

PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ HARMANECKÉ JESKYNĚ

Jiří Zimák – Jindřich Štelcl – Juraj Hlaváč

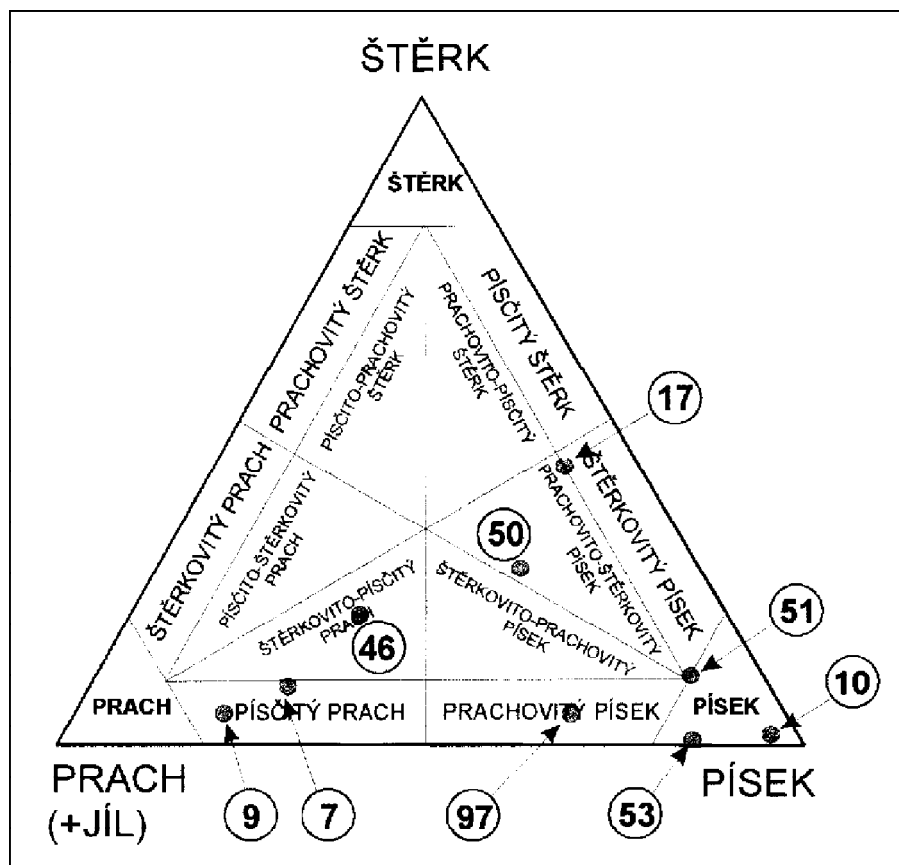
Přirozená radioaktivita je jedním z významných fyzikálních parametrů horninového prostředí krasu. Radioaktivita karbonátových hornin (vápenců, dolomitů a také sintrů) je zpravidla relativně nízká. Zvýšenou přirozenou radioaktivitu často vykazují siliciklastické jeskynní sedi-

menty (označované obvykle jako „jeskynní hlíny“), a to zejména v případech, kdy je jejich podstatnou součástí klastický materiál pocházející z krystalinika (např. z granitoidů).

Tento článek se zabývá přirozenou radioaktivitou hornin v prostoru Harmanecké jeskyně,

situované v jižní části Velké Fatry. Základní údaje o geologických poměrech Harmanecké jeskyně, její morfolologii, genezi i o charakteru jeskynních výplní uvádí např. Bella (2000).

