

GEOCHRONOLOGICKÉ A GEOCHEMICKÉ VÝZKUMY JESKYNNÍCH SINTRŮ ČESKÉHO KRASU: NOVÉ VÝSLEDKY

Geochronological and geochemical research of spelean sinters from the Bohemian Karst: New results

VÁCLAV SUCHÝ¹ – ANTONÍN ZEMAN² – IVO SVĚTLÍK³ – JIŘÍ FILIP¹ – ALEXANDR KOMAŠKO⁴ – JAROSLAVA MELKOVÁ⁵ – PAVEL JÍLEK⁵

¹Geologický ústav AV ČR, Rozvojová 135, 165 02 Praha 6, e-mail: Sediment@gli.cas.cz

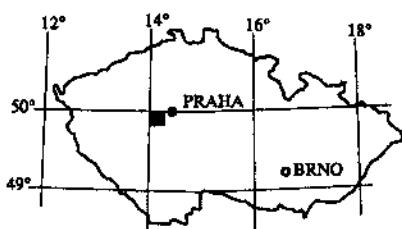
²Josefa Suka 1258, 250 01 Brandýs n. L., e-mail: beleto.brandys@worldonline.cz

³Ústav jaderné fyziky AV ČR, ODZ, Na Truhlářce 39/64, P 8; e-mail: svetlik@ujf.cas.cz

⁴AOPK ČR Koněpruské jeskyně, P. O. Box 13, 266 01 Beroun

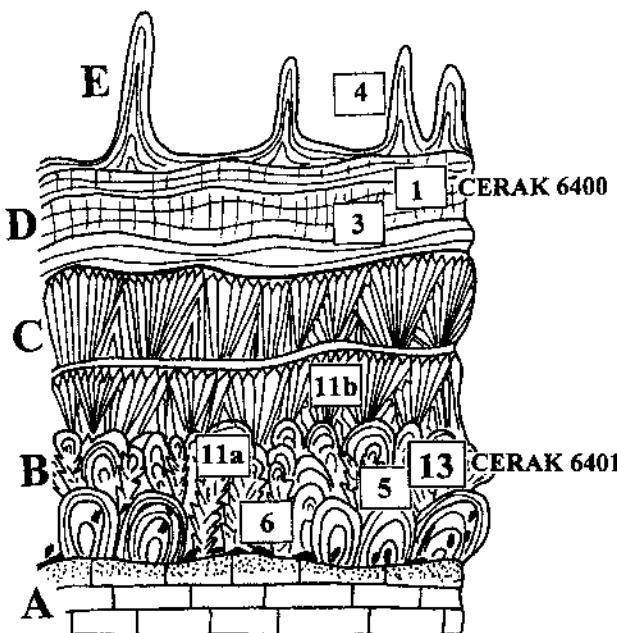
⁵Univerzita Karlova v Praze, Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: jilek@natur.cuni.cz

(12-41 Beroun)



Key words: Bohemian Karst, Speleothem, Speleothem Dating, Uranium in Carbonates, Bohemian Massif

Abstract: Radiocarbon and U/Th dating methods have been applied to the samples of cave sinters from the Koneprusy jeskyne Cave, the Bohemian Karst. The radiocarbon dating shows that



Obr. 1. Schéma typické posloupnosti sintrů Koněpruských jeskyní a pozice některých zkoumaných vzorků.
A – devonský vápence, na povrchu s alterační sypkou zónou, B – nejstarší částečně silicifikované pisolity a kryštallické agregáty s útržky Mn-oxidu (znázorněny černě), C – stěbelnaté agregáty „medového kalcitu“, D – laminované a masivní sintry, E – relativně nejpozději krápníková a sintro-výzdoba

most, if not all, the sinters are generally older than 21 000 years. Based on the U/Th method, the age of the youngest massive laminated flowstone is only about 72 000 years. Stratigraphically oldest carbonate-siliceous popcorn sinters ("Koněprusy rosettes") yielded the age of about 227 000 years. The latter determination much contradicts the prevailing point of view, based on vague paleontological and geomorphological evidence, that the early sinters and the caves in general originated during the Tertiary period.

Uranium concentrations in the cave sinters are very low and range, regardless of their stratigraphical position, between 0.06 and 1.26 ppm. Thus, the earlier views about the "uranium-bearing" sinters of the Bohemian Karst must be considered with certain precaution.

