

části obrázku jsou vyznačena tělesa granitoidních hornin, v nichž lze podle geologické predikce očekávat vysoké radonové riziko z podloží. Horní část obrázku obsahuje výsledky měření radonu v cca 105 000 dosud změřených objektech (průměr v obcích). Nejvyšší průměrné hodnoty radonu v objektech odpovídají svou lokalizací tělesům variských granitoidů. Z obrázku je patrné, že i v regionálním měřítku lze používat geologické podklady k predikci radonového rizika v objektech.

Srovnání účinnosti geologické predikce radonového rizika s hodnotami objemové aktivity radonu měřenými v objektech bylo provedeno i v detailním měřítku. Pracovníci SÚJB vybrali z databáze měření radonu v objektech 464 obcí, v nichž byla změřena ekvivalentní objemová aktivity radonu ve více než 30 % objektů. Obce byly rozděleny podle stejného klíče, jaký byl použit pro analýzu rozporu (viz výše). V intravilánu obcí bylo stanoveno převažující radonové riziko podle nových map radonového rizika v měřítku 1 : 50 000. Výsledky srovnání jsou znázorněny na obr. 3. Z něj vyplývá, že v detailním měřítku se pravděpodobnost správné predikce radonového rizika v objektech

podle geologických podkladů pohybuje v rozmezí 70–80 %, i když uvádíme, že nebyla známa přesná lokalizace objektů v intravilánu obcí a jejich technický stav, který může zásadním způsobem ovlivňovat úroveň radonu v objektech.

Literatura

- BARNET, I. – MIKŠOVÁ, J. – TOMAS, R. – KARENOVÁ, J. (2000): Radon risk mapping of the Czech Republic on a scale 1 : 50 000. – in Radon Investigations in the Czech Republic VIII and the 5th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, I. Barnet, M. Neznaš eds. Čes. geol. úst. Praha.
 BARNET, I. – BLÁHA, V. – MIKŠOVÁ, J. – PROCHÁZKA, J. (2000): Analýza přičin rozporu mezi geologickým hodnocením radonového rizika a měřením radonu v objektech v oblasti severní Čechy, severní a jižní Moravy. Archiv ČGÚ a SÚJB.
 VESELÝ, V. – HEČKO, E. (1992): Upřesnění mapy radonového rizika území měst Frýdlant v Čechách, Hrádek nad Nisou a Chrastava. Zpráva MŽP.
 NEZNAL, M. – NEZNAL, M. – ŠMARDA, J. (1992): Detailizace map radonového rizika – oblasti Litvínov, Dubí, Krupka. Zpráva MŽP.
 www.suro.cz (2000) – Výsledky měření radonu v obcích na území ČR.

PŘÍRODNÍ RADIOAKTIVITA A RADIOAKTIVITA JADERNÉHO SPADU V PŘÍBRAMI A OKOLÍ

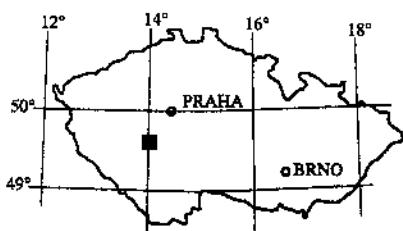
Natural and nuclear fall out radiation in the Příbram area

MILAN MATOLÍN¹ – Jiří NĚMEČEK²

¹Univerzita Karlovu v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, 128 43 Praha

²Endokrinologický Ústav, Národní 8, 116 94 Praha 1

(22-21 Příbram)



Key words: Environmental radiation, Cosmic radiation, Terrestrial radiation, Nuclear fall out, Field gamma-ray spectrometry

