

Tabulka 3. Průměrné hodnoty koncentrací Rn na základních horninových typech na území bývalého okresu Domažlice

	GR	KR	PT	A	DI	CS	SPR	Q	AL
koncentrace Rn v objektech	238,1	238,8	201,8	331,3	117,7	179,2	167,9	191,6	212,9
koncentrace Rn v půdním vzduchu	57,4	27,8	26,7	27,11	23,58	28,6	25,1	37,2	27,43

Vysvětlivky kódů hornin: GR – granity, KR – pararuly, PT – proterozoické sedimenty, A – amfibolity, DI – diority, CS – karbonské sedimenty, SPR – spraše, Q – kvartér, AL – aluviální sedimenty. Hodnoty Rn v půdním vzduchu jsou uvedeny v kBq · m⁻³, koncentrace Rn v objektech jsou v Bq · m⁻³

Tabulka 4. Průměrné hodnoty koncentrací Rn na základních horninových typech na území bývalého okresu Prachatice

	GR	GT	AL	N	GN	KR	Q
koncentrace Rn v objektech	212,4	154,3	230,5	158,8	253,2	195,9	238,3
koncentrace Rn v půdním vzduchu	57,4	23,9	27,4	21,65	34,6	27,8	37,2

Vysvětlivky kódů hornin: GR – granity, GT – granulity, AL – aluviální sedimenty, N – neogén, GN – ortoruly a migmatity, KR – pararuly, Q – kvartér. Hodnoty Rn v půdním vzduchu jsou uvedeny v kBq · m⁻³, koncentrace Rn v objektech jsou v Bq · m⁻³

3. Obdobná korelace koncentrací radonu v půdním vzduchu a v objektech na území okresů Domažlice a Prachatic byla zjištěna i na území Bavorska, což potvrzuje správnost našich závěrů.

Literatura

BARNET, I. – MIKŠOVÁ, J. – FOJTÍKOVÁ, I. (2003): Indoor-soil gas radon relationship in the Central Bohemian Plutonic Complex. – Extended abstract 7th International Conference on Gas Geochemistry. Freiberg.

BARNET, I. (2004): Regional transfer factor in Central Bohemia (Czech Republic). In: BARNET, I. – NEZNAL, M. – PACHEROVÁ, P.: Radon investigations in the Czech Republic X and the seventh international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. – 168 p. Čes. geol. služba. Praha.

KEMSKÍ, J. et al (2001): Ermittlung einer Transferfunktion für die Radonkonzentration in der Bodenluft und der Wohnraumluft incl. Radonmessungen in Häusern zur Validierung des geologisch induzierten Radonpotenzials. – 206 p. Universität Bonn.

PACHEROVÁ, P. (2004): Radon database – the statistical evaluation. In: BARNET, I. – NEZNAL, M. – PACHEROVÁ, P.: Radon investigations in the Czech Republic X and the seventh international workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. – 168 p. Čes. geol. služba. Praha.

PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ V ČESKÝCH JESKYNÍCH ZPŘÍSTUPNĚNÝCH PRO VEŘEJNOST (BOZKOVSKÉ DOLOMITOVÉ JESKYŇĚ, KONĚPRUSKÉ JESKYŇĚ, CHÝNOVSKÁ JESKYŇĚ)

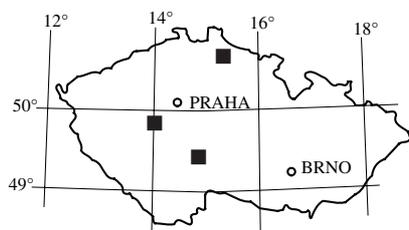
Natural radioactivity of the rock environment in Czech show caves (Bozkov Dolomite Caves, Koněprusy Caves, Chýnov Cave)

JIŘÍ ZIMÁK¹ – JINDŘICH ŠTELCL²

¹ Katedra geologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého, tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc; zimak@prfnw.upol.cz

