

# RADIOAKTIVITA HORNIN VE SPELEOTERAPEUTICKÉ LÉČEBNĚ V CÍSAŘSKÉ JESKYNI (MORAVSKÝ KRAS)

Rock radioactivity in the speleotherapy medical institution  
in the Císařská Cave (Moravian Karst)

Jindřich Štelcl<sup>1</sup>, Jiří Zimák<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra mineralogie, petrologie a geochemie PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno

<sup>2</sup>Katedra geologie PřF UP, tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc

(24-23 Protivanov)

**Key words:** *Moravian Karst, Císařská Cave, Devonian limestones, gamma-spectrometry, natural radioactive elements, speleotherapy*

**Abstract:**

*In this paper a summary of results from geochemical investigation of the Vilémovice limestones carried out in the speleotherapy medical institution in the Císařská Cave (Moravian Karst) is presented with emphasis on natural radioactive element contents (K, U, Th).*

V rámci komplexního výzkumu Císařské jeskyně, která je k pobytu pacientů postižených respiračními chorobami využívána Dětskou léčebnou se speleoterapií v Ostrově u Macochy již od r. 1997, byl proveden základní geologický výzkum, spojený s detailním gamaspektrometrickým sledováním koncentrací přirozených radioaktivních prvků v horninovém prostředí jeskyně, a to zejména v devonských vápencích. Provedené práce byly realizovány na základě objednávky výše uvedeného zdravotnického zařízení.

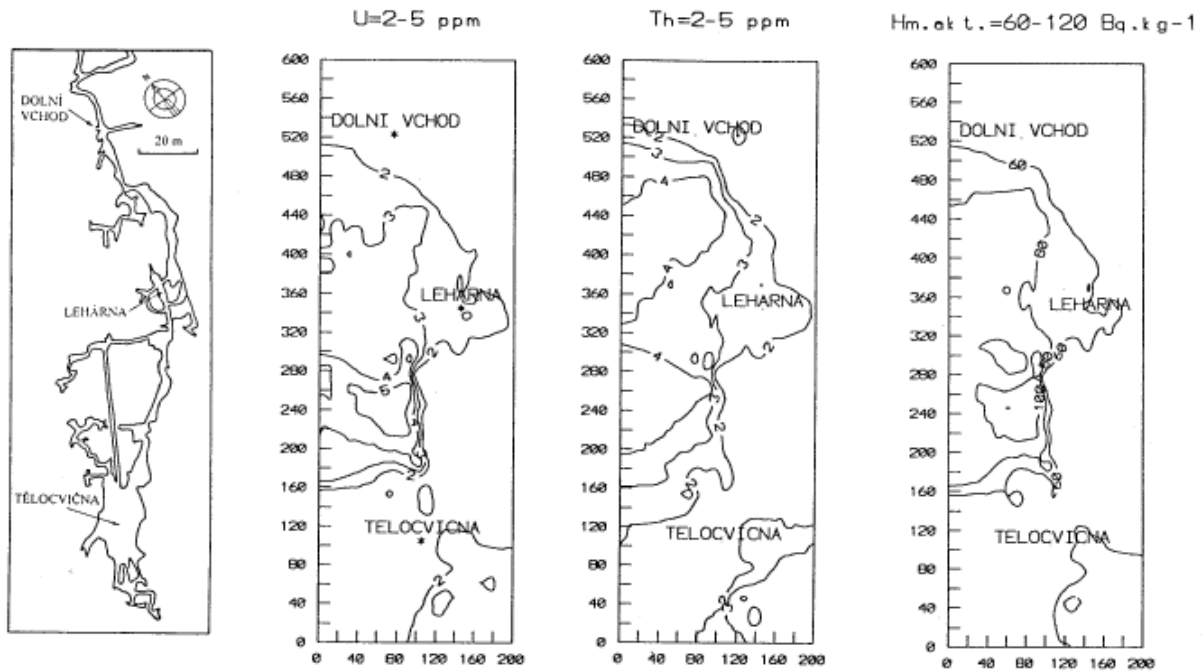
Císařská jeskyně se vytvořila ve světle šedých až šedých vilémovických vápencích macošského souvrství.