Abstract: Natural and nuclear fall out radiation has been measured in the area of Příbram, central Bohemia, Czech Republic, as one input parameter for a complex study of the environmental impact on the human health. The demarcated 190 km² Příbram area of interest covers the zone of acid magmatic rocks of the central Bohemian pluton of medium to high natural radioactivity, and the zone of low radioactive Proterozoic and Paleozoic sediments. Contents of natural radionuclides K, U and Th in rocks and nuclear fall out isotopes ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs were determined by field ground gamma-ray spectrometry dynamic measurements at 164 traverses 300 m long, situated around 29 localities, cosmic radiation was calculated after locality elevations and all data were ex-

pressed in dose rate (Table 1). Results indicate statistically significant difference of mean terrestrial dose rates 79 nGy · h⁻¹ and 40 nGy · h⁻¹ in respective zones, while nuclear fall out contamination of the whole area of interest is very low and consistent, specified by the mean ¹³⁷Cs surface activity of 1.4 kBq · m⁻² and dose rate of 2.2 nGy · h⁻¹. Observed natural and nuclear fall out radiation can be compared to the range of regional terrestrial dose rate of 6–245 nGy · h⁻¹, with a mean 66 nGy · h⁻¹, in the Czech Republic.

ÚVOD

V rámci účelové spolupráce mezi Endokrinologickým ústavem v Praze a Univerzitou Karlovou v Praze, Přírodovědeckou fakultou, bylo v roce 2000 oddělením užité geofyziky Přírodovědecké fakulty UK v Praze realizováno terénní gamaspektrometrické stanovení přírodních radioelementů K, U a Th v horninách, kontaminace zemského povrchu izotopy cesia a stanovení dávkového příkonu záření gama ve vymezeném území Příbrami a okolí. Cílem řešení zadáного úkolu bylo stanovení přírodní a umělé radioaktivnosti v zájmovém území jako jednoho ze vstupních údajů pro komplexní analýzu vztahu životního prostředí a zdravotního stavu obyvatelstva.

Radioaktivita životního prostředí je součtem účinků přírodních a umělých zdrojů jaderného záření. Přírodní zdroje

jsou charakterizovány kosmickým zářením, radioaktivitou hornin, vod a ovzduší, umělé zdroje radiace na zemském povrchu tvoří jaderný spad.

Zájmové území výzkumu Příbrami a okolí, o ploše 190 km², bylo vymezeno se záměrem pokrytí areálů o rozsahu přírodní radioaktivitě. Jihozápadní, západní a severní část zájmového území je tvořena převážně sedimentárními horninami proterozoika a staršho paleozoika, náležejících podle regionálně-geologického členění Českého masívu ke středočeské oblasti, a je v rámci radioaktivity hornin ČR oblastí nízké radioaktivity. Jihovýchodní a východní část zájmového území je tvořena magmatickými horninami středočeského plutonu náležejícího k moldanubiku a je v rámci radioaktivity hornin ČR oblastí střední až vysoké radioaktivity. Pozemní gamaspektrometrická měření radioaktivity byla realizována v blízkém okolí 29 obcí zájmového území celkem na 164 profilech.

STANOVENÍ PŘÍRODNÍCH RADIONUKLIDŮ A RADIONUKLIDŮ JADERNÉHO SPADU TERÉNNÍ GAMASPEKTROMETRIÍ

Konzentrace přírodních radionuklidů K, U a Th v horninách a radionuklidy jaderného spadu ¹³⁷Cs a ¹³⁴Cs s dlouhými poločasy přeměny v půdách na zemském povrchu byly stanoveny terénním gamaspektrometrickým měřením za použití přenosného gama spektrometru GS-256 se scintilačním detektorem NaI(Tl) 76 × 76 mm, energiovým rozlišením 7,5 % (pro E 661,6 keV) a digitálním zápisem a zpracováním dat. Specifické energie zájmových radionuklidů ¹³⁷Cs (662 keV), ¹³⁴Cs (796 keV), K (1461 keV), U (1764 keV) a Th (2615 keV) byly detekovány a registrovány v pěti odpovídajících zvolených intervalech energie gama záření.

