

- louka a Modrý důl v Krkonoších – etapa 2003. – MS, PFF UK – Správa KRNPAP, Praha.
- CHALOUPSKÝ, J. et al. (1989): Geologie Krkonoš a Jizerských hor. – Ústí. úst. geol. Praha.
- MATOLÍN, M. (1998): Stanovení radonového rizika z geologického podloží. – Technické texty, odd. užití geofyz. Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- MATOLÍN, M. (2003a): Guidelines for radioelement mapping gamma-ray spectrometry data. – IAEA – TECDOC – 1363, Vienna.

- MATOLÍN, M. (2003b): Terénní gamaspektrometrické stanovení přírodních radionuklidů, izotopů cesia a dávkového příkonu záření gama v oblasti Budišova a Kruceburku. – MS Endokrinol. úst. Praha.
- MATOLÍN, M. et al. (2000): Radioaktivita přírodního prostředí – interkalibrace ČR – SRN. GA UK č. 289. Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- ONDRA, P. – HANÁK, J. (2002): Petrofyzikální charakteristika základních typů hornin území KRNPAP – řešerše z databáze Geofyziky, a.s., Brno. – MS Geofyzika, a. s. Brno.

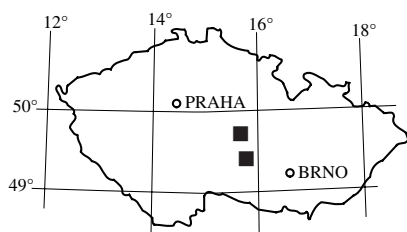
RADIOAKTIVITA PŘÍRODNÍHO PROSTŘEDÍ V OBLASTECH BUDIŠOV A KRUCEMBURK – EXTRÉMY V ČESKÉ REPUBLICE

Environmental radioactivity in areas Budišov and Kruceburk – extremes in the Czech Republic

MILAN MATOLÍN

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2

(23-22 Žďár nad Sázavou, 23-42 Třebíč, 24-31 Velké Meziříčí)



Key words: ground gamma-ray spectrometry, terrestrial radiation, nuclear fallout, environmental radiation

Abstract: Natural and nuclear fallout radiation has been measured in areas of Budišov and Kruceburk, Czech Republic, for a complex study of environmental parameters and their impact on human health in 2003. Concentration of natural radionuclides K, U and Th in rocks and nuclear fallout isotopes ^{137}Cs and ^{134}Cs was determined by ground gamma-ray spectrometry dynamic measurements at 101 traverses 300 m long, situated around 15 villages in 2003. Results indicate significant difference of mean concentrations 3.2 % K, 5.9 ppm eU, 24.0 ppm eTh and dose rate 135 nGy/h in highly radioactive durbachites in the Budišov area, in comparison with 0.9 % K, 1.8 ppm eU, 4.2 ppm eTh and 33 nGy/h in Cretaceous sedimentary rocks, gabbros and metamorphic rocks in the vicinity of Kruceburk. ^{137}Cs surface activity 2–7 kBq/m² was monitored in both areas.

Radioaktivita životního prostředí je součtem účinků přírodních a umělých zdrojů jaderného záření. Kosmické záření, radioaktivita hornin, vod a ovzduší jsou složkami přírodních zdrojů radiace, plošné umělé zdroje radiace na zemském povrchu tvoří jaderný spad.