Harmanecká jeskyně vznikla krasověním středně triasových gutensteinských vápenců



Obr. 1. Pozice studovaných jeskynních hlín v modifikovaném klasifikačním diagramu prach – písek – štěrky podle Konty (1969). / Fig. 1. Location of cave soils in the modified triangular diagram silt-sand-gravel after Konta (1969).

chočského příkrovu. Výsledky chemických analýz dokládají, že jde o dolomitické vápence s relativně nízkým podílem dolomitu (viz tab. 1, vzorky č. 1 až 4). Z analýzy jednoho vzorku sintru je zřejmé, že je tvořen převážně uhličitánem vápenatým (viz tab. 1, vzorek č. 5). Siliciklastické horniny jsou v Harmanecké jeskyni zastoupeny hlavně fluviálními sedimenty (hlavně v prostoru Riečiska a Nánosové chodby) a deluviálními sedimenty (ty tvoří dejekční kužely pod komíny komunikujícími s povrchem, nacházejí se ve výplni puklin, v depresích a nesouvisle pokrývají dno chodeb). Ve vlhkém stavu mají tyto sedimenty světle hnědou až hnědou barvu. Klasickou síťovou metodou bylo v devíti vzorcích „jeskynních hlín“ z Nánosové chodby, Riečiska a Dómu pagod stanoveno kvantitativní zastoupení tří zrnitostních frakcí (jílová a prachová pod 0,063 mm, písčité v rozmezí 0,063 až

2 mm, štěrkové frakce s velikostí úlomků nad 2 mm). Pokud byly v jeskynních sedimentech přítomny klasty větší než 3–4 cm, byly odstraněny již při odběru vzorku (klasty větších rozměrů jsou běžně přítomny v deluviálních sedimentech). Na základě provedených zrnitostních analýz lze studované sedimenty klasifikovat za použití modifikovaného Kontova trojkomponentního klasifikačního diagramu prach – písek – štěrky (viz Konta 1969), kdy jsou do kategorie prachu začleněny všechny částice o velikosti pod 0,063 mm. Pak siliciklastické sedimenty z Harmanecké jeskyně spadají do pole písčitého prachu, štěrkovito-písčitého prachu, prachovitého písku, písku, štěrkovitého písku a prachovito-štěrkovitého písku (obr. 1). V případě dvou vzorků s vyšším podílem frakce pod 0,063 mm bylo provedeno alespoň orientační stanovení podílu jílové frakce. Výsledky naznačují, že

v obou vzorcích převažuje prachová frakce nad jílovou, a proto lze i tyto vzorky klasifikovat v uvedeném diagramu.

Pomocí terénního gamaspektrometru GS-256 (výrobce Geofyzika Brno) byla v celé přístupné části Harmanecké jeskyně provedena gamaspektrometrická měření obsahů přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th) v triasových vápencích a také v siliciklastických sedimentech a sintrech. Obsahy uvedených prvků byly sledovány na celkem 101 bodech (viz Zimák – Štelcl – Hlaváč 2001). Z gamaspektrometricky stanovených koncentrací K, U a Th byla vypočtena hmotnostní aktivita ekvivalentu ^{226}Ra (a_m), již pak vyjadřujeme gama-aktivitu horniny ve sledovaném bodě. K získání hodnot a_m byly použity přepočtové koeficienty podle Lovborga (1984 – fide Matolín 1992):

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

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

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

Hmotnostní aktivita byla vypočtena pomocí vztahu:

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

do něž jsou obsahy U a Th dosazovány v ppm, obsahy K v hmot. %.

Výsledky gamaspektrometrických měření obsahů uranu a thoria na triasových vápencích a hodnoty hmotnostní aktivity (na základě obsahů K, U a Th) jsou znázorněny na obr. 2. Stanovené obsahy K a Th v triasových vápencích jsou velmi nízké. Na radioaktivitě těchto hornin se podílí hlavně uran. Jeho nejvyšší koncentrace a následně i maximální hodnoty hmotnostní aktivity byly zaznamenány ve střední části systému Harmanecké jeskyně, a to v prostoru Vysokého dómu, Nánosové chodby, Riečiska a Dómu pagod (maxima 23,7 ppm U, 300 Bq.kg⁻¹). Na obr. 3 je distribuce uranu a hmotnostní aktivity v triasových vápencích vyjádřena v prostorových diagramech.