² Ústav geologických věd Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno; stelcl@sci.muni.cz

(03-41 Semily, 12-41 Beroun, 23-13 Tábor)



Key words: gamma-ray spectrometry, karst rocks, cave clastic sediments, sinters

Abstract: Concentrations of natural radioactive elements (K, U and Th) were measured using a field gamma-ray spectrometer

GS-256 in the rocks in the Bozkov Dolomite Caves, Koněprusy Caves, and Chýnov Cave. Concentrations of these elements were converted to the mass activity of ²²⁶Ra equivalent (a_m) in order to express gamma-ray activity at the studied sites. Average values of a_m of metamorphic rocks (dolomite marbles and quartzites), sinters, and cave clastic sediments in the Bozkov Dolomite Caves are 99, 70, and 128 Bq · kg⁻¹, respectively. Marbles and cave clastic sediments in certain parts of the Bozkov Dolomite Caves (so-called Nová Cave) have increased contents of uranium (up to 11 ppm U in marbles). The monitored zones of the Koněprusy Caves are characterized by low average a_m values of Devonian limestones and also sinters (70 and 54 Bq · kg⁻¹, respectively). Average a_m value of Silurian dolostones in the Koněprusy Caves area is 138 Bq · kg⁻¹ (up to 12 ppm U in the rocks). The relatively high natural radioactivity of cave clastic sediments in the Koněprusy Caves (171 Bq · kg⁻¹ average, 306 Bq · kg⁻¹ maximum) is caused

by high contents of K, U, and especially Th (up to 33 ppm). Average a_m values of marbles, calc-silicate rocks, amphibolites, and cave clastic sediments of the Chýnov Cave are much lower, reaching respective values of 23, 72, 60, and 73 Bq . kg⁻¹.

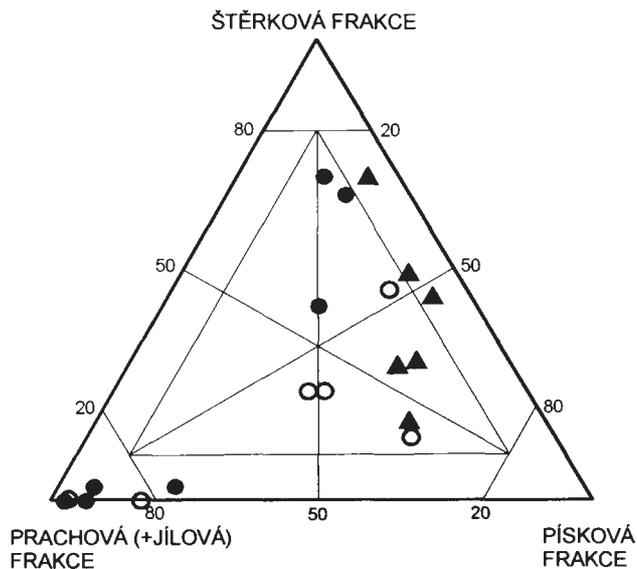
V rámci hodnocení přirozené radioaktivity hornin ve veřejnosti přístupných jeskyních České republiky bylo autory této zprávy provedeno pomocí terénního gamaspektrometru GS-256 (výrobce Geofyzika Brno) celkem 295 měření, jimiž byly stanoveny obsahy K, U a Th v horninovém prostředí Bozkovských dolomitových jeskyní (dále BDJ), Koněpruských jeskyní (KJ) a Chýnovské jeskyně (ChJ). Z gamaspektrometricky stanovených obsahů všech tří uvedených prvků byl standardním způsobem proveden výpočet hmotnostní aktivity studovaných hornin (použitou metodiku popisují ZIMÁK a ŠTELCL 2004a, výsledky měření v jednotlivých bodech uvádějí ZIMÁK et al. 2004, ZIMÁK a ŠTELCL 2004b, c).