Radiometrická mapa České republiky 1 : 500 000 (MAHOVÁ – MATOLÍN 1995) indikuje významnou variabilitu radioaktivity hornin regionálních geologických celků a dokládá nadprůměrnou radioaktivitu hornin ČR v globálním měřítku. Uvedenému stavu rovněž odpovídá enormní počet v ČR indikovaných mineralizací uranu (tisíce), počet těžných ložisek uranu (63) a velký počet objektů bývalé

těžby uranu a dnešní možné radiační zátěže (ŠURÁŇ 1998). Detailní výzkum radioaktivity vybraných území rozšiřuje poznání o geochemii hornin Českého masivu v rozměrech místa a času a přispívá ke geologickému mapování, litologické charakteristice hornin a hodnocení radioaktivity stavebních surovin dílčích oblastí. Data o radionuklidech jaderného spadu ilustrují úroveň kontaminace půd a umožňují kvalifikovaný odhad jejich časového úbytku po regionální kontaminaci území ČR v roce 1986 (IHE 1987). Nové výzkumy (MATOLÍN – DĚDÁČEK – ZABADAL 2002, MATOLÍN – KAŠPAREC – HANÁK 2003) indikují dosud významné příspěvky radiace jaderného spadu ve specifických oblastech.

Radioaktivita je významnou složkou životního prostředí s možnými dopady na zdravotní stav obyvatelstva. Renomované nadnárodní organizace (WHO) realizují výzkum zaměřený na posouzení vlivů parametrů životního prostředí na specifické zdravotní ukazatele. Endokrinologický ústav Praha v rámci mezinárodní spolupráce a národních výzkumných úkolů realizuje obdobné studie. Výzkum vlivu radioaktivity přírodního prostředí na zdravotní stav obyvatelstva ČR je metodicky zaměřen na sběr dat a hodnocení údajů z vybraných území ČR s extrémně nízkými a vysokými hodnotami radiace. V roce 2003 byla terénním měřením stanovena a posouzena přírodní a umělá radioaktivita v územích Budišov a Kruceburk, ve kterých Endokrinologický ústav provedl zdravotní výzkum skupin populace.

Území výzkumu radioaktivity Budišov a Kruceburk

Zájmová území Budišov a Kruceburk byla vymezena se záměrem pokrytí oblastí s rozdílným polem radioaktivity.

Obec Budišov leží 11 km na SV od Třebíče. Zájmové území zahrnuje obce Hodov, Budišov, Studnice, Kamenná, Klementice, Pyšel, Pozdatín, Kojatín, Valdčkov a Nárameč. Území je součástí Českomoravské vrchoviny, nad-

Tabulka 1. Střední hodnoty koncentrací K, U a Th v horninách, plošných aktivit ^{137}Cs a ^{134}Cs , hodnoty kosmického záření a výsledného dávkového příkonu pro obce zájmového území Budišov

území Budišov, obec		K	U	Th	D_{aKUTh}	^{137}Cs	^{134}Cs	D_{aCs}	Cs/KUTh	nadm.v.	D_{akosm}	D_{a}
		% K	ppm eU	ppmeTh	nGy/h	kBq/m ²	kBq/m ²	nGy/h		m	nGy/h	nGy/h
Hodov	x	3,7	6,0	26,9	153,2	5,8	0,4	11,4	0,07	500	34,9	199,5
	s	0,7	0,9	2,6	16,4	5,1	0,2	8,3				
Budišov	x	3,0	4,9	20,1	116,6	5,4	0,3	9,6	0,08	480	34,7	160,9
	s	0,6	0,9	3,3	16,6	3,1	0,1	5,4				
Studnice	x	3,0	6,2	24,0	134,2	5,6	0,2	9,9	0,07	460	34,5	178,6
	s	0,5	0,9	6,0	25,7	3,7	0,1	5,6				
Kamenná	x	2,9	6,0	21,1	124,3	4,6	0,3	8,7	0,07	450	34,4	167,4
	s	0,5	1,3	4,7	25,1	4,0	0,1	6,4				
Klementice	x	3,3	5,9	23,7	135,9	7,3	0,4	13,3	0,10	445	34,3	183,5
	s	0,6	0,8	3,4	18,8	5,0	0,1	8,5				
Pyšel	x	3,3	5,5	24,9	136,6	4,5	0,4	9,0	0,07	480	34,7	180,3
	s	0,5	0,5	3,5	15,5	4,3	0,2	7,0				
Pozdatín	x	2,4	5,4	17,3	105,2	5,7	0,2	9,8	0,09	460	34,5	149,5
	s	0,6	1,0	2,1	12,9	3,7	0,1	5,9				
Kojatín	x	3,4	5,5	26,9	147,0	6,4	0,2	11,0	0,07	475	34,6	192,6
	s	0,3	2,6	3,1	11,1	3,8	0,1	6,2				
Valdřikov	x	3,5	5,4	26,9	142,8	4,1	0,2	7,5	0,05	445	34,3	184,6
	s	0,7	0,7	3,2	17,4	3,6	0,1	6,1				
Nárameč	x	3,5	7,4	28,9	159,5	5,5	0,2	9,5	0,06	460	34,5	203,5
	s	1,0	0,9	6,1	32,4	3,9	0,2	6,5				