Jeskyně Českého krasu jsou vyzdobeny sintry, jejichž stáří nebylo dosud spolehlivě zjištěno (viz Žák 1999 a další reference tamtéž). Typická sukcese těchto sintrů byla popsána z Koněpruských jeskyní i z dalších lokalit Českého krasu v sedmdesátých a osmdesátých letech (Lysenko 1976, Lysenko – Sláčík 1977, Komaško 1986 a další; Obr. 1). Názory na stáří jednotlivých členů sintrové sekvence se zatím opřaly převážně o nepřímé paleogeografické a geomorfologické indikátory (Lysenko 1982, Bosák 1985), případně o problematické paleontologické nálezy (Horáček 1984, Jančářík 1986), jejichž kompletní výčet a kritická diskuse by překračovaly rámec tohoto sdělení a budou předmětem samostatného článku (Zeman et al., v přípravě). Nejstarší generace jeskynních sintrů tvořená pisolitickými, často silicifikovanými „ružicemi“ a kryštallickými agregáty byly pokládány za miocenní (Lysenko – Sláčík 1977, 1984), což odpovídalo představě, že jeskyně samotně vznikly již během paleogénu (Bosák 1985, 1996). V této souvislosti se zakročila představa, že některé silicifikované partie nejstarších sintrů obsahují „uranem aktivovaný opál“ (Sláčík 1982), který byl označen za „vůdčí mineral“ a z jeho rozšíření byly činěny dalekosáhlé stratigrafické a geomorfologické závěry (Lysenko 1982). Údajná uranová mineralizace v nejstarších sintrech byla rovněž interpretována jako nepřímý doklad o jejich terciérním stáří (Bosák 1985).

V tomto příspěvku shrnujeme výsledky našeho současného pokusu datovat sintry Koněpruských jeskyní pomocí objektivních metod absolutního datování. S využitím moderních fyzikálních metod jsme rovněž kriticky ověřili, jaké jsou skutečné obsahy uranu v těchto sintrech.

MATERIÁL A METODIKA

Studované vzorky představovaly typické členy sintrové sekvence z Koněpruských jeskyní a z jeskyní bezprostředního okolí (Chlupáčova sluj – Vestibul v lomu na Kobyle, Nová propast na Zlatém koni). Přibližná stratigrafická pozice zkoumaných vzorků v obecné sekvenci jeskynních sintrů je schematicky znázorněna na obr. 1. Pro srovnání byly analyzovány též vzorky okolních devonských vápeneců a krystalický kalcit z mohutné hydrotermální žíly odryté v nedalekém lomu Čertovy schody (tab. 1).

Radiouhlíkové datování třinácti vzorků karbonátů se uskutečnilo na plynovém proporcionalním detektoru laboratoře katedry hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky PřF UK (dr. Melková a ing. Jílek). Jako vnitřní standard bylo použito sacharózy ANU a neaktivního uhlíku pro pozadí a stanovení detekční účinnosti aparatury. Získané hodnoty stáří byly udány v ročích před přítomností (BP), včetně své směrodatné odchytky 1σ .

Datování metodou U/Th byly podrobeny dva vzorky pocházející z nejmladších a nejstarších členů sintrové sekvence (obr. 1). Analýzu uskutečnilo výzkumné středisko CERAK při Polytechnické fakultě v Mons, Belgie (dr. I. Quiniif).

Vybrané vzorky karbonátů byly zkoumány z hlediska obsahu uranu, jeho dceřinného Ra-226 a dalších prvků pomocí vzájemně nezávislých metod neutronové aktivační analýzy (NAA) a gama-spektrometrie. Pro potřeby neutronové aktivační analýzy byly jednotlivé vzorky (200–300 mg) ozářeny v reaktoru Ústavu jaderného výzkumu a. s. v Řeži po dobu 4 hodin a proměřeny v dobách 3, 7 a 24 dnů po ozáření. Chyba průměru koncentrací jednotlivých prvků nepřekročila 5 %. Gama-spektrometrická analýza byla aplikována v Ústavu jaderné fyziky v Praze, v oddělení dozimetrie záření (Ing. I. Světlík).

Aby bylo možno výsledky získané oběma metodami vzájemně porovnat, byly koncentrace prvků stanovené NAA přepočteny na aktivitu radionuklidů (U-238, Th-232, K-40) podle vzorce:

$$a_m = \lambda \cdot N_A \cdot \rho \cdot A_t^{-1}$$

kde a_m – měrná aktivita ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$); λ – přeměnová konstanta (s^{-1}); N_A – Avogadrova konstanta (mol^{-1}); ρ – koncentrace radionuklidu ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$); A_t – relativní atomová hmotnost ($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$).

Výpočet aktivity U-238 a K-40 vycházel z předpokladu přírodního zastoupení v isotopické směsi. Aktivity dceřinného radionuklidu Ra-226 nemusí být v radioaktivní rovnováze s mateřským U-238, zvláště u mladších vzorků.