Výsledky parciálních chemických analýz vzorků vápenců odebraných v různých částech Císařské jeskyně (včetně nově vyražené štoly) a stanovené obsahy stopových prvků jsou uvedeny v tab. 1. Z výsledků provedených analýz vyplývá, že studované vápence jsou chemicky velmi čisté s relativně nízkým podílem nekarbonátové složky. Vyšší obsah stroncia doložený analýzami je pro karbonátové horniny typický. Překvapivě vysoké jsou koncentrace Cr, které jsou zhruba trojnásobné ve srovnání s „klarky“ vápenců publikovaných různými autory a jsou současně i několikanásobně vyšší než obsahy Cr stanovené např. v devonských vápencích Javoříčského krasu (Štelcl – Zimák 1998).

vzorek	CIS-1	CIS-4	CIS-6	CIS-8	CIS-11	CIS-17	CIS-19
CaO (hmot.%)	55,15	55,54	55,67	55,33	55,09	54,34	55,50
MgO (hmot.%)	0,26	0,27	0,18	0,27	0,26	0,35	0,21
FeO (hmot.%)	0,06	0,07	0,06	0,03	0,02	0,06	0,05
MnO (hmot.%)	0,01	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
n.p. (hmot.%)	0,35	0,14	0,10	0,31	0,94	0,97	0,40
CaCO <sub>3</sub> (mol.%)	99,25	99,19	99,41	99,27	99,31	99,01	99,40
MgCO <sub>3</sub> (mol.%)	0,65	0,67	0,45	0,68	0,65	0,89	0,52
FeCO <sub>3</sub> (mol.%)	0,09	0,10	0,08	0,04	0,03	0,09	0,07
MnCO <sub>3</sub> (mol.%)	0,01	0,04	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01
As (ppm)	0,6	nest.	nest.	0,2	0,3	0,3	nest.
Ba (ppm)	3	nest.	nest.	2	<2	3	nest.
Cr (ppm)	40	nest.	nest.	40	39	40	nest.
Li (ppm)	0,9	nest.	nest.	0,9	0,9	0,9	nest.
Pb (ppm)	14	nest.	nest.	10	13	12	nest.
Sb (ppm)	0,28	nest.	nest.	0,17	0,14	0,15	nest.
Sr (ppm)	123	nest.	nest.	123	110	126	nest.
Ti (ppm)	<12	nest.	nest.	<12	<12	<12	nest.
Zn (ppm)	4	nest.	nest.	4	3	4	nest.

Tab. 1 - Chemické složení devonských vápenců v Císařské jeskyni. Analyzovali P. Kadlec a I. Zavadilová, MU Brno (parciální analýzy na mokré cestě), laboratoře ČGÚ, Praha (stopové prvky).

Tab. 1 - Chemical composition of Devonian limestones. Analysed by P. Kadlec and I. Zavadilová, MU Brno (partial wet chemical analyses), laboratories of ČGÚ, Praha (trace element composition); n.p. = insoluble residue, nest. = not analysed.



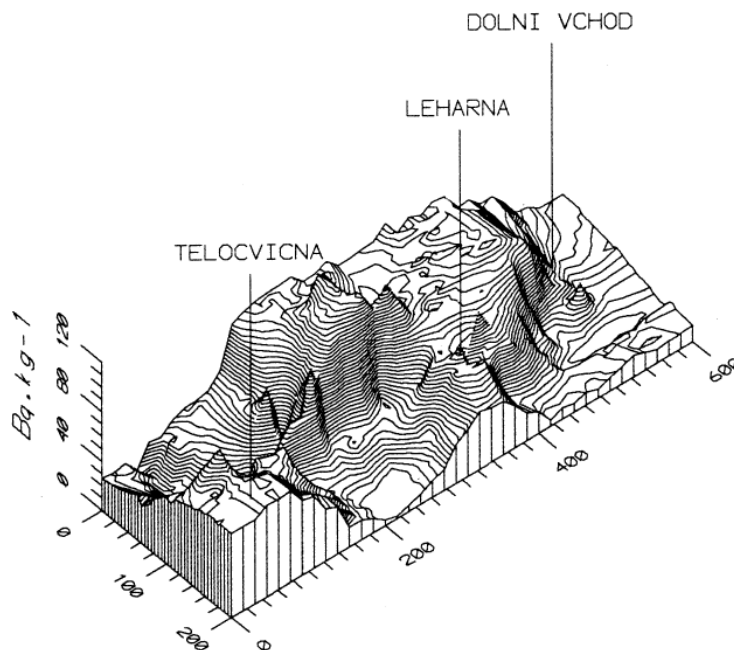
Obr. 1 - Schematický náčrt Císařské jeskyně, distribuce obsahů U a Th v devonských vápencích a vypočtená hmotnostní aktivita ( $a_m$ ).