x – střední hodnota, s – směrodatná odchylka

Tabulka 2. Střední hodnoty koncentrací K, U a Th v horninách, plošných aktivit ^{137}Cs a ^{134}Cs , hodnoty kosmického záření a výsledného dávkového příkonu pro obce zájmového území Krucemburk

území Krucemburk, obec		K	U	Th	D_{aKUTh}	^{137}Cs	^{134}Cs	D_{aCs}	Cs/KUTh	nadm.v.	D_{akosm}	D_{a}
		% K	ppm eU	ppmeTh	nGy/h	kBq/m ²	kBq/m ²	nGy/h		m	nGy/h	nGy/h
Krucemburk	x	1,0	1,8	4,5	34,4	2,0	0,1	3,6	0,10	570	35,6	73,6
	s	0,3	0,3	0,9	5,9	0,2	0,1	2,1				
Staré Ransko	x	0,6	1,5	3,7	25,1	4,0	0,2	6,9	0,27	550	35,4	67,4
	s	0,1	0,5	0,9	5,2	0,3	0,1	2,1				
Hluboká	x	0,7	1,5	3,5	26,4	1,8	0,2	3,6	0,14	590	35,8	65,8
	s	0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,0	0,4				
Radostín	x	0,8	1,3	3,7	23,5	4,3	0,1	7,2	0,31	630	36,3	67,0
	s	0,3	0,5	0,3	12,5	1,7	0,0	2,8				
Vojnův Městec	x	1,4	2,4	4,8	46,0	3,2	0,2	5,8	0,06	590	35,8	87,6
	s	0,4	1,8	1,0	13,3	1,5	0,1	2,7				

x – střední hodnota, s – směrodatná odchylka

mořská výška zájmového území je v mezích 445–500 m. V uvedeném území je řada vodních ploch.

Celé zájmové území Budišov leží v ploše moldanubického plutonu zastoupeného třebíčským syenitovým masivem. Rozsáhlé trojúhelníkovité těleso třebíčského masivu

je tvořeno amfibol-biotitickými durbachity a granosyenity, v zájmovém území se nacházejí amfibol-biotitické durbachity různých zrnitostí. Durbachity a granosyenity paleozoického stáří jsou v Českém masivu horninami s nejvyšší regionální radioaktivitou podmíněnou vysokými obsahy

Tabulka 3. Střední hodnoty koncentrací K, U, Th, dávkového příkonu terestrického záření, radionuklidů Cs jaderného spadu, kosmického záření a jejich sumární hodnota D_a v zájmových územích Budišov a Krucemburk o N měřených profilech

zájmové území		K	U	Th	D_{aKUTh}	D_{aCs}	D_{akosm}	D_a	N
		% K	ppm eU	ppm eTh	nGy/h	nGy/h	nGy/h	nGy/h	
Budišov	x	3,2	5,9	24,0	135,2	10,0	34,5	179,7	61
	s	0,7	1,1	5,1	24,4	6,3	0,2	26,4	
Krucemburk	x	0,9	1,8	4,2	33,0	5,2	35,8	74,0	40
	s	0,4	0,6	1,0	9,1	2,7	0,3	9,5	

x – střední hodnota, s – směrodatná odchylka

K, U a Th. Vysoké koncentrace přírodních radionuklidů podmiňují podle radiometrické mapy České republiky 1 : 500 000 (MANOVÁ – MATOLÍN 1995) dávkový příkon terestrického záření gama v mezích 100–180 nGy/h.