VÝSLEDKY A JEJICH DISKUSE

Získané analytické výsledky jsou přehledně shrnutы v níže uváděné tabulce (tab. 1).

1. Stáří sintrů

Radiouhlíková metoda: Zjištěné stáří většiny analyzovaných vzorků je za maximální hranici datovatelnosti radio-

uhlíkovou metodou pro danou laboratoř (21 000 let). Za relativně spolehlivé lze považovat patrně pouze radiouhlíkové stáří nejmladšího sintru z chodby nad Labutí v Koněpruských jeskyních, který poskytl hodnotu $16\ 900 \pm 550$ let. Stanovené stáří není obecně v rozporu s údajem LYSENKA (1976), který na základě kosterních pozůstatků v jeskynních sedimentech odvodil, že nejmladší generace sintrů Koněpruských jeskyní jsou pozdější než riss, respektive riss-würm (tj. mladší než ~130 tis. let). Relativně mladé podlahové sintry jeskyně Martina v Českém krasu, snad korelovatelné s pozdními sintry Koněpruských jeskyní, datovali nedávno rovněž pomocí radiouhlíkové metody Žák a MELKOVÁ (1999) a získali dosti podobné stáří 9–9,1 tis. let.

Radiouhlíkové stáří pisolithického sintru ze stěny Chlupáčovy sluje v lomu na Kobyle ($21\ 727 \pm 950$ let) je podle všeho třeba hodnotit velmi opatrně, protože získaná hodnota je již na hranici detekčního limitu metody a tedy v oblasti velké potenciální chyby. Předpoklad, že tento údaj je asi zatížen značnou chybou, se zdá být potvrzován i faktum, že jeskynní sedimenty z výplně Chlupáčovy sluje jsou paleontologicky datovány jako riss-würmské až würmské (KOVANDA 1973), tedy staré nejméně 60–80 tisíc let.

U/Th metoda: Datace nejmladšího laminovaného sintru (vzorek CERAK 6 400 na obr. 1), poskytla hodnotu $71\ 800$ ($+12\ 700 / -11\ 300$) let. Získané stáří je sice vyšší, ale do jisté míry porovnatelné se stářím získaným z téhož vzorku pomocí radiouhlíkové metody (tab. 1).

V případě druhého ze zkoumaných vzorků, kterým byl relativně nejstarší silicifikovaný sintr (vzorek CERAK 6 401), je zjištěné stáří $227\ 300$ ($+37\ 000 / -28\ 000$) let překvapující. Pokud je tento údaj správný, potom je v rozporu s prakticky všemi dosud publikovanými úvahami a určenými, včetně paleontologických nálezů, které zdánlivě svědčí o podstatně vyšším, případně až terciérním stáří časných generací sintrové výzdoby (srovnej LOŽEK 1973, HORÁČEK 1984, BOSÁK 1985, JANČÁŘÍK 1986). Zjištěný údaj by naopak mohl podporovat nedávno publikovanou představu, že jeskyně Českého krasu, Koněpruské jeskyně nevyjímaje, vznikly teprve geologicky nedávno, možná až během kvartéru (SUCHÝ – ZEMAN 1999).

2. Obsahy uranu v sintrech

Výsledky stanovení metodou NAA a gama spektrometrického proměřování radionuklidů vykazují u většiny vzorků přijatelnou shodu, v rámci zvážení nejistoty stanovení a detekčních mezi použitých metod (tab. 1). Z uvedených výsledků vyplývá, že prakticky všechny studované vzorky obsahují pouze velmi nízké množství uranu, které se pohybuje mezi $0,06$ – $1,26$ ppm. Mírně vyšší koncentrace ($1,11$ a $1,256$ ppm) uranu byly sice nalezeny v některých vzorcích pisolithických sintrů (např. vzorky 11a a 12 v tab. 1), nicméně s ohledem na rozptyl hodnot v rámci celé zkoumané série, jde spíše o náhodnou variaci. Celkově není ze získaných dat patrná žádná evidentní závislost mezi obsahy uranu a jednotlivými členy sintrové sekvence. Porovnatelné údaje o obsazích uranu v jiných jeskynních sintrech se nám ve světové literatuře nepodařilo zjistit. Geochemicky relativně nejbližše ke zkoumaným horninám by mohly být

Tab. 1.