Gama spektrometr GS-256 byl pro stanovení K, U a Th kalibrován na kalibračních základnách bývalého Československého uranového průmyslu v Bratkovicích u Příbrami a Geologického ústavu Rakouska v Langenlebarn a ověřen srovnávacím měřením s Geological Survey of Canada (1992), Bundesamt für Strahlenschutz Berlin (1997), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover (1997), Dozimetrickým ústavem AV ČR (1996) a Státním ústavem radiační ochrany Praha (1997) (MATOLÍN, KOBR

1999). Kalibrace gama spektrometu GS-256 pro stanovení Cs byla realizována 18. 10. 1989 u Blahové v oblasti Dunajské Stredy kontaminované jaderným spadem, za účasti Výzkumného ústavu jaderných elektráren Trnava, Ústavu dozimetrie Bratislava, Geofyziky Brno, firmy Ekosur Piešťany a Přírodovědecké fakulty UK (PřF UK) Praha, srovnávacím leteckým a pozemním měřením radioaktivity a laboratorními analýzami půdních vzorků. Stripping faktory pro opravu na interferenci záření gama izotopů Cs a stanovení ¹³⁷Cs a ¹³⁴Cs byly určeny na PřF UK Praha modelovým měřením za užití sady zdrojů ¹³⁷Cs a ¹³⁴Cs v horninovém prostředí (PROKOP, MATOLÍN 1990).

Terénní měření pro daný úkol bylo realizováno v listopadu a prosinci 2000 celkem na 164 profilech v blízkosti pěti okrajových částí města Příbram a 24 okolních obcí. Pro stanovení středních hodnot umělých radionuklidů v různých typech půd s rozdílnou vertikální distribucí izotopů cesia bylo na každé lokalitě měřeno 6 profilů, z toho 2 profily na polích, 2 na loukách a pastvinách a 2 v lese. Vymezené oblasti zájmu měření okolí obcí Kotěšice a Stryčkovy byly měřeny pouze na pastvinách a loukách. Gamaspektrometrické měření bylo realizováno s časem měření t = 4 min dynamicky, za přenosu přístroje na profilech přibližně 300 m dlouhých, s detektorem 0,3 m nad zemí. Dynamické měření průměruje lokální hodnoty radioaktivity a podává areální obraz radioaktivity měřeného území.

VÝSLEDKY TERÉNNÍHO GAMASPEKTROMETRICKÉHO MĚŘENÍ

Konzentrace K, U, Th v horninách a plošné aktivity ¹³⁷Cs a ¹³⁴Cs na měřených profilech byly stanoveny terénním měřením. Hodnoty dávkového příkonu záření přírodních (D_{AKUTh}) a umělých (D_{ACs}) radionuklidů byly určeny výpočtem za použití výsledků kalibrace přístroje a publikovaných převodních vztahů (IAEA 1989, ICRU 1994). Tabulka 1 uvádí střední hodnoty (x) a směrodatné odchytky (s) koncentrací K, U a Th v horninách, plošných aktivit ¹³⁷Cs a ¹³⁴Cs a odpovídajících dávkových příkonů záření gama přírodních (D_{AKUTh}) a umělých (D_{ACs}) radionuklidů, poměr dávkových příkonů (Cs/KUTh), dávkový příkon ionizující složky kosmického záření D_{akosm} stanovený výpočtem podle nadmořské výšky (UNSCEAR 1993) a součet dávkov

Tab. 1. Střední hodnoty K, U a Th v horninách, plošných aktivit ¹³⁷Cs a ¹³⁴Cs, kosmického záření a výsledného dávkového příkonu pro obce zájmového území Příbram a okolí.