Obec Krucemburk leží 20 km na SV od Havlíčkova Brodu a 2 km na JV od Ždírcce nad Doubravou. Zájmové území a blízké okolí k posouzení radioaktivity přírodního prostředí zahrnuje obce Krucemburk, staré Ransko, Hluboká, Radostín a Vojnův Městec. Území zahrnuje depresi směru SZ–JV omezenou na J dominantou ranského masivu a na S zvedajícím se reliéfem Železných hor. Nadmořská výška zájmového území je v mezích 550–630 m. Území zahrnuje ojedinělé rybníky.

Obec Krucemburk leží v sedimentech východního výběžku české křídové pánve. Horniny cenomanského a turonského stáří jsou nejčastěji zastoupeny slínovci, vápnitými pískovci, vápnitými spongility, písčitymi slepenci, méně jílovci a vápenci. Uvedené horniny české křídý patří převážně k nízkoradioaktivním horninám. Gabra a olivnická gabra ranského masivu jsou magmatity s nízkou a extrémně nízkou radioaktivitou. V malé vzdálenosti od severního okraje obce Krucemburk probíhá hranice sedimentů české křídý s granitoidy nasavrckého plutonu (hrubě a středně zrnité granity), s metamorfity vítanovské série (rohovce, sericitické a sericit-chloritické břidlice, svorové fylity) a vzdálenějšími migmatity svrateckého krystalinika. Uvedené horniny severně od Krucemburku náleží k nízké a středně radioaktivním. Žuly a granodiority trhokamenické oblasti, převážně tlakově postižené, podmiňují relativně nízké pole radioaktivity. V oblasti hornin vítanovské série, zastoupené metamorfity kambriického až svrchnoproterozoického stáří byla naměřena nízká radioaktivita. Migmatity svrateckého krystalinika, vyskytující se dále na SV od Krucemburku, patří v dané oblast ke středně radioaktivním horninám. Dávkový příkon terestrického záření gama je podle radiometrické mapy České republiky 1 : 500 000 (MANOVÁ – MATOLÍN 1995) na většině zájmového území v mezích 25–50 nGy/h.

Stanovení přírodních radionuklidů a radionuklidů jaderného spadu terénní gama-spektrometrií

Gama-spektrometrická měření byla realizována v souladu se současným poznáním, metodikami a standardy (IAEA

2003). Koncentrace přírodních radionuklidů K, U a Th v horninách a radionuklidy jaderného spadu ^{137}Cs a ^{134}Cs , s dlouhými poločasy přeměny, v půdách na zemském povrchu, byly stanoveny terénním gama-spektrometrickým měřením za použití přenosného gama spektrometru GS-256 se scintilačním detektorem NaI(Tl) 76 × 76 mm, energiovým rozlišením 7,6 % (pro E 661,6 keV) a digitálním zápisem dat. Specifické energie zájmových radionuklidů ^{137}Cs (662 keV), ^{134}Cs (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 Langenlebam 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 spektrometru 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 ^{137}Cs a ^{134}Cs byly určeny na PřF UK Praha modelovým měřením za užití sady zdrojů ^{137}Cs a ^{134}Cs v horninovém prostředí (PROKOP – MATOLÍN 1990). Stanovení přírodních radionuklidů a izotopu ^{137}Cs v horninách bylo ověřeno srovnávacím měřením v roce 2002 (MATOLÍN – KAŠPAREC – HANÁK 2003).