Fig. 1 - The ground plan of the Císařská Cave, distribution of U and Th contents in Devonian limestones, and calculated mass activities ( $a_m$ ).

Jedním z limitujících faktorů prostředí v podzemních prostorách speleoterapeutických léčeben je jeho přirozená radioaktivita, s níž mohou souviset koncentrace kladně a záporně nabitých atmosferických iontů, které podle současných poznatků patrně značnou měrou pozitivně ovlivňují průběh terapie. Proto byla v celém profilu Císařské jeskyně, a to zejména v úsecích využívaných k pobytu pacientů, provedena v celkem 154 bodech gamaspek-

trometrická měření obsahů přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th). Ke stanovení jejich koncentrací v devonských vápencích a také v jeskynních hlínách a sinterch bylo využito přenosné terénní gamaspektrometrické jednotky RayLab SP Analyser se scintilačním detektorem (výrobce Radtest Výchov).

Vzhledem k tomu, že se na úhrnné gama-aktivitě hornin přirozené radioaktivní prvky uplatňují různou měrou,



Obr. 2 - Prostorový diagram distribuce vypočtených hodnot hmotnostní aktivity ( $a_m$ ) ve vápencích Císařské jeskyně.

Fig. 2 - The distribution space diagram of calculated mass activities ( $a_m$ ) in limestones in the Císařská Cave.

Lokalita/hornina	n	K (%)		U (ppm)		Th (ppm)		a <sub>m</sub> (Bq.kg <sup>-1</sup> )	
		rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø
Císařská j./devonské vápence	130	0,1-1,3	0,5	0,2-6,2	1,7	0,1-5,0	1,7	7-128	45
Císařská j./jeskynní hlíny	13	0,5-3,2	1,3	1,6-10,1	3,4	0,5-12,8	4,5	36-227	99
Císařská j./sintry	11	0,3-0,8	0,6	0,8-4,2	2,4	0,2-4,4	2,2	19-87	55
Sloup/devon.vápence+sintry	40	0-0,6	0,3	1,5-5,4	2,9	0-3,4	0,9	23-88	47
Sloup/jeskynní hlíny	19	0,5-2,3	1,3	1,0-3,1	2,0	1,6-11,4	5,9	37-158	89
Javoříčko/devonské vápence	106	0-0,9	0,3	1,8-12,4	7,1	0-3,6	0,8	28-167	101
Javoříčko/jeskynní hlíny	25	0,2-1,8	0,9	2,1-6,6	4,3	0,9-11,6	4,4	47-142	100
Javoříčko/sintry	38	0-1,0	0,2	0,5-10,3	4,0	0-4,2	0,4	6-133	58
Mladeč/devonské vápence	60	0-1,3	0,3	8,4-46,9	24,7	0,2-10,2	2,9	125-608	328
Mladeč/jeskynní hlíny	28	0,3-3,1	1,6	16,6-47,5	28,3	2,2-21,2	12,3	246-678	455

Poznámka: Obsahy K a Th pod mezí detekce použitého přístroje uvádíme jako „nulové“.

Tab. 2 - Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U, Th) a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a<sub>m</sub>) v devonských vápencích, jeskynních hlínách a sintrech v Císařské jeskyni a v horninovém prostředí dalších speleoterapeutických léčeben na Moravě.