Studované jeskyně byly vytvořeny v odlišných horninách, náležejících k různým geologickým jednotkám. Prostor BDJ je součástí ponikelské skupiny (svrchní ordovik a silur). Nejmladší část tohoto souvrství je tvořena chlorit-muskovitickými fylity s polohami krystalických vápenců až dolomitů (viz např. CHALOUPEK et al. 1989, KACHLÍK – PATOČKA 1998, HLADIL et al. 2003). Tyto karbonátové horniny vystupují na povrch v nesouvislých pružích a čočkách; v jedné z čoček se vytvořily právě BDJ.

Jeskynní systém KJ má tři vzájemně propojená patra. Veřejnosti nepřístupné spodní patro vzniklo v koněpruských vápencích (spodní devon: prag); průběh středního patra zhruba sleduje rozhraní mezi koněpruskými vápenci a vápenci suchomastskými; horní patro je vytvořeno ve vápencích suchomastských (spodní až střední devon: eifel) a vápencích akantopygových (střední devon: eifel) – viz např. CHLUPÁČ (1988, 1999). Z geologického hlediska je zajímavá štola vedoucí z povrchu do Vánočních jeskyní, jež jsou součástí středního patra jeskynního systému KJ. Úvodní část štoly je ražena v silurských karbonátových horninách, zbývající (za očkovským přesmykem) ve vápencích suchomastských; v místech vyústění do Vánočních jeskyní jsou při počtvě odkryty koněpruské vápence (JANČAŘKOVÁ 1988).

Chýnovská jeskyně je situována v hoříckém souvrství pestré skupiny moldanubika. Vznikla v max. 12 m mocné poloze krystalického vápence, uložené v nezkrasovělém krystalickém dolomitu. V karbonátových horninách jsou četné vložky erlanů, amfibolitů a kvarcitů; podloží a nadloží zmíněné polohy krystalického vápence tvoří amfibolity. Podrobnější údaje uvádějí např. CHÁBERA et al. (1985) a CÍCHA (1999).

Významnou složkou horninového prostředí všech tří jeskyní jsou jeskynní klastické sedimenty. Na základě zrnitostního složení (stanoveného síťováním za sucha) lze námi studované jeskynní klastické sedimenty klasifikovat převážně jako polystrukturmí sedimenty (písčité až prachovito-písčité štěrky, resp. štěrkovité, prachovito-štěrkovité až štěrkovito-prachovité písek – viz obr. 1); v KJ a BDJ se běžně vyskytují i jeskynní hlíny s výraznou převahou frakce pod 0,063 mm (někdy jde o prach nebo jílovitý prach,



Obr. 1. Pozice jeskynních klastických sedimentů ze studovaných jeskyní v klasifikačním diagramu *prachová (+jílová) frakce – písčivá frakce – štěrková frakce*, upraveném podle KONTY (1969).

○ – KJ, ● – BDJ, ▲ – ChJ.

