajímavé s ohledem na předešlou arzenátovou asociaci II, kde se objevuje, i když často jen sporadicky, relativně velké množství sekundárních minerálů většinou neobsahujících uran.

Tab. 18. Přehled sekundárních minerálů uranu na studovaných lokalitách.
Review of secondary minerals of uranium on the study localities.

	Z	HH		Z	HH
oxidy	++	+++	arzenáty	++	—
studtit	—	+	zeunerit	+++	—
becquerelit	—	+	metazeunerit	+	—
wölsendorfit	++	+++	uranospinit	+	—
fourmarierit	++	+++	metauranospinit	+	—
masuyit	—	+	nováčekit II	+	—
silikáty	+++	+++	metanováčekit	++	—
uranofán	+++	+++	vanadáty	++	+
beta-uranofán	++	+	ťujamunit	++	+
kasolit	+	+	metaťujamunit	+	—
fosfáty	+++	+++			
parsonsit	+	—			
autunit	++	+			
metaautunit	+++	+++			
torbernit	+	+			
metatorbernit	+++	+++			

+++ hojný — rich
++ běžný — common
+ vzácný — rare
— nebyl zjištěn — not found

Závěr

V předložené práci jsou podány výsledky mineralogického studia sekundárních minerálů uranu ze Zálesí a Horních Hoštic v Rychlebských horách, severní Morava. Byly zde identifikovány tyto minerály: studtit, becquerelit, wölsendorfit, fourmarierit, masuyit, uranofán, beta-uranofán, kasolit, parsonsit, autunit, metaautunit, torbernit, metatorbernit, zeunerit, metazeunerit, uranospinit, metauranospinit, nováčekit II, metanováčekit, ťujamunit, metaťujamunit a řada z nich jsou novými minerály pro ČSSR. Vzhledem k nesprávnému nebo nedostatečnému určení je nutno považovat v Zálesí za nepotvrzené sekundární minerály uranu — arzenuranylit, johannit, schröckingerit a zippeit.

U studovaných minerálů jsou uvedena jejich prášková difrakční data a optické vlastnosti, u některých také infračervená absorpční spektra. Chemické složení minerálů bylo sledováno pomocí energiově disperzního analyzátoru rentgenových paprsků Northern Tracor TN 2000.

Podle minerálního složení a podle vztahu k určitému typu primárního zrudnění byly vyčleněny tyto minerální asociace sekundárních minerálů uranu

1. Asociace vázané na pravé žíly s výrazně převládajícím křemen - chalkopyrit-smolincovým zrudněním.

   a) oxid-silikátová asociace
   wölsendorfit I + uranofán I
   fourmarierit + uranofán I
   ± masuyit, beta-uranofán I, kasolit
   mladší mobilizovaná asociace
   wölsendorfit II becquerelit

b) fosfát-silikátová asociace
metaautunit + metatorbernit + uranofán II
± parsonsit, fujamunit, studtit, malachit, chryzokol

c) fosfátová (metatorbernitová) asociace
metatorbernit

2. Asociace vázané na pravé žíly s křemen-chalkopyrit-smolincovým zrudněním.

a) arzenátová asociace I
erythrín + metauranospinit + metanováčekit
± zeunerit, annabergit

3. Asociace vázané na metasomatické zrudnění v silně hydrotermálně přeměněných a prokřemenělých horninách.

a) arzenátová asociace II
erythrín + zeunerit
± metanováčekit, chryzokol, tirolit, goudeyit, malachit, conichalcit

b) silikátová asociace
uranofán III ± beta-uranofán II

Závěrem děkují autoři prof. dr. B. Fojtovi, CSc. z katedry mineralogie a petrografie přírodovědecké fakulty UJEP v Brně za cenné rady a připomínky k předložené práci.

LITERATURA

BAJER, J., 1981: Revize sekundárních minerálů uranu z ložiska Zálesí u Javorníka. Diplom. práce MS VŠB, Ostrava.

BĚLOVA, L. N., FEDOROV, O. V., 1974: Novyje dannyje o vělsendorfite. *Zapis. vses. min. obšč.*, 103:718—719.

BERNARD, J. H., ET AL., 1981: Mineralogie Československa. Academia Praha.

ČEJKA, J., URBANEC, Z., 1983: K termickému rozkladu přírodního becquerelitu, $CaO.6UO_3.10—11H_2O$. *Čas. Nár. muzea,* 152:28—36.

