

PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ SPELEOTERAPEUTICKÝCH LÉČEBEN V CÍSAŘSKÉ JESKYNĚ A SLOUPSKO-ŠOŠŮVSKÝCH JESKYNÍCH (MORAVSKÝ KRAS, ČESKÁ REPUBLIKA)

Natural radioactivity in the environment of the speleotherapeutic centres in the Císařská Cave and the Sloup-Šošůvka Caves (Moravian Karst, Czech Republic)

Jindřich Štelcl^{1,2}, Jiří Zimák³

¹ Ústav geologických věd PŘF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: stelcl@sci.muni.cz

² Katedra biologie PedF MU, Poříčí 7, 603 00 Brno

³ Katedra geologie PŘF UP Olomouc, tř. 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc; e-mail: zimak@prfnw.upol.cz

(24-23 Protivanov)

Key words: Moravian Karst, natural radioactivity, gamma spectrometry, Devonian limestones, cave sediments

Abstract

The article summarizes results on gamma-spectrometry of rocks (both field and laboratory) in the speleotherapeutic centres in the Císařská Cave and Sloup-Šošůvka Caves (Moravian Karst). Based on the mean value of mass activity equivalent ²²⁶Ra about 125 Bq kg⁻¹, clastic sediments (cave soils and fluvial sediments) were identified as main source of natural radioactivity in both the caves. The concentrations of individual elements were 1.7 wt. % K, 2.2 ppm U, and 11 ppm Th on average.

Úvod

Jedním z předpokládaných léčebných faktorů uplatňujících se při speleoterapii je radioaktivita jeskynního prostředí. Za její hlavní zdroje jsou považovány radon v jeskynní atmosféře a radiogenní izotopy v okolních horninách. Přirozená radioaktivita je jednou ze základních fyzikálních vlastností hornin. Souvisí s přítomností asi třiceti přirozených radionuklidů s poločasem přeměny většinou než 10⁹ roků, které jsou v zemské kůře rozptýleny v různém množství a koncentracích. Vzhledem ke své gama aktivitě patří k nejběžnějším z nich K, U a Th, ostatní radionuklidy se na aktivitě podílejí hodnotami zhruba o 3–17 řádů nižšími. Jejich vliv na životní prostředí je tak zanedbatelný.

Přes řadu detailních poznatků, které máme v současnosti o radioaktivitě hornin zemské kůry k dispozici, jsou údaje týkající se radioaktivity horninového prostředí krasových území v literatuře spíše ojedinělé. Dosavadní výzkumy se ve většině případů orientují převážně na problematiku radonu, zatímco studium radioaktivity samotného horninového prostředí jako jednoho z předpokládaných zdrojů radonu bylo doposud opomíjeno.

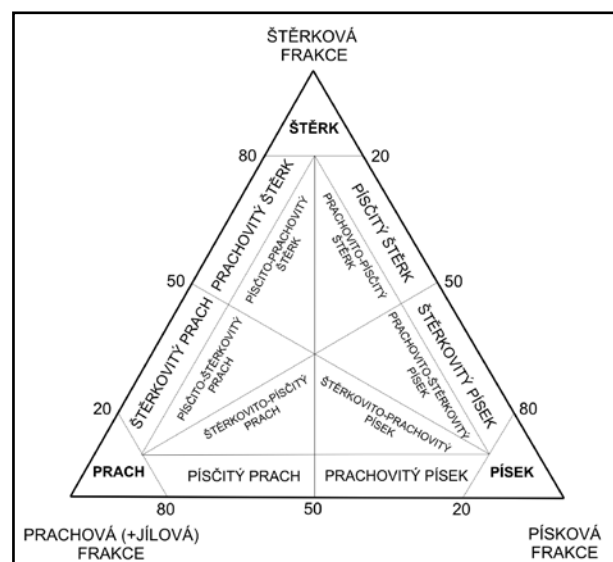
Z výše uvedeného důvodu bylo v letech 2001–2009 uskutečněno podrobné gamaspektrometrické studium horninového prostředí dvou jeskyní v severní části Moravského krasu: Císařské jeskyně a části Sloupsko-šošůvských jeskyní, patřících společně s jeskyní Kůlnou k jednomu z celosvětově významných kulturně-historických a archeologických lokalit. V terénní etapě výzkumu bylo provedeno měření koncentrací K, U a Th ve vápencích, klastických jeskynních sedimentech a sintrech. Získané výsledky byly následně ověřeny laboratorní gamaspektrometrií.