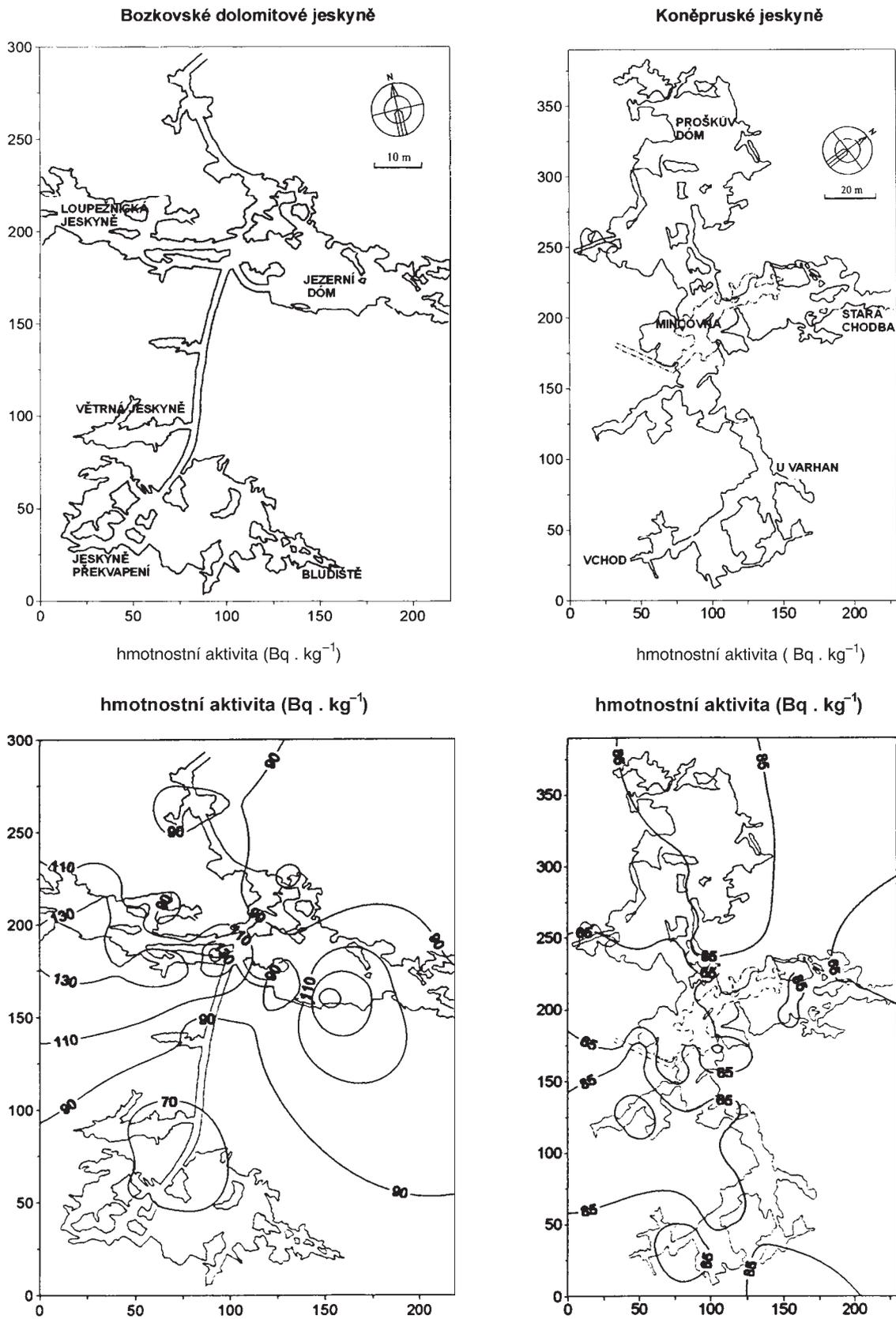
jindy o jílu nebo prachovitý jílu). Látkové složení jeskynních hlín závisí na povaze krasových hornin (na charakteru nerozpustné složky), v případě ChJ je však výrazně ovlivňováno materiálem pocházejícím z hornin nekrasových (amfibolitů a erlanů). Převažující komponentou některých jeskynních klastických sedimentů BDJ je dolomit, jenž je pozůstatkem po selektivním rozpouštění krasových hornin. V prostoru návštěvní trasy v KJ (v Mincovně) se výjimečně vyskytují jeskynní hlíny, v jejichž jílové frakci dominuje halloysit nebo metahalloysit.

Bozkovské dolomitové jeskyně, Koněpruské jeskyně, Chýnovská jeskyně

Výsledky gamaspektrometrických měření v BDJ, KJ a ChJ jsou sumarizovány v tab. 1. Z dat v ní uvedených je zřejmá relativně nízká přirozená radioaktivita horninového prostředí ve všech třech sledovaných jeskyních, obzvláště nízké hodnoty vykazují horniny ChJ.