vzorek		stáří (roky)		koncentrace prvků (ppm); radionuklidů (Bq/kg) neutronová aktivace; gama-spekrometrie								
č. vz.	popis vzorku	¹⁴ C	U/Th	U-238 (ppm)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (ppm)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 (ppm)	K-40 (Bq/kg)	Ra-226 (U-238) (Bq/kg)	Ra-228 (Th-232) (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)
1	Pozdní laminovaný sintr; chodba nad Labutí, Koněpruské j. (CERAK 6400)	16 901 (± 546)	71 800 (+12 700/ -11 300)	0,686	8,38	-	-	25,5	0,71	10,6 (±1,1)	< 4	< 15
2	Septáriová konkrece, průkop u Labutě, Koněpruské j.	> 21 000	-	0,543	6,63	0,39	1,582	1627	45,56	6,6 (±1,1)	11,9 (±2,1)	53 (±7)
3	Podlahový sintr, chodba před Marešovou síní, Koněpruské j.	> 21 000	-	0,236	2,88	0,003	0,012	23,4	0,66	9,1 (±1,1)	< 4	< 15
4	Masivní sintr útvaru „Mohyla“, Proškův dóm, Koněpruské j.	> 21 000	-	0,061	0,74	-	-	32,6	0,91	< 2	< 4	< 15
5	Korodovaná „koněpruská růžice“, Proškův dóm, Koněpruské j.	> 21 000	-	0,282	3,44	0,005	0,020	29,6	0,83	13,1 (±1,3)	< 4	1 (±8)
6	Prokřemenělý podlahový sintr, Proškův dóm, Koněpruské j.	> 21 000	-	0,836	10,21	0,023	0,093	54,3	1,52	11,5 (±1,2)	< 4	< 15
7	Žluto-zelený žilný kalcit, „Velká kalcitová žila“, VČS-Východ	> 21 000	-	0,021	0,26	-	-	21,2	0,59	< 2	< 4	< 15
8	Hnědý žilný kalcit, „Velká kalcitová žila“, VČS-Východ	> 21 000	-	0,13	1,59	0,001	0,004	21,4	0,60	4,0 (±1,2)	< 4	< 15
9	Koněpruský vápenec (devon), VČS	> 21 000	-	0,082	1,00	0,05	0,203	33,9	0,95	< 2	< 4	< 15
10	Suchomastský vápenec (devon), VČS	> 21 000	-	0,388	4,74	2,577	10,452	3097	86,72	4,2 (±1,2)	11,4 (±2,3)	97 (±8)
11a	Prokřemenělý isolitický sintr, Zamenhofův dóm, Nová propast	> 21 000	-	1,11	13,56	0,005	0,020	23,9	0,67	9,1 (±1,2)	< 4	< 15
11b	„Medový kalcit“, Zamenhofův dóm, Nová propast	> 21 000	-	0,258	3,15	-	-	20,7	0,58	5,1 (±1,2)	< 4	< 15
12	Pisolitický sintr, Chlupáčova sluj-Vestibul, lom Kobyla	21 700 (± 950)	-	1,256	-	0,181	-	101,4	-	-	-	-
13	Prokřemenělý stropní sintr, chodba mezi Petrakovým dómem a Letošníkovou propastí, Koněpruské j. (CERAK 6401)	-	227 300 (+37 000/ -28 000)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

karbonátové usazeniny severoamerické a ruské platformy, v nichž ROGERS a ADAMS (1978) udávají uranové koncentrace v rozmezí od ~ 0,5 do 4 ppm, přičemž většina hodnot spadá mezi 2,1–2,2 ppm. SMYSLOV (1974) a BATURIN (1975) publikovali nezávisle velmi podobné hodnoty i pro karbonátové horniny fanerozoika, respektive pro recentní karbonátové sedimenty. V tomto světle se obsahy uranu ve všech koněpruských sintrech jeví jako pouze průměrné nebo spíše podprůměrné. Uranové koncentrace obsažené v čistě křemitéch, případně opálových, partiích sintrů nejstarší generace byly zkoumány gama-spekrometrickou analýzou nerozpustného křemitého zbytku vyleptaného ze

sintrů slabou kyselinou octovou. Ze tří zkoumaných vzorků prokřemenělých sintrů pouze jediný vzorek (6) poskytl množství křemitého rezidua dostatečné pro tento typ analýzy. Zjištěná množství uranu se pohybovala v rozmezí zhruba dvou až třínásobku obsahů typických pro výchozí neupravené vzorky a obecně nepřesahla 2,5 ppm uranu. To by mohlo naznačovat, že čistě křemité partie nejstarších sintrů jsou skutečně poněkud bohatší uranem, jak proponoval již SLAČÍK (1982). Na druhé straně ovšem získané údaje navštědují tomu, že ani křemité sintry *sensu stricto* neobsahují větší množství uranu nežli je průměrné množství v běžných sedimentárních horninách.