Použité metody

Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th) v horninovém prostředí obou jeskyní byly analy-

zovány terénní gamaspektrometrií (provedeno 798 měření pomocí gamaspektrometru GS-256) a následně ověřovány laboratorní gamaspektrometrií (celkem 87 měření pomocí gamaspektrometru SG-LAB1000 na PŘF UP Olomouc). Z výsledků gamaspektrometrických měření byla stanovena hmotnostní aktivita ekvivalentního množství ²²⁶Ra, vypočtená na základě vztahu:

$$a_m = 12,35U + (1,43 \times 4,06Th) + (0,077 \times 313K),$$



Obr. 1: Diagram prachová (+ jílová) frakce – písková frakce – štěrková frakce použitý ke klasifikačnímu zařazení klastických jeskynních sedimentů z Císařské jeskyně a ze Sloupsko-šošůvských jeskyní (upraveno podle Konty 1969).

Fig. 1: Diagram – silt grains (+clay particles) – sand grains – fragments > 2 mm – used for classification of clastic cave sediments in the Císařská Cave and Sloup-Šošůvka Caves (modified after Konta 1969).

do něhož jsou obsahy K dosazovány v %, obsahy U a Th v ppm (viz např. Lovborg 1984, Štelcl a Zimák 2006). Zrnitostní složení klastických jeskynních sedimentů bylo stanoveno metodou síťování za sucha.