Distribuce hodnot a_m v mramorech, kvarcitických mramorech a též kvarcitech vystupujících v BDJ je znázorněna v levé polovině obr. 2. Relativně vysokou přirozenou radioaktivitu vykazují mramory v Loupežnické jeskyni a Jezerním dómu, tj. v prostoru Nové jeskyně, kde byly v těchto horninách stanoveny nejvyšší obsahy U (až 11 ppm) a Th (až 4,6 ppm).

Pro karbonátové horniny ve veřejnosti přístupné části KJ (suchomastské a koněpruské vápence) jsou charakteristické relativně nízké hodnoty hmotnostní aktivity (viz data v tab. 1 a v pravé polovině obr. 2). Mírně zvýšenou přirozenou radioaktivitu lze konstatovat v případě silurských karbonátových hornin (dolomitů), zastížených v úvodní části štoly do Vánočních jeskyní. Hmotnostní aktivita těchto hornin je zhruba dvojnásobná ve srovnání s devonskými vápenci, a to díky vyšším obsahům všech tří gamaspektro-

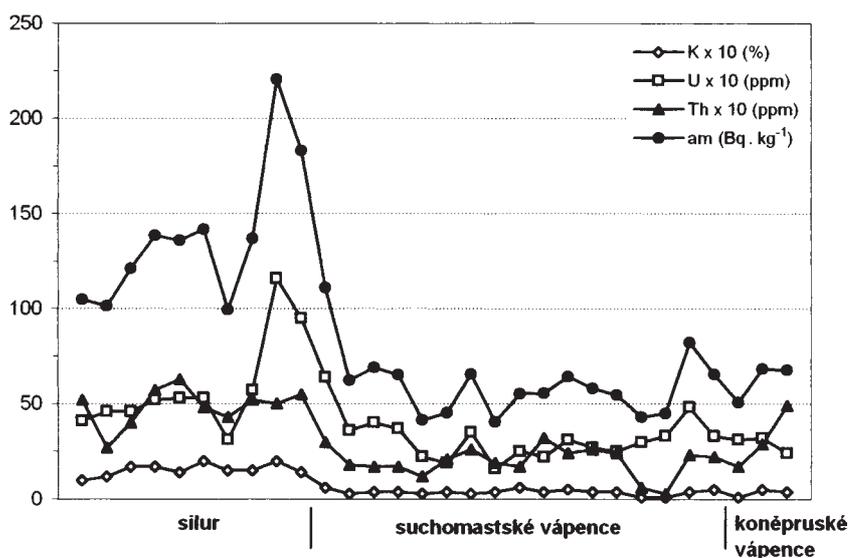


Obr. 2. Schematický náčrt Bozkovských dolomitových jeskyní (vlevo nahoře) a veřejnosti přístupné části Koněpruských jeskyní (vpravo nahoře), distribuce vypočtených hodnot hmotnostní aktivity (a_m) v metamorfitech řady mramor-kvarcit vystupujících v Bozkovských dolomitových jeskyních (vlevo dole) a v paleozoických karbonátových horninách Koněpruských jeskyní (vpravo dole)

Tabulka 1. Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U, Th) a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m) v horninovém prostředí Bozkovských dolomitových jeskyní, Koněpruských jeskyní a Chýnovské jeskyně