Výsledky gamaspektrometrických měření v Harmanecké jeskyni jsou sumarizovány v tab. 2. Pro srovnání byly do této tabulky začleněny i výsledky měření realizovaných v uplynulých letech v některých veřejnosti přístupných jeskyních provozovaných SSJ.

Z výsledků gamaspektrometrických měření v prostoru Harmanecké jeskyně je zřejmé, že přirozená radioaktivita všech tří sledovaných horninových typů je velmi nízká. Vypočtená hmotnostní aktivita ani v jediném proměřovaném bodě nedosáhla hodnoty 370 Bq.kg⁻¹ (limitní hodnota uváděná v normách zemí OECD pro tzv. „pobytové místnosti“, za něž lze považovat i veřejnosti přístupné jeskyně). Radioaktivita horninového prostředí Harmanecké jeskyně by tedy neměla negativně působit na její návštěvníky a ani na zaměstnance SSJ, kteří v jeskyni tráví značnou část pracovní doby.

V závislosti na zrnitostním složení mají studované siliciklastické sedimenty variabilní propustnost ve vztahu k radonu (nízkou až vysokou). Vzhledem ke střední až vysoké propustnosti většiny vzorků a vzhledem k mírně zvýšeným obsahům uranu je nutno tyto sedimenty považovat za potenciálně významný zdroj ^{222}Rn , jenž by se mohl lokálně hromadit v jeskynní atmosféře. Lokálně jsou v jeskynním systému přítomny triasové vápence s poměrně vysokým obsahem uranu (až 24 ppm), které je rovněž nutno považovat za významný zdroj radonu, obdobná situace je i v případě sintru. I z toho důvodu lze monitorování koncentrací radonu v Harmanecké jeskyni považovat za účelné.

Tab. 1. Chemismus triasových vápenců (vzorky č. 1 až 4) a sintru (vzorek č. 5) z Harmanecké jeskyně (n. p. = nerozpustný podíl); přepočítání na hlavní karbonátové molekuly.

Table 1. Chemistry of Triassic limestones (Samples Nos 1 to 4) and sinter (Sample No 5) from the Harmanec Cave (n. p. = insoluble residue); conversion into main carbonate molecules.

Vzorek číslo	1	2	3	4	5
CaO (hmot. %)	52,41	51,00	50,56	49,08	55,30
MgO (hmot. %)	2,86	3,89	4,43	5,42	0,15
FeO (hmot. %)	0,06	0,18	0,04	0,04	0,05
MnO (hmot. %)	0,003	0,004	0,002	0,002	0,001
SiO (hmot. %)	0,006	0,011	0,031	0,031	0,001
n. p. (hmot. %)	0,30	0,31	0,38	0,50	0,95
CaCO ₃ (mol. %)	92,87	90,18	89,09	86,63	99,55
MgCO ₃ (mol. %)	7,05	9,57	10,86	13,31	0,38
FeCO ₃ (mol. %)	0,08	0,25	0,06	0,06	0,07