DELIENS, M., 1977: Review of the hydrated oxides of U and Pb, with new X-ray powder data. *Miner. mag.,* 41:51—57.

FOJT, B., 1972: Studium arzenidové mineralizace z lokality Zálesí ve Slezsku pomocí elektronové mikrosondy. Hor. Př.: 447—470.

FOJT, B., KRUŤA, T., 1959: Minerály ze Zálesí ve Slezsku. *ČMG,* 4:377—378.

FOJT, B., LEFNEROVÁ, V., 1973: Supergene minerals of the ore deposit Zálesí, Silesia — Part I. — Minerals of the copper — ore association. *Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. JEP Brunensis, Geologia* 2—3, 3:35—51.

FOJT, B., TENČÍK, J., 1962: Geologický, petrografický a mineralogický výzkum na rudním ložisku v Zálesí u Javorníka. *ZGV,* 1961:56—57.

FOJT, B., ET AL. 1971: Mineralogický a geochemický výzkum rudních ložisek a drobných výskytů kyzů a rud barevných kovů v oblasti východních a středních Sudet, ložiska Zálesí u Javorníka — Horní Hoštice — Bílá Voda — Lesní Čtvrť. Závěr. zpráva, nepubl., Brno.

FRONDEL, C., 1956: Mineral composition of gummite. *Amer. miner.,* 41:539—568.

FRONDEL, C., 1958: Systematic mineralogy of uranium and thorium. *U. S. Geol. Survey Bull.*:1064.

FRONDEL, J. W., CUTTITTA, F., 1953: Studies of uranium minerals (XII): The status of billietite and becquerelite. *Amer. miner.,* 38:1019—1024.

CHRIST, C. L., CLARK, J. R., 1960: Crystal chemical studies of some uranyl oxide hydrates. *Amer. miner.,* 45:1026—1061.

JEDLIČKA, J., 1983a: Příspěvek k poznání mineralizace lokality Zálesí u Javorníka ve Slezsku. *ČMG,* 28:101—102.

JEDLIČKA, J., 1983b: Johannit ze Zálesí — nový minerál pro Moravu a Slezsko. *ČMG,* 28:216.

KRUŤA, T., 1963: Mineralogický výzkum ve Slezsku v letech 1961—1963. *Acta Mus. Moraviae, Sci. nat.,* 48:7—22.

KRUŤA, T., 1973: Slezské nerosty a jejich literatura. Moravské muzeum Brno.

KRUŤA, T., 1976: Mineralogický výzkum ve Slezsku v letech 1973—1975. *Acta Mus. Silesiae, series A,* 25:51—55.

MROSE, M., 1953: Studies of uranium minerals. III: syntetic uranospinites. *Amer. miner.,* 38:1159—1168.

PAULIŠ, P., ZÍMA, J., 1981: Příspěvek k sekundární mineralizaci ložiska uranových rud ze Zálesí u Javorníka ve Slezsku. *ČMG,* 26:212—213.

PAULIŠ, P., ZÍMA, J., 1982: Sekundární minerály ložiska uranových rud Zálesí u Javorníka ve Slezsku. *Acta Mus. Silesiae, series A,* 31:129—148.

PROTAS, J., 1957: Propriétés et synthèse d'un oxyde hydrate d'uranium et de calcium de Shinkolobwe. *Acad. sci. Comptes redus,* 244:91—93.

PROTAS, J., 1959: Contribution à l'étude des oxydes d'uranium hydratés. *Bull. Soc. franc. Minér. Crist.,* 82:239—272.

RAMDOHR, P., STRUNZ, H., 1978: Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie. F. Enke Verlag, Stuttgart.

ROJKOVIČ, I., KRIŠTÍN, J., 1974: Montroseit — (V, Fe) O (OH) an der Lagerstätte Novoveská Huta. *Geol. Zbor. - Geol. Carp.,* 25:77—80.

ROSS, M., EVANS, H. T. Jr., APPELMAN, D. E., 1964: Studies of the torbernite minerals (II): The crystal structure of metatorbernite. *Amer. miner.,* 49:1603—1621.

SCHOEP, A., 1922: Sur la becquerelite, nouveau minéral radioactif. *C. r.,* 174:1240.

SOBOLEVA, M. V., PUDOVKINA, I. A., 1957: Mineraly urana. Gosud. naučno-tech. izdat. liter. po geologii i ochrane nedr., Moskva.

STERN, T. W., STIEFF, L. R., GIRHARD, M. N., MEYEROWITZ, R., 1956: The occurrence and properties of meta-tyuyamunite, $Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 . 3—5 H_2O$. *Amer. miner.,* 41: 187—201.