Terénní měření pro daný úkol bylo provedeno v dubnu a květnu 2003 na 61 profilech u obcí území Budišov a na 40 profilech u obcí území Krucemburk. Gama-spektrometrické 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. Pro stanovení středních hodnot umělých radionuklidů v různých typech půd s rozdílnou vertikální distribucí izotopů cesia bylo u každé obce měřeno 6 profilů, z toho 2 profily na polích, 2 na loukách a pastvinách a 2 v lese.

Výsledky terénního gama-spektrometrického měření

Koncentrace K, U a Th v horninách a plošné aktivity ^{137}Cs a ^{134}Cs 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 (\bar{x}) a směrodatné odchylky (s) koncentrací K, U a Th v horninách, plošných aktivit ^{137}Cs a ^{134}Cs 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 dávkových příkonů D_{a} přírodních a umělých zdrojů radioaktivity pro jednotlivé obce.

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 terénních měření. Relativní chybu stanovení ^{137}Cs , v zájmových územích o nízké plošné aktivitě cesia, lze odhadnout v mezích 4–18 %.

Zpracování dat a hodnocení výsledků

Tabulky 1 a 2 uvádějí střední hodnoty (\bar{x}) a směrodatné odchylky (s) koncentrací K, U a Th v horninách, plošných aktivit ^{137}Cs a ^{134}Cs 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 obce (UNSCEAR 1993) a součet dávkových příkonů přírodních a umělých zdrojů radioaktivity pro jednotlivé obce (D_{a}). Detailní údaje jednotlivých měření na profilech a na rozdílných půdách dokumentuje zpráva o výzkumu (MATOLÍN 2003).

Koncentrace přírodních radionuklidů K, U a Th v magmatických horninách na měřených profilech zájmové oblasti Budišov jsou v mezích 1,9–5,1 % K, 4,1–8,6 ppm eU, 14,8–36,6 ppm eTh a dávkový příkon terestrického záření v mezích 91,0–206,8 nGy/h. Koncentrace přírodních radionuklidů v nízkoaktivních sedimentárních, magmatických a metamorfovaných horninách zájmové oblasti Krucemburk jsou v mezích 0,4–1,9 % K, 0,5–3,4 ppm eU, 2,8–6,4 ppm eTh a dávkový příkon terestrického záření v mezích 16,4–56,1 nGy/h. Hodnoty dávkového příkonu terestrického gama záření přírodních radionuklidů D_{aKUTh} , jak je uvádějí data tabulek 1 a 2, lze srovnat s radioaktivitou regionálních geologických celků na území ČR. Radiometrická mapa České republiky 1 : 500 000 (MANOVÁ – MATOLÍN 1995) uvádí pro území ČR interval dávkového příkonu terestrického gama záření převážně 15–200 nGy/h, s krajními hodnotami do 245 nGy/h a se střední hodnotou 66 nGy/h.

Stanovené plošné aktivity ^{137}Cs indikované v zájmovém území Budišov s průměrnými hodnotami 4–7 kBq/m²

a v území Krucemburk s průměrnými hodnotami 2–4 kBq/m² odpovídají relativně nízké až střední kontaminaci území ČR v roce 1986. Poměr dávkového příkonu záření gama radionuklidů Cs jaderného spadu k terestrickému záření přírodních radionuklidů je v oblasti Budišov v mezích 5–10 % relativně, zatímco v území Krucemburk s nízkoaktivními horninami je tento podíl v mezích 6–31 %. Hodnoty plošné aktivity ^{134}Cs jsou extrémně nízké, pod mezí stanovitelnosti a pro stanovení dávkového příkonu záření radionuklidů Cs málo významné. Podle teoretického výpočtu zbývá při rozpadu ^{134}Cs za 17 let od kontaminace území (1986 až 2003) 0,0033 původního množství radionuklidu. Stanovené hodnoty dávkového příkonu izotopů cesia v lese (max), na loukách a pastvinách a na polích (min) se liší a odrážejí vertikální distribuci izotopů v odpovídajících typech půd. Z naměřených údajů vyplývá, že v lesních půdách je akumulace izotopů Cs nejbliže k zemskému povrchu, obdělávané zemědělské plochy (^{137}Cs) indikují hlubší uložení. Zjištěné plošné aktivity ^{137}Cs lze srovnat s údaji zjištěnými v ČR: v nejvíce kontaminovaných oblastech byly v roce 1986 zjištěny hodnoty vyšší než 100 kBq/m², v roce 2002 byly na těchto plochách měřeny hodnoty 18–46 kBq/m², zatímco slabě kontaminovaná území vykazují (2003) plošné aktivity ^{137}Cs v prvých jednotkách kBq/m².