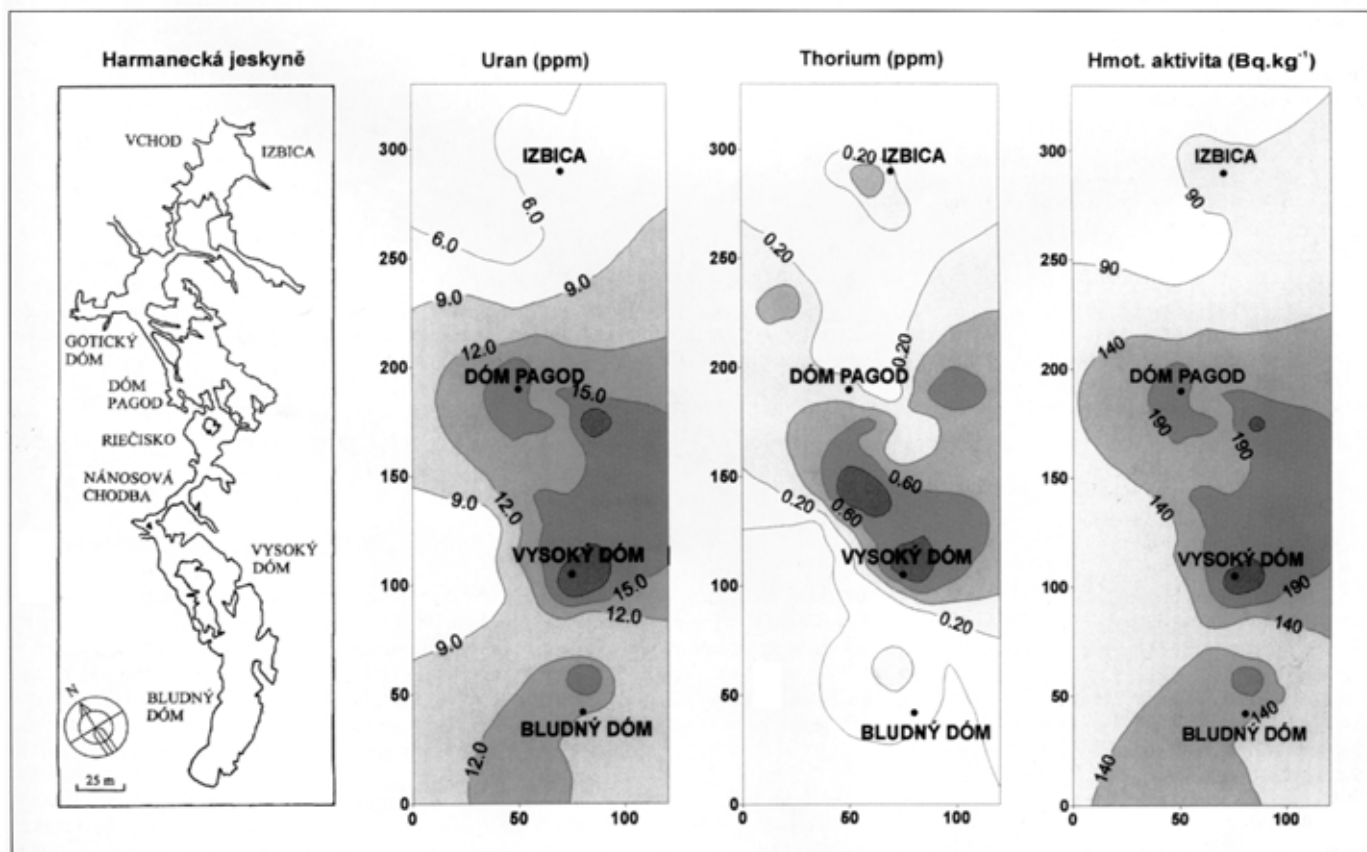
Vzorky triasových vápenců byly odebrány v Gotickém dómu (č. 1), Dómu pagod (č. 2), Vysokém dómu (č. 3) a Riečisku (č. 4), vzorek sintru pochází z Gotického dómu (č. 5); analytik P. Kadlec (PřF MU Brno).

Tab. 2. Obsahy prirodzených radioaktívnych prvků (K, U, Th) a vypočtená hmotnostní aktivita (a_m) v mezozoických vápencích, sintrech a siliciklastických sedimentech ve vybraných jaskyních na Slovensku.

Table 2. Natural radioactive element (K, U, Th) contents and calculated mass activity (a_m) in the Mesozoic limestones, sinters and siliciclastic sediments in selected caves in Slovakia.