ŠURÁŇ, J., VESELÝ, T., 1982: Malá uranová ložiska krystalinika Českého masivu, IV. část: Oblast východních Čech a Moravy. *Geologie a hydrometalurgie uranu,* 6:3—50.

VAES, J. F., 1947: Six nouveaux minéraux d'urane provenant de Shinkolobwe (Katanga). *Soc. géol. Belgique Annales,* 70: B212-B229.

WALENTA, K., 1964a: Beiträge zur Kenntnis seltener Arzenatmineralien unter besonderer Berücksichtigung von Vorkomenn des Schwarzwaldes. *TMPM,* 9:111—174.

WALENTA, K., 1964b: Beiträge zur Kenntnis seltener Arzenatmineralien unter besonderer Berücksichtigung von Vorkomenn des Schwarzwaldes. *TMPM,* 9:252—281.

WALENTA, K., 1974: On studtite and its composition. *Amer. miner.,* 59:166—171.

WINCHELL, A. N., WINCHELL, H., 1961: Elements of optical mineralogy. John Wiley and Sons, New York.

JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standarts), 1974: Inorganic Index to the Powder Diffraction File. Swarthmore, Pa.: Philadelphia.

SUMMARY

In this paper the results of the mineralogic study of secondary minerals of uranium from Zálesí and Horní Hoštice in the Rychlebské hory Mts, northern Moravia are presented. In the mentioned localities there were identified following minerals: studtite, becquerelite, wölsendorfite, fourmarierite, masuyite, uranophane, beta-uranophane, kasolite, parsonsite, autunite, metaautunite, torbernite, metatorbernite, zeunerite, metazeunerite, uranospinite, metauranospinite, novačekite II, metanovačekite, tyuyamunite, metatyuyamunite, — a lot of them are new minerals found in Czechoslovakia. Considering incorrect and insufficient determinations we must hold for uncorfirmed these uranium secondary minerals from Zálesí: arsenuranylite, johannite, schröckingerite and zippeite.

For each studied mineral we present the results of diffraction X-ray analysis and the optical properties, for some also the infrared absorption spectra. Chemical composition of the minerals was studied using Northern Tractor TN 2000 analysator (EDAX).

According to set of minerals and their relation to a certain type of primary ore mineralisation we determined these mineral assemblages of uranium secondary minerals as follows:,

1. Assemblages bound to dykes with expressively prevailing quartz-chalcopyrite-uranite ore mineralisation
   a) oxide-silicate assemblage
      wölsendorfit I + uranophane I
      fourmarierite + uranophane I →
      ± masuyite, beta-uranophane I, kasolite
      younger mobilized assemblage
      wölsendorfite II + becquerelite
   b) phosphate-silicate assemblage
      metaautunite + metatorbernite + uranophane II
      ± parsonsite, tyuyamunite, studtite, malachite, chrysocolla
   c) phosphate (metatorbernite) assemblage
      metatorbernite

2. Assemblages bound to dykes with quartz-chalcopyrite-uranite ore mineralisation and arsenide ore mineralisation

   a) arsenate assemblage I
   erythrite + metauranospinite + metanovačekite
   ± zeunerite, annabergite

3. Assemblages bound to metasomatic ore mineralisation in strongly hydrothermally alterated and quartzitized rocks

   a) arsenate assemblage II
   erythrite + zeunerite
   ± metanovačekite, chrysocolla, tirolite, goudeyite, malachite, conichalcite

   b) silicate assemblage
   uranophane III ± beta-uranophane II

Greater attention was paid to the oxide-silicate assemblage of uranium secondary minerals. F r o n d e l (1956) presumes in three main stages its origin:

1. oxidation of uranite
2. decomposition and hydration of oxidized uranite and the origin of hydrated oxides of uranium and lead, partial leaching of uranium
3. reaction of hydrated uranium and lead oxides with their environments in the contact with a rock, origin of a silicate zone.

But more presumable seems that it is the origin of the silicate zone that conditiones the origin of the uranium and lead oxides and not vice versa. First runs the oxidation and hydration of the uranite and the reaction of the products originated in this process with SiO_2 leached from the rock, the zone of uranium and calcium silicates originates. In this way runs the leaching of a part of uranium and simultaneously the relative enrichment by radiogenic lead to such extent that it enables the origine of self-contained minerals of lead and uranium — hydrated oxides.