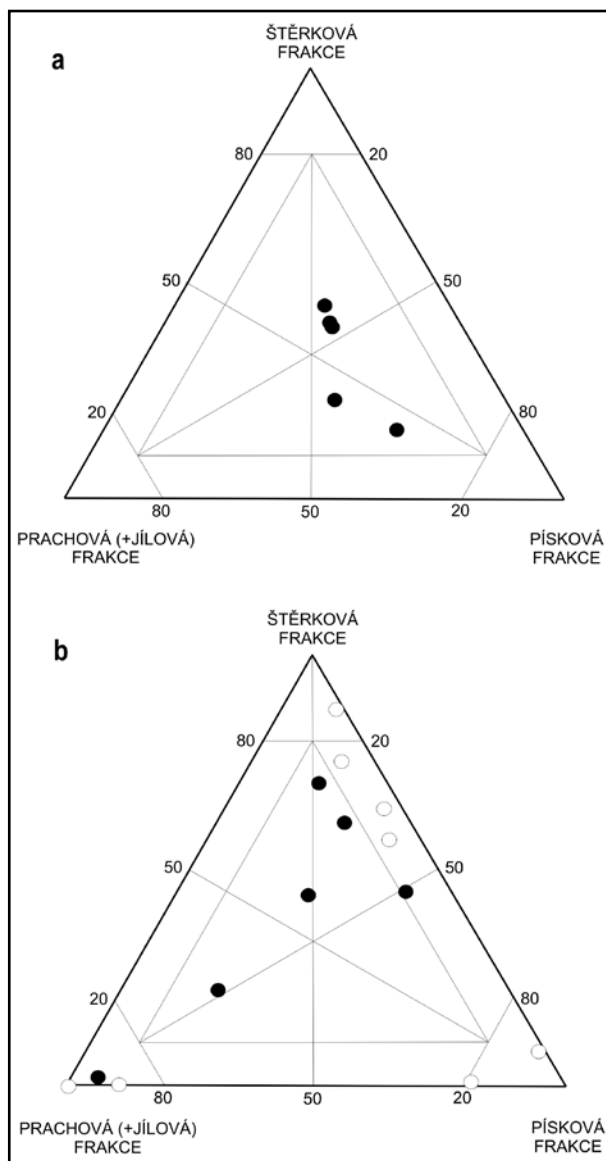
Horninové prostředí jeskyní

Horninové prostředí obou jeskyní tvoří relativně velmi čisté devonské vápence svrchní části macošského souvrství (ukládaly se zhruba před 380 miliony lety na rozhraní středního a svrchního devonu – vilémovické vápence). Mladší jeskynní výplně mají charakter klastických sedimentů různé geneze a speleotémů. V Císařské jeskyni mají klastické sedimenty povahu jeskynních hlín, zpravidla červenohnědé, hnědé či šedohnědé barvy. Všechny studované vzorky jeskynních hlín z Císařské jeskyně svým charakterem odpovídají polystrukturním

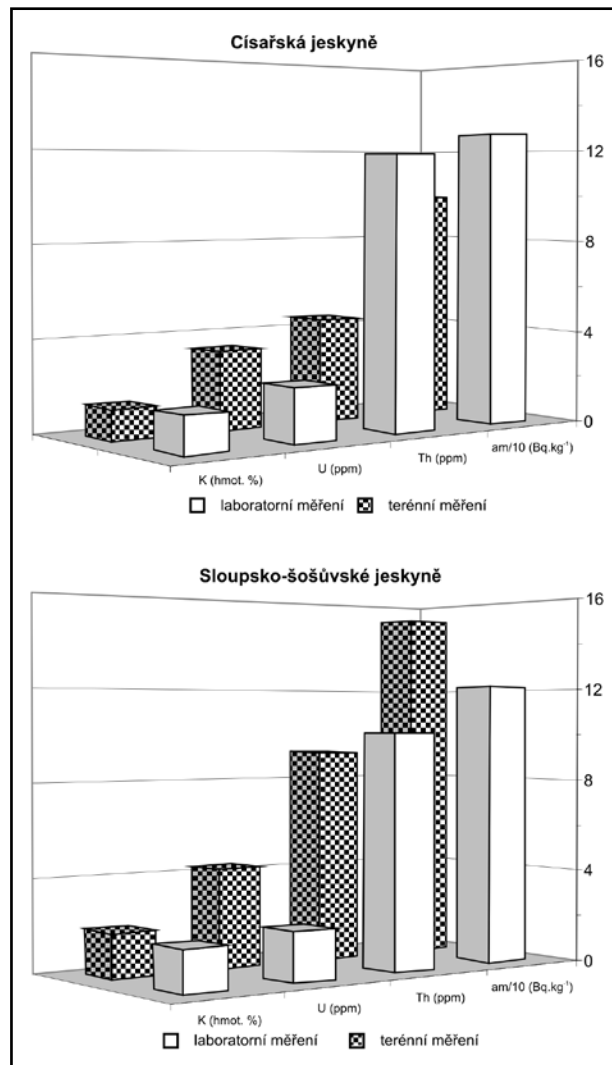
sedimentům (obr. 1) se středním stupněm propustnosti, které byly zrnitostně klasifikovány jako prachovito-písčité šterk nebo šterkovito-prachovitý písek (obr. 2).

V systému Sloupsko-šošůvských jeskyní jsou klastické jeskynní sedimenty zastoupeny jak jeskynními hlínami, tak fluvialními sedimenty. Fluvialní sedimenty jsou nejčastěji šedohnědé, žlutohnědé nebo okrově hnědé, jeskynní hlíny mohou mít i barvu červenohnědou. Fluvialní sedimenty jsou zrnitostně velmi dobře vytříděné. Ve většině případů jde o horniny řady prach-písek a písek-šterk (viz obr. 2).

Karbonátové speleotémy jsou ve Sloupsko-šošůvských jeskyních tvořeny velmi čistým CaCO₃ (99,4–99,6 hmot. %) s malým podílem nekarbonátové složky (0,1–0,4 hmot. %). V sintrech z Císařské jeskyně rovněž dominuje CaCO₃, podíl nekarbonátové složky je však poněkud vyšší (až 2,5 hmot. %). Podrobnější charakteristiku horninového prostředí obou jeskyní uvádí Štelcl a Zimák (2006).