Obec	K	U	Th	D_{AKUTh}	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	D_{ACs}	Cs/KUTh	nadm.v.	D_{akosm}	ΣD_a	
	% K	ppm eU	ppm eTh	nGy · h ⁻¹	kBq · m ⁻²	kBq · m ⁻²	nGy · h ⁻¹		m	nGy · h ⁻¹	nGy · h ⁻¹	
Konětopy (M)	x	2,5	4,2	16,4	98,0	2,1	0,5	4,3	0,04	550	35,4	137,7
	s	0,4	0,8	3,3	17,7	2,8	0,7	2,7				
Milín (M)	x	1,9	2,9	11,2	69,7	1,5	0,2	3,2	0,03	550	35,4	108,3
	s	0,3	0,5	1,7	8,6	1,5	0,2	3,2				
Buk (M)	x	1,9	3,6	13,4	78,8	1,9	0,2	3,6	0,05	570	35,6	117,9
	s	0,3	0,4	1,3	7,7	1,7	0,1	3,2				
Radětice (M)	x	1,9	2,7	11,6	68,5	1,4	0,3	1,9	0,03	525	35,1	105,5
	s	0,2	0,6	3,4	13,1	2,2	0,1	1,2				

Jesenice (M)	x	2,2	4,1	13,3	82,6	1,8	0,5	4,4	0,05	570	35,6	122,5
Jerusalem (M)	x	2,4	4,4	16,1	96,3	2,0	0,3	4,4	0,05	540	35,3	135,9
Háje	x	1,7	3,1	11,1	69,8	1,5	0,2	3,2	0,05	570	35,6	108,5
	s	0,7	0,7	3,9	15,9	1,3	0,2	2,7				
Dubenec (S)	x	1,3	2,8	6,3	48,0	1,5	0,5	3,3	0,07	460	34,5	85,8
	s	0,4	0,7	2,2	13,0	1,3	0,7	2,4				
Drásov (M)	x	1,8	3,2	12,1	71,5	1,7	0,2	3,5	0,05	420	34,1	109,1
	s	0,4	0,3	4,2	14,5	1,6	0,2	2,7				
Višňová (M)	x	1,5	3,1	9,1	63,3	1,3	0,2	3,0	0,05	390	33,9	100,1
	s	0,2	0,6	4,1	6,6	1,5	0,2	2,4				
Ouběnice (M)	x	2,2	2,5	14,0	77,6	1,3	0,3	3,2	0,04	390	33,9	114,7
	s	0,6	0,3	3,7	17,6	1,3	0,2	2,4				
Obořště (S)	x	1,3	3,1	6,0	50,3	1,1	0,1	2,3	0,05	380	33,8	86,4
	s	0,2	0,9	0,8	7,0	1,1	0,1	1,6				
Hluboč (S)	x	0,8	2,3	4,1	34,2	1,6	0,1	3,1	0,09	480	34,7	72,0
	s	0,4	0,7	1,7	12,9	1,6	0,2	2,6				
Jince (S)	x	0,8	2,5	4,8	36,4	1,2	0,0	2,0	0,05	390	33,9	72,3
	s	0,4	0,5	2,0	12,2	1,2	0,1	2,0				
Drahlin (S)	x	0,8	2,0	4,4	32,0	1,4	0,2	2,8	0,09	520	35,1	69,9
	s	0,2	0,4	0,9	4,5	1,3	0,1	2,0				
Obecnice (S)	x	0,7	1,8	4,1	29,8	1,4	0,1	2,8	0,09	530	35,2	67,7
	s	0,3	0,4	0,9	6,3	1,2	0,1	1,7				
Bohutín (S)	x	1,0	1,9	4,8	35,2	1,3	0,0	2,2	0,06	570	35,6	73,0
	s	0,2	0,8	0,8	7,6	1,0	0,0	1,5				
Příbram-Trhové Dušníky (S)	x	1,4	2,6	5,4	46,0	2,2	0,2	4,3	0,09	490	34,8	85,1
	s	0,1	0,7	0,4	4,5	2,4	0,2	3,4				
Příbram-Podlesí (S)	x	1,0	2,1	6,2	40,0	1,9	0,2	3,7	0,09	500	34,9	78,5
	s	0,2	0,5	0,8	7,4	1,2	0,1	2,1				
Příbram-Březové Hory (S)	x	0,9	2,3	4,9	37,4	1,3	0,2	3,0	0,08	540	35,3	75,6
	s	0,1	0,8	1,0	5,3	1,3	0,2	2,6				
Příbram-Hájek (S)	x	1,3	2,1	5,8	41,7	1,3	0,1	2,3	0,05	530	35,2	79,1
	s	0,2	0,5	1,4	9,0	1,4	0,1	2,1				
Příbram-Nová Hospoda (S)	x	1,1	2,0	4,6	36,3	1,1	0,1	2,3	0,06	560	35,5	74,1
	s	0,1	0,6	1,0	6,9	1,0	0,2	1,8				
Kotenčice (S)	x	0,8	2,3	4,5	34,8	0,8	0,1	1,7	0,05	410	34,0	70,6
	s	0,0	0,3	0,7	3,3	0,1	0,0	0,2				
Suchodol (S)	x	0,9	2,5	4,5	36,2	0,9	0,1	1,7	0,05	450	34,4	72,2
	s	0,1	0,4	0,4	2,1	0,0	0,1	0,1				
Dlouhá Lhota (S)	x	1,0	2,5	5,0	40,1	2,0	0,2	4,2	0,10	425	34,2	78,4
	s	0,5	0,6	1,1	11,5	2,0	0,1	3,1				
Občov (S)	x	1,1	3,0	6,4	46,6	0,8	0,0	1,3	0,03	480	34,7	82,5
	s	0,1	0,3	0,7	2,2	0,1	0,1	0,4				
Modřovice (S)	x	1,4	3,0	6,4	50,6	0,1	0,2	1,0	0,02	550	35,4	87,0
	s	0,1	0,2	1,3	2,0	0,1	0,1	0,9				
Strýčkovy (S)	x	0,9	2,5	4,2	36,5	0,4	0,1	1,1	0,03	550	35,4	72,9
	s	0,1	0,4	0,3	2,6	0,1	0,1	0,3				
Nesvačily (S)	x	1,3	2,8	6,4	47,8	0,8	0,2	2,2	0,05	515	35,0	85,0
	s	0,3	0,4	0,7	4,9	0,2	0,1	0,7				