ZÁVĚRY

1. Stáří většiny typů sintrů v Koněpruských jeskyních je obecně větší než 21 000 let. Měřicí zařízení, na kterém byly výsledky radiouhlíkového datování získány, není schopno, snad s výjimkou úplně nejmladších sintrových generací, bezpečně stanovit stáří vyšší. Ukázalo se proto nevhodné pro další datování sintru Českého krasu.
2. Spolehlivější datování metodou U/Th ukazuje, že nejstarší generace silicifikovaných sintrů jsou staré jen asi 200–260 tisíc let. Toto zjištění je v pozoruhodném rozporu s existujícími údaji a odhady stáří těchto sintrů, jež byly získány nepřímými metodami a implikuje nutnost získání dalších geochronologických dat.
3. Existující výsledky nenaznačují žádnou spojitost mezi stratigrafickou posicí sintru a jeho uranovým obsahem. Obsahy uranu jsou ve všech typech jeskynních sintrů pod úrovní světového průměru pro karbonátové horniny.

Literatura

- BATURIN, G. N. (1975): Uran v sovremennom morskom osadkonakoplenii. – Atomizdat, 152 s. Moskva.
- BOSÁK, P. (1985): Periody a fáze krasovění v Českém krasu – Český kras, 11, 36–55. Beroun.
- BOSÁK, P. (1996): The evolution of karst and caves in the Koněprusy region (Bohemian Karst, Czech Republic) and paleohydrologic model. – Acta Carsol., XXV, 57–67. Ljubljana.
- HORÁČEK, J. (1984): Obratlové mikrofauna z fosilních výplní Koněpruských jeskyní. – Český kras, 9, 68–75. Beroun.
- JANČÁŘEK, A. (1986): Ke genesi specifických forem aerosolových sintrů vyskytujících se ve středních patrech Koněpruských jeskyní. – Český kras, 12, 5–22. Beroun.
- KOMAŠKO, A. (1986): Opál a jeskyně Českého krasu. – Český kras, 12, 23–46. Beroun.
- KOVANDA, J. (1973): Výzkumy výplně Chlupáčovy sluje u Koněprus. – Sbor. Geol. Věd, číslo A, 131–148. Praha.
- LYSENKO, V. (1976): Příspěvek ke stratigrafii sedimentů v Koněpruských jeskyních. – Český kras, 1, 18–27. Beroun.
- LYSENKO, V. (1982): Fázovitost vývoje jeskyní v Českém krasu. – In: Geomorfologická konference, 1982, 185–190. Univerzita Karlova Praha.
- LYSENKO, V. – SLAČÍK, J. (1977): Příspěvek k sukcesi minerální výplně Koněpruských jeskyní. – Čas. Mineral. Geol., 22, 3, 307–315. Praha.
- LYSENKO, V. – SLAČÍK, J. (1984): Minerální výplně v Koněpruských jeskyních. – Český kras, 9, 51–60. Beroun.
- LOŽEK, V. (1973): Příroda ve čtvrtotoborech. Academia. Praha.
- ROGERS, J. J. W. – ADAMS, J. A. S. (1978): 92-K. Uranium Abundance in Common Sedimentary Rocks. – In: Handbook of Geochemistry (WEDDEPOHL, K. H., ed.), vol. II/5, 92-K-1 – 92-K-8, Springer-Verlag. Berlin – Heidelberg.
- SLAČÍK, J. (1982): Nové poznatky o geochemii a mineralogii jeskyní, I – Český kras, 7, 62–66. Beroun.
- SMYSLOV, A. A. (1974): Uran i torij v zemnoj kore. – Nedra, 231s. Leninograd.
- SUCHÝ, V. – ZEMAN, A. (1999): Hydrotermální původ jeskyní v Českém krasu: Nové paradigmata. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 84 (1999), 97–119. Brno.
- ZEMAN, A. – SUCHÝ, V. – KOMAŠKO, A. – PRUNER, P. – SVĚTLÍK, I. – FILIP, J. – MELKOVÁ, J. – JÍLEK, P. (v přípravě): Geochemické složení, magnetomineralogie a stáří jeskynních sintrů Českého krasu: Nové výsledky.
- ŽÁK, K. (1999): Vztah hydrotermálních a krasových procesů v Českém krasu. – Český kras, 25, 53–63. Beroun.
- ŽÁK, K. – MELKOVÁ, J. (1999): Datování uhlísků z jeskyně Martina v Tefře na pomocí ^{14}C . – Český kras, 25, 33–34.