Obr. 2: Zrnitostní složení klastických jeskynních sedimentů: a – Císařská jeskyně, b – Sloupsko-šošůvské jeskyně (světlé kroužky = fluvialní sedimenty, tmavé kroužky = jeskynní hlíny).
Fig. 2: Grain size of clastic cave sediments: a – the Císařská Cave, b – the Sloup-Šošůvka Caves (open circles = fluvial sediments, full circles = cave soils).



Obr. 3: Srovnání výsledků terénních a laboratorních gama-spektrometrických analýz klastických jeskynních sedimentů z Císařské jeskyně a Sloupsko-šošůvských jeskyní.
Fig. 3: Comparison of the results on field and laboratory gamma-spectrometry of clastic sediments of the Císařská Cave and the Sloup-Šošůvka Caves.

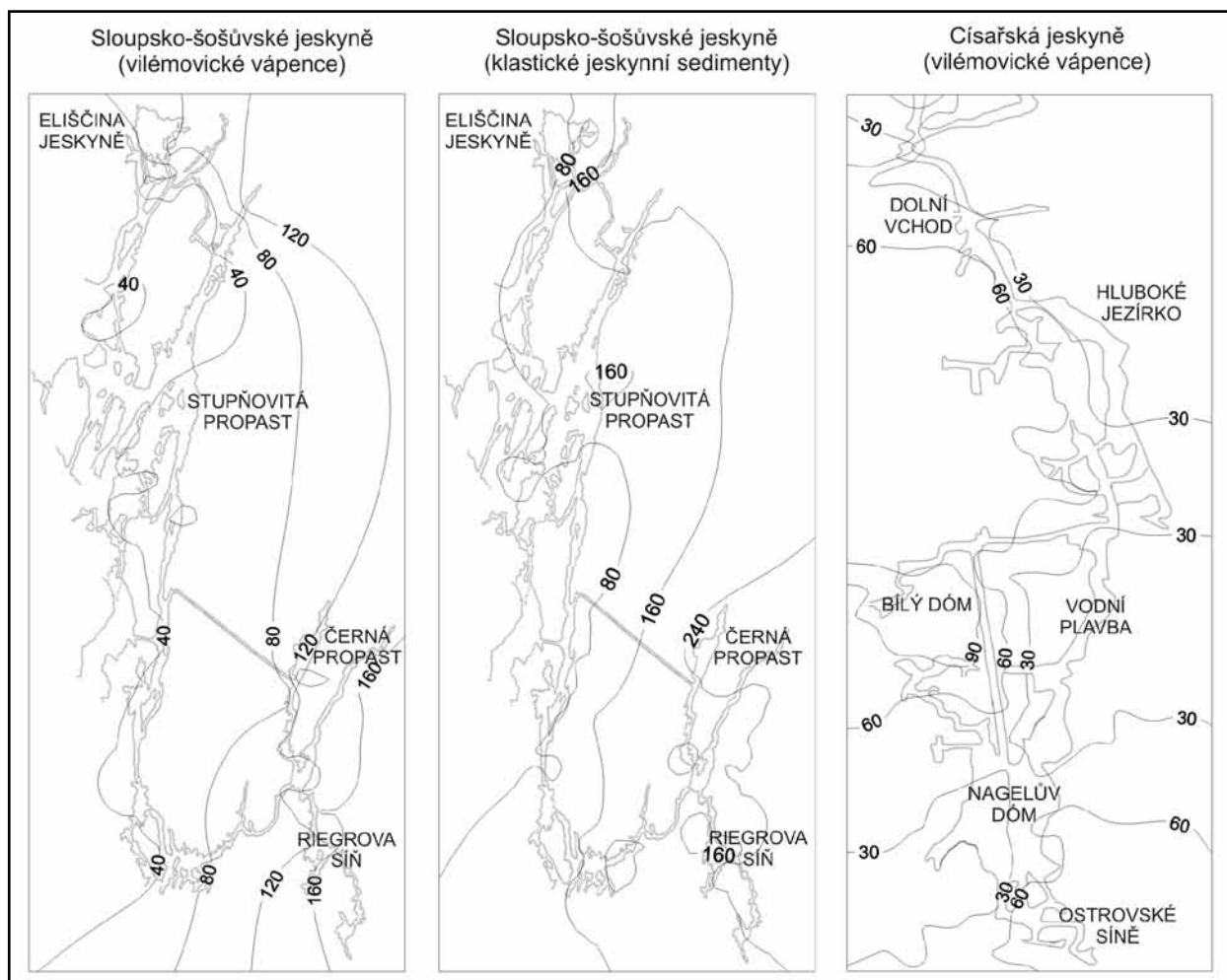
lokalita / hornina	n	K (hmot. %)		U (ppm)		Th (ppm)		am (Bq.kg ⁻¹)	
		rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø
<i>Sloupsko-šošůvské jeskyně</i>									
vápence	203	0–2,1	0,6	0–10,1	2,4	0–12,2	1,8	5–189	55
sintry	39	0–1,5	0,5	0,6–10,0	3,3	0–6,5	1,6	18–153	62
klastické jesk. sed.	383	0,1–4,4	1,9	0,1–15,8	4,3	0–21,6	9,2	6–345	152
<i>Císařská jeskyně</i>									
vápence	130	0,1–1,3	0,5	0,2–6,2	1,7	0,1–5,0	1,7	7–125	43
sintry	32	0,1–0,9	0,4	0,8–4,2	2,2	0–4,4	1,3	15–88	46
klastické jesk. sed.	13	0,5–3,2	1,3	1,6–10,1	3,4	0,5–12,8	4,5	35–231	99