Tab. 2. Střední hodnoty koncentrací K, U a Th v horninách a dávkový příkon ve vymezených oblastech magmatitů a sedimentů podle výsledků měření v zájmovém území v blízkém okolí N obcí.

oblast	K	U	Th	D_{AKUT}	^{137}Cs	D_{Cs}	N	ΣD_a
	% K	ppm eU	ppm eTh	nGy . h ⁻¹	kBq . m ⁻²	nGy . h ⁻¹		nGy . h ⁻¹
magmatické horniny	x	2,02	3,42	13,02	78,47	1,64	3,39	9
	s	0,33	0,69	2,34	12,11	0,30	0,88	13,11
sedimentární horniny	x	1,02	2,42	5,19	39,99	1,20	2,48	19
	s	0,22	0,40	0,87	6,40	0,52	0,95	6,35

vých příkonů ΣD_a přírodních a umělých zdrojů radioaktivnosti pro jednotlivé obce. Geologické podloží obcí tvořené magmatickými horninami je v tab. 1 označeno symbolem M, geologické podloží obcí tvořené sedimentárními horninami je označeno symbolem S.

Spolehlivost údajů stanovení K, U a Th je dána směrodatnými odchylkami 0,1 % K, 0,4 ppm eU a 0,6 ppm eTh, a směrodatnou odchylkou dávkového příkonu 3 nGy . h⁻¹. Spolehlivost údajů stanovení ^{137}Cs o nízké plošné aktivitě, v oblasti Příbram v mezích 0–7 kBq . m⁻², převážně v prvních jednotkách kBq . m⁻², je blízká mezi stanovitelnosti metod s relativními chybami určení do 20 %. Spolehlivost údajů stanovení ^{134}Cs o očekávané velmi nízké plošné aktivitě 1 kBq . m⁻² je omezena.