Lokalita /homina	n	K (%)		U (ppm)		Th (ppm)		a_m (Bq.kg ⁻¹)	
		rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø
<i>Harmanecká jaskyňa</i>									
Triasové karbonátové hominy	58	0-0,3	0,1	3,2-23,7	12,0	0-1,2	0,2	42-300	150
Sinty	32	0-0,3	0,1	3,0-19,9	10,1	0-1,2	0,2	38-250	127
Siliciklastické sedimenty	11	0,2-0,9	0,6	7,9-14,2	10,4	1,3-5,5	3,4	131-213	163
<i>Demänovská ľadová jaskyňa</i>									
Triasové karbonátové hominy	17	0,1-0,6	0,3	1,3-4,5	2,7	0-1,6	0,4	18-78	43
Sinty	5	0-0,1	0	1,4-2,5	2,0	0	0	17-33	26
<i>Demänovská jaskyňa mieru</i>									
Triasové karbonátové hominy	22	0-1,7	0,5	6,9-23,1	12,7	0-5,0	1,5	104-304	178
Sinty	13	0-0,5	0,3	7,3-17,9	13,0	0-2,5	1,0	93-241	173
Siliciklastické sedimenty	6	0,6-2,1	1,5	9,8-18,6	13,0	3,1-9,5	6,0	188-270	232
<i>Demänovská jaskyňa slobody</i>									
Triasové karbonátové hominy	40	0-1,7	0,7	3,6-16,4	9,3	0-5,9	1,8	52-225	142
Sinty	17	0-1,1	0,4	4,4-21,2	11,3	0-3,9	1,4	58-277	159
Siliciklastické sedimenty	20	1,2-3,4	2,4	10,4-27,1	14,5	4,0-12,0	7,7	208-436	282
<i>Bystrianska jaskyňa</i>									
Triasové karbonátové hominy	44	0,1-1,8	0,7	5,9-22,3	14,3	0,3-9,2	2,7	89-366	209
Sinty	8	0,1-0,8	0,3	7,9-31,3	14,4	0-3,7	1,5	108-418	194
Siliciklastické sedimenty	10	1,7-3,5	2,6	9,3-21,6	15,9	8,7-17,3	12,2	236-452	329
<i>Jaskyňa Driny</i>									
Křídové karbonátové hominy	40	0,2-0,9	0,5	0,8-3,8	2,2	0,4-3,2	1,7	27-76	50
Sinty	15	0,1-0,5	0,3	1,0-3,3	2,0	0-2,5	0,8	15-56	37
Siliciklastické sedimenty	8	0,8-2,3	1,3	1,7-3,5	2,6	2,9-10,6	6,0	71-160	99

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



Obr. 2. Schématický náčrt Harmanecké jaskyně, distribuce obsahu uranu a thoria v triasových vápencích a vypočtená hmotnostní aktivita (a_m). / Fig. 2. Ground plan of the Harmanecká Cave, distribution of uranium and thorium contents in Triassic limestones, and calculated mass activities (a_m).

Koncentrace K, U a Th byly gamaspektrometricky sledovány i na výchozech triasových vápenců nad jeskynním systémem. Na 11 bodech zde bylo zjištěno 0 – 0,4 hm. % draslíku (průměr 0,1 hm. % K), 1,2 – 2,8 ppm uranu (průměr 2,0 ppm U), 0 – 1,2 ppm thoria (průměr 0,3 ppm Th); hodnoty vypočtené hmotnostní aktivity jsou jen 16 – 41 Bq.kg⁻¹ (průměr 28 Bq.kg⁻¹). Je zřejmé, že obsahy K a Th v triasových vápencích v jeskynním systému a ve výchozech nad ním jsou v podstatě shodné. Zcela odlišná je situace v případě uranu, kdy jeho průměrná koncentrace naměřená na triasových vápencích v jeskynním systému je přibližně šestinásobná ve srovnání s vápenci ve výchozech. Tyto výrazné rozdíly v obsazích uranu v triasových vápencích mohou samozřejmě souviset s jejich primární litologií a procesy předcházejícími tvorbě krasu. V případě výrazně zvýšených koncentrací uranu je však nápadné, že tyto byly zjištěny pouze v některých úsecích jeskynního systému. Je proto pravděpodobné, že tyto pozitivní uranové anomálie jsou výsledkem karstifikačních procesů a že k obohacení vápenců uranem dochází ve freatické zóně, zřejmě díky rozpadu uranyl-karbonátových komplexních iontů a adsorpci uranylu např. na oxid-hydroxidy Fe a Mn, jílové minerály apod. Na lokální zvýšení obsahu uranu ve vápencích přítomných v některé části jeskynního systému ukazují i výsledky výzkumu (např. Zimák a Štelcl 2001) v prostoru Moravského krasu (Sloupsko-šošůvské jeskyně, jeskyně Býčí skála), Javoříčského krasu, Mladečského krasu, v Bystrianské jeskyni i v jeskyních Demänovské doliny.