Střední hodnoty koncentrací K, U a Th v horninách a dávkové příkony terestrického záření pro zájmové území Budišov a zájmové území Krucemburk uvádí tabulka 3. Sumární hodnota dávkového příkonu D_{a} zahrnuje záření K, U, Th, Cs a kosmické záření.

Zájmové území bylo účelově vymezeno v oblastech vysoce radioaktivních durbachitů třebíčského syenitového masivu a nízkoradioaktivních sedimentárních, magmatických a metamorfovaných hornin v okolí Krucemburku. Významná rozdílnost koncentrací K, U, Th a dávkového příkonu terestrického záření gama, odpovídající krajním situacím v České republice, je daty tab. 3 dokumentována. Údaje tabulky 3 jsou data využitelná pro charakteristiku radioaktivity životního prostředí a hledání cílových vztahů ke zdravotnímu stavu obyvatelstva.

Výzkum byl realizován za podpory Endokrinologického ústavu Praha a výzkumného záměru MSM 1131 00006 vedeného na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze.

Literatura

- IAEA (1989): Construction and Use of Calibration Facilities for Radiometric Field Equipment. – Technical Report Series No. 309, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA (2003): Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. – IAEA-TECDOC-1363, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ICRU (1994): Gamma-Ray Spectrometry in the Environment. International Commission on Radiation Units and Measurement Report 53, Bethesda, USA.
- IHE (1987): Zpráva o radiační situaci na území ČSSR po havárii jaderné elektrárny Černobyl I. – Účelová publikace IHE, Centrum hygieny záření, UISJP Zbraslav.
- MANOVÁ, M. – MATOLÍN, M. (1995): Radiometrická mapa České republiky 1 : 500 000. – Čes. geol. úst. Praha, 1–20.
- MATOLÍN, M. (2003): Terénní gamaspektrometrické stanovení přírodních

- radionuklidů, izotopů cesia a dávkového příkonu záření gama v oblastech Budišov a Krucemburk. – MS Endokrinolog. úst. Praha, Univ. Karl. v Praze, Přírodověd. fak. Praha.
- MATOLÍN, M. – KOBR, M. (1999): Comparison measurements of terrestrial radiation by geophysical instruments. – Proc. of the 5th Meeting of the EEGS, Budapest, paper WIP1.
- MATOLÍN, M. – DĚDÁČEK, K. – ZABADAL, S. (2002): Geofyzikální měření radioaktivity hornin a jaderného spadu na Broumovsku. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2001, 189–191.
- MATOLÍN, M. – KAŠPAREC, I. – HANÁK, J. (2003): Stanovení ^{137}Cs v půdách oblasti Jeseníků terénní gama-spektrometrií a ověření výsledků. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2002, Praha, 195–198.
- PROKOP, P. – MATOLÍN, M. (1990): Stanovení radionuklidů jaderného spadu terénní scintilační gamaspektrometrií. – Sborník symp. Hornická Příbram ve vědě a technice, sekce J, 151–163.
- ŠURÁŇ, J. (1998): Hodnocení efektivnosti metod vyhledávání uranových ložisek. – Uhlí, Rudy, geol. Průzk., 12, Praha, 387–389.
- UNSCEAR (1993): Sources and Effects of Ionizing Radiation. – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report, UN, New York.