Střední hodnoty koncentrací K, U a Th v horninách a dávkové příkony pro obce na magmatických horninách středočeského plutonu a na sedimentárních horninách v zájmové oblasti uvádí tabulka 2. Sumární hodnota dávkového příkonu ΣD_a zahrnuje záření K,U,Th, izotopů Cs a kosmické záření.

Významný rozdíl koncentrace přírodních radionuklidů a dávkových příkonů v oblastech sedimentů středočeské oblasti a magmatitů středočeského plutonu byla prokázána testem významnosti pro střední hodnotu. Kontaminace radionuklidů jaderného spadu v obou oblastech je podobná. Stanovené plošné aktivity ^{137}Cs indikované v zájmovém území v intervalu do 7 kBq . m⁻² s průměrnou hodnotou 1,4 kBq . m⁻² jsou velmi nízké a dokládají, že zájmové území a příbramská oblast nebyly v roce 1986 významně kontaminovány. Poměr dávkového příkonu izotopů cesia a přírodních radionuklidů D_{Cs}/D_{AKUT} v mezích 0,03–0,10 indikuje malý (3–10 %) příspěvek radionuklidů jaderného spadu do sumárního záření obou zdrojů. Stanovené hodnoty dávkového příkonu izotopů cesia v lese, na loukách a pastvinách a na polích se liší a odrážejí vertikální distribuci izotopů v odpovídajících typech půd (tab. 3).

Výsledky měření terestrického záření přírodních radionuklidů v zájmovém území Příbram a okolí lze srovnat s radioaktivitou regionálních geologických celků

Tab. 3. Dávkový příkon izotopů cesia nad různými typy půd v zájmové oblasti Příbram a okolí podle gamaspektrometrického měření v roce 2000.

parametr	les (N = 47)	louka (N = 67)	pole (N = 50)
	nGy . h ⁻¹	nGy . h ⁻¹	nGy . h ⁻¹
x	6,22	2,06	1,20
s	1,97	1,04	0,75
minimum	3,2	0,5	0,2
maximum	14,0	5,7	4,1

6–245 nGy . h⁻¹ a střední hodnotou 66 nGy . h⁻¹ na území ČR (MANOVÁ, MATOLÍN 1995). Plošné aktivity ^{137}Cs byly v roce 1986 v nejvíce kontaminovaných oblastech ČR vyšší než 100 kBq . m⁻³ s odpovídajícím dávkovým příkonem převyšujícím 200 nGy . h⁻¹. Kontaminace ^{137}Cs v oblasti Jeseníků v roce 1999 odpovídala ještě úrovni 30 nGy . h⁻¹.

Výzkum radioaktivity byl realizován za podpory Endokrinologického ústavu, zpracování dat a příprava publikace v rámci výzkumného záměru č. CEZ J13/98: 113100006.

Literatura

- IAEA (1989): Construction and Use of Calibration Facilities for Radioactive Field Equipment. – Technical Report Series No. 309, International Atomic Energy Agency, Vienna.
 ICRU (1994): Gamma-Ray Spectrometry in the Environment. – International Commission on Radiation Units and Measurement Report 53, Bethesda, USA.
 MANOVÁ, M. – MATOLÍN, M. (1995): Radiometrická mapa České republiky 1 : 500 000. – ČGÚ, 1–20. Praha.
 MATOLÍN, M. – KOBR, M. (1999): Comparison measurements of terrestrial radiation by geophysical instruments. – Proc. of the 5th Meeting of the EGGS, paper VIP1, Budapest.
 PROKOP, P. – MATOLÍN, M. (1990): Stanovení radionuklidů jaderného spadu terénní scintilační gamaspektrometrií. – Sborník symp. Hornická Příbram ve vědě a technice, sekce I, 151–163. Příbram.
 UNSCEAR (1993): Sources and Effects of Ionizing Radiation. – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report. UN. New York.