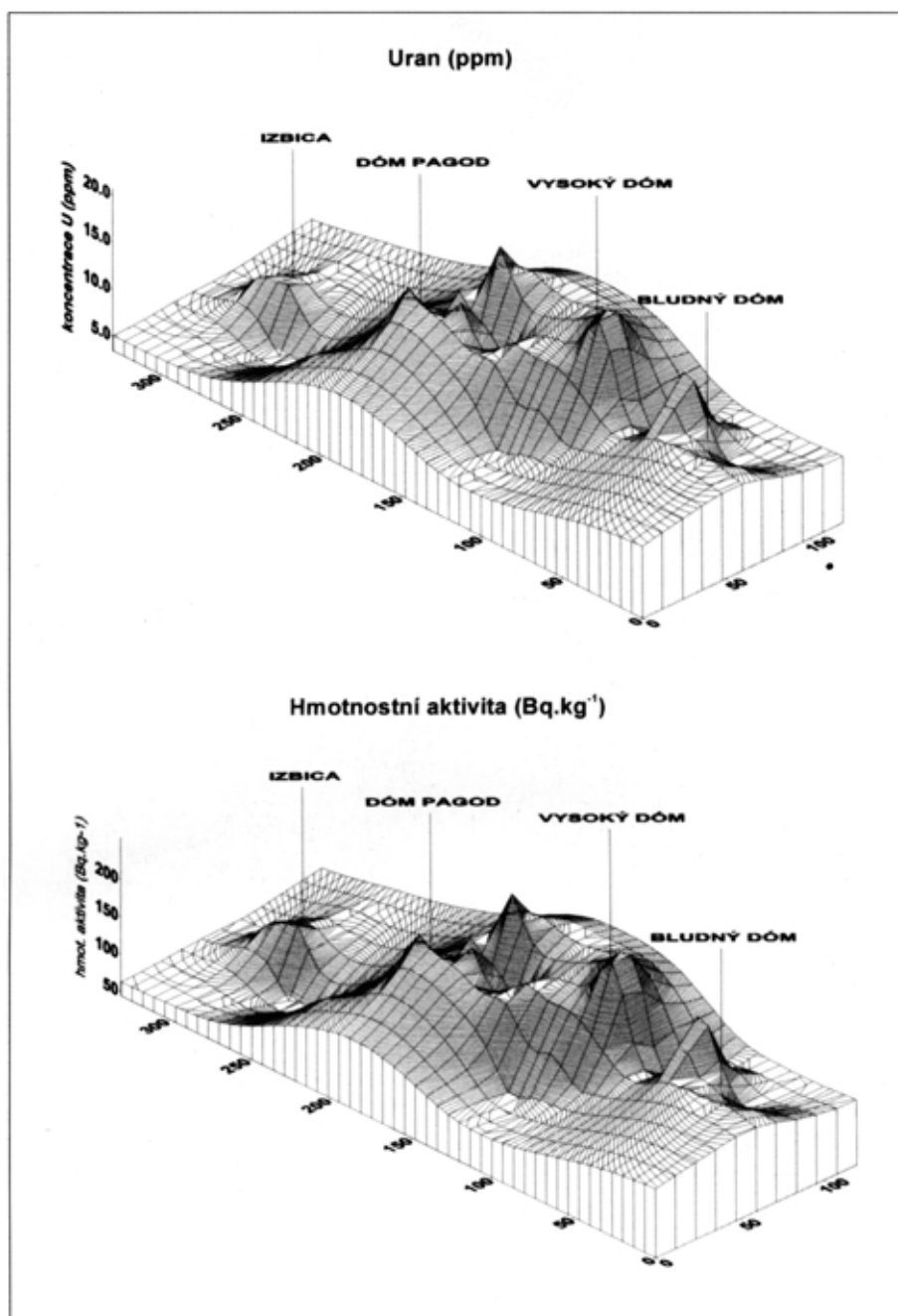
LITERATURA

- BELLA, P. (2000). Harmanecká jaskyňa – názory a problémy genézy, základné morfológické a genetické znaky. In Bella, P. (ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň, zborník referátov z 2. vedeckej konferencie, Liptovský Mikuláš, 71–81.
- KONTA, J. (1969). Quantitative analytical petrological classification of sedimentary rocks. Acta Univ. Carol., Geol. 1969, 175–253.
- MATOLÍN, M. (1992). Stanovení radonového rizika z geologického podloží (technické texty). MŠ, UK Praha.
- ZIMÁK, J. – ŠTELCL, J. (2001). Rock radioactivity in the Javoříčko Karst and Mladeč Karst (Czech Republic). Acta Univ. Palackianae Olomucensis, Fac. rer. nat., Geologica, 37, 67–82.
- ZIMÁK, J. – ŠTELCL, J. – HLAVÁČ, J. (2001). Výsledky gamaspektrometrických měření v Harmanecké jeskyni (závěrečná zpráva). MŠ, UP Olomouc – MU Brno.

SUMMARY

The Harmanecká Cave is situated in the southern part of the Velká Fatra Mts. in Slovakia. It was created in Triassic limestones of the Choč nappe. Concentrations of natural radioactive elements (K, U and Th) were measured in the rocks using gamma-ray spectrometry. The monitored parts of the Harmanecká Cave are characterized by moderately increased contents of uranium and low contents of thorium both in Triassic limestones (U 3.2 to 23.7, avg. 12.0 ppm; Th 0 to 1.2, avg. 0.2 ppm), and in siliciclastic sediments (U 7.9 to 14.2, avg. 10.4 ppm; Th 1.3 to 5.5, avg. 3.4 ppm), and in sinters (U 3.0 to 19.9, avg. 10.1 ppm; Th 0 to 1.2, avg. 0.2 ppm). Concentrations of K, U and Th were converted to the mass activity of ²²⁶Ra equivalent (a_m) in order to present the gamma-ray activity of the locality in question. Average values a_m for Triassic limestones, siliciclastic sediments and sinters are 150, 163 and 127 Bq.kg⁻¹, respectively. The average values a_m fall within the OECD state standards of 370 Bq.kg⁻¹.

Limestones present in the Harmanecká Cave have significantly higher values of uranium content compared to those exposed in the outcrops above it (only 1.2 to 2.8 ppm U, avg. 2.0 ppm). Elevated uranium concentrations in the Triassic limestones of the cave system could be related to their primary lithology and to the pre-karstification processes. According to our present-day knowledge (see for example Zimák and Štelcl 2001) the positive uranium anomalies are common in the carbonates of the endokarst. We believe that the positive uranium anomalies present in carbonates resulted unequivocally from the processes of karstification.



Obr. 3. Prostorový diagram distribuce uranu a vypočtených hodnot hmotnostní aktivity (a_m) v triasových vápencích Harmanecké jeskyně. / Fig. 3. Distribution space diagram of uranium and calculated mass activities (a_m) in Triassic limestones in the Harmanecká Cave.