Tab. 2 - Natural radioactive element (K, U, Th) contents and calculated mass activity (a<sub>m</sub>) in Devonian limestones, cave soils and sinters in the Císařská Cave and in the rocks environment of other speleotherapeutic centers in Moravia.

provedli jsme přepočítání naměřených koncentrací K, U a Th na hmotnostní aktivitu ekvivalentu <sup>226</sup>Ra (a<sub>m</sub>), již pak vyjadřujeme gama-aktivitu horninového prostředí. K výpočtu hodnot a<sub>m</sub> jsme použili přepočtové koeficienty podle Lovborga (1984, in Matolín 1992):

$$1 \% \text{ K v hornině} = 313,00 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ } ^{40}\text{K}$$

$$1 \text{ ppm U v hornině} = 12,35 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ } ^{226}\text{Ra}$$

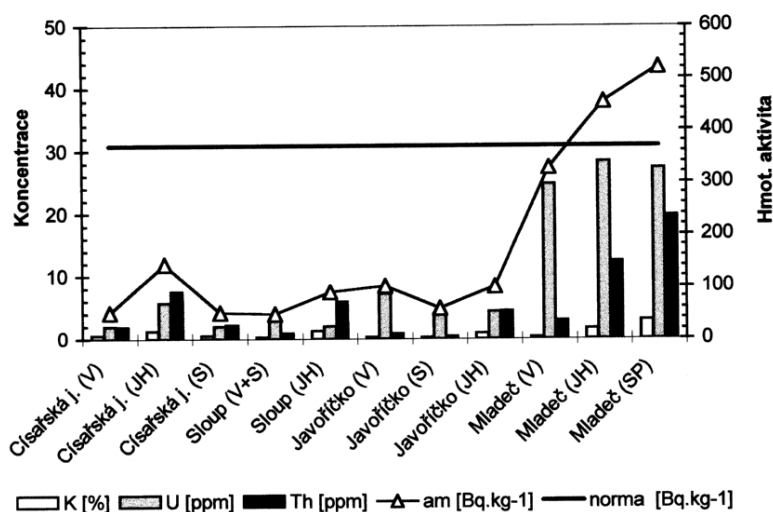
$$1 \text{ ppm Th v hornině} = 4,06 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ } ^{232}\text{Th}$$

Hmotnostní aktivita byla vypočtena pomocí vztahu  $a_m = 12,35U + (1,25 \times 4,06Th) + (0,086 \times 313K)$ , přičemž obsahy U a Th jsou v ppm, obsahy K v hmot. %.

Výsledky gamaspektrometrických měření obsahů uranu a thoria v devonských vápencích a hodnoty hmotnostní aktivity (vypočtené na základě obsahů K, U a Th) jsou graficky znázorněny na obr. 1 a 2. Pro větší názornost jsou na obr. 1 vyznačeny jen izoliny nad 2 ppm

U, nad 2 ppm Th a v případě hmotnostní aktivity nad 60 Bq.kg<sup>-1</sup>. Všechny obrázky zachycují plochu 70x210 m. V úsecích přístupných pacientům byly nejnižší obsahy přirozených radioaktivních elementů v devonských vápencích a následně relativně nízké hodnoty hmotnostní aktivity zjištěny v „tělocvičně“ a „lehárně“. Mírně zvýšené hodnoty všech sledovaných parametrů byly naopak zaznamenány v uměle vyražené spojovací štole.

Výsledky gamaspektrometrických měření jsou sumarizovány v tab. 2, do níž byla zahrnuta i data pocházející z obdobných měření realizovaných v uplynulých letech ve stávajících, resp. připravovaných speleoterapeutických léčebnách na území Moravy. Ze srovnání všech čtyř hodnocených objektů (viz tab. 2 a obr. 3) je zřejmé, že nejnižší průměrné hodnoty hmotnostní aktivity vykazují léčebny situované v Moravském krasu. Současně je však



Obr. 3 - Srovnání gamaspektrometricky stanovených obsahů přirozených radioaktivních prvků a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a<sub>m</sub>) v horninovém prostředí speleoterapeutických léčeben na Moravě. Vysvětlivky: V=vápence (devon), S=sintry, JH=jeskynní hlíny.