hornina	n	K (hm. %)		U (ppm)		Th (ppm)		a_m (Bq . kg ⁻¹)	
		rozpětí		rozpětí		rozpětí		rozpětí	
<i>Bozkovské dolomitové jeskyně</i>									
mramory + kvarcicity	47	0,1–1,3	0,5	3,2–11,1	6,3	0–4,6	1,4	50–165	99
sintry	11	0,1–0,4	0,3	3,2–7,5	4,8	0–1,9	0,7	44–108	70
jeskynní klastika	14	0,5–1,8	1,2	3,9–9,3	6,0	1,8–7,4	4,3	81–192	128
<i>Koněpruské jeskyně</i>									
suchomastské vápence	71	0,1–1,2	0,6	0,4–6,4	2,6	0,3–11,3	4,3	27–123	73
koněpruské vápence	10	0,1–0,6	0,4	1,0–3,2	2,4	1,3–4,9	2,6	32–68	55
silurské dolomity	10	1,0–2,0	1,5	3,1–11,6	5,9	2,7–6,3	4,9	99–220	138
sintry	8	0–0,6	0,3	0,5–6,7	2,8	0–4,3	2,1	16–83	54
jeskynní klastika	34	0,6–2,2	1,2	1,7–7,2	4,0	6,3–33,5	16,1	79–306	171
<i>Chýnovská jeskyně</i>									
mramory	46	0,1–1,5	0,5	0–3,5	0,6	0–3,0	0,7	3–68	23
erlany	19	0,6–2,5	1,6	0–2,5	1,0	0–7,1	3,3	22–110	72
amfibolity	10	1,1–2,7	1,6	0–1,7	0,7	0,1–4,5	2,3	31–107	60
jeskynní klastika	15	0,9–2,8	1,5	0–2,2	0,9	1,4–6,8	4,1	38–134	73

metricky sledovaných prvků, především však uranu. K velmi výraznému zvýšení obsahu U (až na 11,6 ppm) dochází v zóně očkovského přesmyku, kde je v silurských vápencích ve vzdálenosti cca 5 m od násunové plochy očkovského přesmyku přítomna poloha černých podrcených břidlic, jež je zmiňována již JANČAŘÍKOVOU (1988). Výsledky gamaspektrometrických měření na stěně štoly (na 31 bodech s víceméně pravidelnými rozestupy) jsou vyjádřeny graficky v obr. 3, z něhož jsou rozdíly mezi karbonátovými horninami silurského stáří na straně jedné a devonskými vápenci na straně druhé zcela zřejmé.



Literatura (výběr)

- CICHA, J. (1999): Jeskyně a historická důlní díla v jižních Čechách a na Šumavě. – Nakl. KLETR.
- HLADIL, J. – PATOČKA, F. – KACHLÍK, V. – MELICHAR, R. – HUBAČÍK, M. (2003): Metamorphosed carbonates of Krkonoše Mountains and Paleozoic evolution of Sudetic Terranes (NE Bohemia, Czech Republic). – Geol. carpath., 54, 281–297.
- CHLUPÁČ, I. (1999): Vycházky za geologickou minulostí Prahy a okolí. – Academia Praha.
- JANČAŘÍKOVÁ, I. (1988): Geologická situace ve štole do Koněpruských jeskyní. – Český Kras, 14, 33–41.
- ZIMÁK, J. – ŠTELCL, J. (2004a): Přirozená radioaktivita horninového prostředí v jeskyních České republiky. – Vydav. Univ. Palackého. Olomouc.
- ZIMÁK, J. – ŠTELCL, J. (2004b): Výsledky gamaspektrometrických měření v Chýnovské jeskyni (závěrečná zpráva). – MS. Přírodověd. fak. Univ. Palackého, Olomouc, Přírodověd. fak. Masaryk. Univ. Brno.
- ZIMÁK, J. – ŠTELCL, J. (2004c): Výsledky gamaspektrometrických měření v Koněpruských jeskyních (závěrečná zpráva). – MS. Přírodověd. fak. Univ. Palackého, Olomouc, Přírodověd. fak. Masaryk. Univ. Brno.
- ZIMÁK, J. – ŠTELCL, J. – HOFÍRKOVÁ, P. (2004): Výsledky gamaspektrometrických měření v Bozkovských dolomitových jeskyních (závěrečná zpráva). – MS. Přírodověd. fak. Univ. Palackého, Olomouc, Přírodověd. fak. Masaryk. Univ. Brno.

Obr. 3. Obsahy K, U, Th a vypočtená hmotnostní aktivity (a_m) karbonátových hornin vystupujících ve štole vedoucí do Vánočních jeskyní.