Tab. 1: Výsledky terénních gamaspektrometrických analýz vápenců, sintrů a klastických jeskynních sedimentů z Císařské jeskyně a Sloupsko-šošůvských jeskyní.
Tab. 1: Results on field gamma-spectrometry of limestones, sintrers and clastic cave sediments of the Císařská Cave and the Sloup-Šošůvka Caves.

lokalita / hornina	n	K (hmot. %)		U (ppm)		Th (ppm)		am (Bq.kg ⁻¹)	
		rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø
<i>Sloupsko-šošůvské jeskyně</i>									
vápence	22	< 0,5		< 1,5		< 1,5			
sintry	11	< 0,5		< 1,5		< 1,5–1,6			
klastické jesk. sed.	25	0,9–2,4	1,8	< 1,5–2,8	2,1	5,1–13,4	10,1	< 66–147	121
<i>Císařská jeskyně</i>									
vápence	12	< 0,5		< 1,5		< 1,5			
sintry	7	< 0,5		< 1,5		< 1,5–1,6			
klastické jesk. sed.	10	1,1–1,9	1,6	< 1,5–3,2	2,3	7,0–14,8	11,8	89–150	127

Tab. 2: Výsledky laboratorních gamaspektrometrických analýz vápenců, sintrů a klastických jeskynních sedimentů z Císařské jeskyně a Sloupsko-šošůvských jeskyní.

Tab. 2: Results on laboratory gamma-spectrometry of limestones, sintrers and clastic cave sediments of the Císařská Cave and the Sloup-Šošůvka Caves.



Obr. 4: Distribuce hodnot hmotnostní aktivity ve vápencích a klastických jeskynních sedimentech v systému Sloupsko-šošůvských jeskyní a v Císařské jeskyni.

Fig. 4: Distribution of the mass activity value of equivalent number of ²²⁶Ra in limestones and clastic cave sediments in the Císařská Cave and the Sloup-Šošůvka Caves (Eliščina jeskyně = Eliška's Cave, Stupňovitá propast = Levelled Abyss, Černá propast = Black Abyss, Riegrova síň = Riegr's Hall, Dolní vchod = Lower Entrance, Hluboké jezírko = Deep Lake, Bílý dóm = White Dome, Vodní plavba = Water Route, Nagelův dóm = Nagel's Dome, Ostrovské síně = Ostrov Halls).