Fig. 3 - Comparison of gamma-spectrometrically measured concentrations of radioactive elements and calculated values of the mass activity (a<sub>m</sub>) in the rocks environment of speleotherapeutic centers in Moravia. Explanations: V=limestones (Devonian), S=sinters, JH=cave soils.

nutno konstatovat, že v Císařské jeskyni jsou relativně vysoké koncentrace přirozených radioaktivních elementů v jeskynních hlínách, které však dosud byly studovány mineralogickými a petrografickými metodami jen zcela okrajově a vazba radioaktivních prvků zde zůstává dosud nejasná. Na radioaktivitě prostředí, v němž se pohybují pacienti, se však jeskynní hlíny podílejí jen malou měrou, neboť z těchto částí Císařské jeskyně byly takřka zcela při stavebních úpravách vyklizeny. Obsahy přirozených radioaktivních elementů v sintrech jsou obecně velmi nízké a radioaktivitu prostředí ve sledovaných objektech zásadním způsobem neovlivňují.

Podle Vyhlášky č. 76/92 Sb. platné do 30.6.1997 nesměla v případě pobytových místností přesahovat hmotnostní aktivita vypočtená podle výše uvedené rovnice hodnotu  $370 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , přičemž za pobytové místnosti jsou považovány takové, u nichž součet doby pobytu všech osob v daném prostoru přesahuje 1000 hodin ročně (v této

souvislosti má prostor speleoterapeutické léčebny v Císařské jeskyni povahu pobytové místnosti). Vzhledem k tomu, že stávající Vyhláška č. 184/97 Sb. SÚJB (ze dne 24. 7. 1997) "O požadavcích na zajištění radiační ochrany" není na podzemní prostory ve skalních masivech aplikovatelná, používáme nadále hodnotu  $370 \text{ Bq.kg}^{-1}$  při hodnocení rizikovitosti prostředí za limitní. Výše uvedená hodnota je v zahraničí dosud běžně užívána při hodnocení "pobytových místností" s odkazem na platné normy OECD. Námí provedená gamaspektrometrická měření prokázala, že celý prostor Císařské jeskyně je z hlediska radioaktivity horninového prostředí vhodný k provádění speleoterapie. Vzhledem k tomu, že maxima hmotnostní aktivity zde dosahují zhruba třetiny normou stanovené hodnoty, nemůže radioaktivita horninového prostředí negativně ovlivnit ani zdravotní stav perzonálu, jenž v Císařské jeskyni pobývá dlouhodobě (provoz tohoto zařízení je celoroční).

#### Literatura:

Matolín, M. (1992): Stanovení radonového rizika z geologického podloží. MS. UK. Praha.

Štelcl, J. - Zimák, J. (1998): Sedimentárně petrografické a geochemické studium Javoříčských jeskyní. Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 83, 97-108. Brno.

## VYUŽITÍ RTG PRÁŠKOVÉ DIFRAKCE PRO STANOVENÍ CHEMICKÉHO SLOŽENÍ MINERÁLŮ ŘADY ZIRKONU

The estimation of zircon-group minerals composition using X-ray powder diffraction

Václav Vávra

Katedra mineralogie, petrologie a geochemie, PřF MU Brno, Kotlářská 2, 611 37 Brno, e-mail: vavra@sci.muni.cz

**Key words:** zircon-group, X-ray powder diffraction, modelled patterns

#### Abstract:

Calculated XRD powder patterns for sixty solid solutions in zircon-thorite-hafnium ternary system were used to provide the schematic identification diagram for the composition of zircon-group minerals. The diagram is based on the changes of calculated diffraction angle  $2\theta$  (diffraction 200 plane) and of the integral intensity ratio of the 101 and 200 reflections ( $I_{101}/I_{200}$ ).

Obecné složení minerálů řady zirkonu je možné vyjádřit chemickým vzorcem  $XZO_4$ , kde Z je tetraedricky vázaný kationt (zpravidla Si nebo P) a X je kationt v dvacítičetné koordinaci (zpravidla Zr, Th, Hf, U nebo REE). Základní buňka obsahuje 4 vzorcové jednotky ( $Z = 4$ ).

Struktura minerálů řady zirkonu odpovídá neso-

silikátům, kdy jednotlivé tetraedry  $\text{SiO}_4$  jsou vzájemně propojovány přes dodekaedricky koordinované kationty X. Detaily struktury byly řešeny řadou autorů jako např. Fuchs a Gebert (1958), Finger (1974), Taylor a Eving (1978) nebo Hazen a Finger (1979).

Fázové vztahy a možnosti izomorfního zastupování