Výsledky studia přirozené radioaktivity

Výsledky všech provedených terénních i laboratorních gamaspektrometrických měření jsou sumarizovány v tab. 1 a 2. Z uvedených dat vyplývá, že přirozená radioaktivita horninového prostředí je v obou speleoterapeutických léčebnách relativně nízká vzhledem ke klarkovým hodnotám sledovaných prvků. V rámci obou studovaných jeskyní vykazují nejvyšší přirozenou radioaktivitu klastické jeskynní sedimenty (jeskynní hlíny i sedimenty fluvialního původu) s průměrnou hmotnostní aktivitou kolem $125 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. I nejvyšší námi zjištěné obsahy draslíku, uranu i thoria však lze vzhledem k podklarkovým hodnotám považovat za relativně nízké. Laboratorní gamaspektrometrická měření potvrdila, že získané terénní výsledky mohou s dostatečnou správností charakterizovat přirozenou radioaktivitu horninového prostředí obou sledovaných léčeben (obr. 3).

Ve Sloupsko-šošůvských jeskyních byly při terénních měřeních zaznamenány relativně vysoké obsahy uranu (a následně i vyšší hodnoty hmotnostní aktivity) v úsecích s velkými objemy klastických jeskynních sedimentů (uměle vykopaná spojovací chodba ve Sloupské části jeskyní, okolí Stupňovité propasti, Černé propasti a Riegrový síně). V těchto úsecích lze současně předpokládat i zvýšené koncentrace radonu v jeskynní atmosféře, což může ovlivnit výsledky gamaspektrometricky stanoveného uranu směrem k vyšším hodnotám. Tento vliv zvýšených koncentrací radonu ve speleoatmosféře na výsledky terénních

gamaspektrometrických stanovení uranu v jeskyních Moravského krasu již diskutují Štelcl a Zimák (2006). Nově se srovnáváním výsledků terénních gamaspektrometrických měření a laboratorních gamaspektrometrických měření v této oblasti zabývala Krajsová (2010). V případě klastických sedimentů Sloupsko-šošůvských jeskyní lze podle Krajsové (2010) konstatovat dosti dobrou shodu u draslíku a thoria (u obou prvků jsou výsledky terénních měření v průměru nepatrně vyšší než měření laboratorních); v případě uranu jsou však v terénu naměřené hodnoty výrazně vyšší – zatímco průměrný obsah uranu v klastických sedimentech Sloupsko-šošůvských jeskyní je na základě terénních měření 4,3 ppm, laboratorní měření poskytla průměrnou hodnotu jen 2,2 ppm, což je hodnota víceméně klarková. V Císařské jeskyni byly relativně zvýšené hodnoty přirozených radioaktivních prvků zjištěny v Bílém dómu, v prostoru Hlubokého jezírka a Ostrovských síní (obr. 4). Provedený výzkum neprokázal výraznější rozdíly mezi radioaktivitou fluvialních sedimentů a klastických sedimentů speleogenní povahy.

Příspěvek byl vypracován za finanční podpory výzkumného záměru MSM0021622427 „Interdisciplinární centrum výzkumů sociálních struktur pravěku až vrcholného středověku. Archeologický terénní a teoretický výzkum, využití přírodních věd, metodologie a informatika, ochrana kulturního dědictví“.

Literatura

- Konta, J. (1969): Quantitative analytical petrological classification of sedimentary rocks. – Acta Univ. Carol., Geol. 3, 175–253. Praha.
- Krajsová, L. (2010): Složení fluvialních sedimentů Moravského krasu. – MS, diplomová práce, PřF UP Olomouc.
- Lovborg, L. (1984): The calibration of portable and airborne gamma-ray spectrometers – theory, problems, and facilities. – Risø National Lab. Rep., M-2456, Risø, Denmark.
- Štelcl, J. – Zimák, J. (2006): Přirozená radioaktivita horninového prostředí v jeskyních Moravského krasu. 1–127, Vydavatelství UP, Olomouc.