

Testy spolehlivosti stanovení radonu na referenčních plochách

Testy spolehlivosti výsledků měření objemové aktivity radonu v půdním vzduchu jsou založeny na srovnání výsledků testované organizace s výsledky správce referenčních ploch a dalších organizací v den měření a se souborem dat všech předcházejících měření na referenčních plochách. Organizace ověřující si správnost hodnot stanovení objemové aktivity radonu v půdním vzduchu změří a stanoví vlastním postupem a přístrojem hodnoty u patnácti stabilizovaných bodů měřícké sítě na každé referenční ploše.

Výsledky vyjádřené v kBq/m³ radonu (²²²Rn) se testují počítačovým programem TestMOAR, sestaveným J. Bartoněm, pracovníkem oddělení Aplikované matematiky a výpočetní techniky PřF UK v Praze, za užití statistických metod. Data jsou podrobena třem dílčím testům.

Test 1 je založen na výpočtu rozdílů hodnot objemové aktivity radonu na jednotlivých bodech (N = 15) referenční plochy a mediánu odpovídajících hodnot uvedených správcem a dalšími organizacemi ve skupině v den měření. Test 1 je použit pro úroveň spolehlivosti = 1 %.

Test 2 určuje těsnost lineární regrese $y = a + bx$ a její parametry mezi objemovými aktivitami radonu v půdním vzduchu všech bodů tří referenčních ploch (N = 3 · 15 = 45), uvedenými testovanou organizací (y), a mediány (x) hodnot pro odpovídající body uvedenými správcem a organizacemi měřícími ve skupině. Test 2 je použit pro úroveň spolehlivosti = 1 %.

Test 3 stanoví aritmetické průměry objemové aktivity radonu v půdním vzduchu uvedené testovanou organizací pro jednotlivé referenční plochy a normuje je ve dvou krocích k odpovídajícím hodnotám správce a poté k hodnotám souboru dat všech předcházejících měření organizací na referenční ploše. Ideální hodnota normované veličiny je rovna 1, přípustné odchylky jsou v mezích 0,7–1,3. Test je proveden pro měření na každé referenční ploše.

Výsledný protokol uvádí vypočtené numerické údaje a kritické hodnoty jednotlivých testů. Kontrolní měření objemové aktivity radonu na referenčních plochách je organizováno správcem referenčních ploch (Přírodovědeckou fakultou Univerzity Karlovy v Praze, odd. užité geofyziky) pro skupiny zájemců.

Výzkum byl realizován v rámci VaV projektu č. R/2/2000 a při využití výsledků a za podpory výzkumného zájemu MSM 1131 00006.

Literatura

- MATOLÍN, M. – BARTOŇ, J. – JÁNĚ, Z. – KARPÍŠEK, P. – STEHLÍK, E. – ZOC, J. – ZOCOVÁ, J. (2001): Vývoj testovacích referenčních ploch pro stanovení objemové aktivity radonu v půdním vzduchu. – Zpráva, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha.
 ŠURÁŇ, J. (1998): Hodnocení efektivnosti metod vyhledávání uranových ložisek. – Uhlí, Rudy, geol. Průzk., 12, Praha, 387–389.
 sine (1999): Environmental Activities in Uranium Mining and Milling. – A Joint NEA/IAEA Report, Nuclear Energy Agency, OECD, Paris.

STANOVENÍ ¹³⁷CS V PŮDÁCH OBLASTI JESENÍKŮ TERÉNNÍ GAMA-SPEKTROMETRIÍ A OVĚŘENÍ SPOLEHLIVOSTI VÝSLEDKŮ

Ground gamma-ray spectrometry determination of ¹³⁷Cs in soils of the Jeseníky region and verification of its reliability

MILAN MATOLÍN¹ – IVAN KAŠPAREC² – JAROMÍR HANÁK³

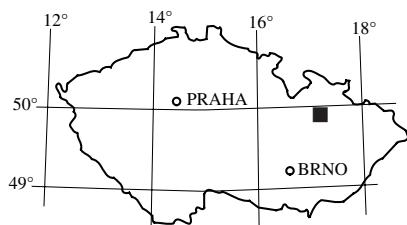
¹ Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, 128 43 Praha 2

² Exploranum CZ, s.r.o., Hudcová 56b, 621 00 Brno

³ Geofyzika, a.s., Ječná 29a, 621 00 Brno

(14-42 Rýmařov)

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



Abstract: The Jeseníky region in northern Moravia, Czech Republic, was a relatively highly contaminated area by nuclear fallout from Chernobyl accident in 1986, attaining locally ¹³⁷Cs surface activity of 100 kBq/m². Ground gamma-ray spectrometry with portable spectrometers GS-256, GR-320 and GR-130 was applied at the locality Klepáčov, Jeseníky region, in 2002. The objectives of field experiments were the estimates of ¹³⁷Cs in soil 16 years after nuclear fallout contamination, and determination of

precision and accuracy of ^{137}Cs field assays through comparison measurement by independently calibrated instruments and different data processing approaches. Very low concentration of natural radionuclides K, U and Th in amphibolites and gneisses of the Desná dome at the locality (Tab. 1) contrasted with a high 18–46 kBq/m² surface activity of ^{137}Cs (Tab. 2), prevailing by its dose rate over natural gamma radiation. Very good correspondence of ^{137}Cs independent assays, having a mean relative difference of 6 % (Tab. 2), proved the suitability of field scintillation gamma-ray spectrometry for nuclear fallout estimates.

Jaderný spad v oblasti Jeseníků

Kontaminace zemského povrchu štěpnými radionuklidy z období vzdušných zkoušek atomových zbraní (do 1960) a únik radionuklidů do volného ovzduší při havárii v Černobylu v roce 1986 vedly ke globálnímu a k lokálním zvýšením radiace. Podle regionálního monitorování radiační situace v letech 1986 a 1987 (IHE 1987) byla oblast Jeseníků a severní Moravy kontaminována v rámci sousedních zemí a bývalé ČSSR ve zvýšené míře. Oblast Jeseníky–Opava, s hodnotami plošné aktivity $^{137}\text{Cs} > 100 \text{ kBq/m}^2$ v roce 1986 vykazuje zvýšené hodnoty $> 35 \text{ kBq/m}^2$ po 16 letech od kontaminace. Přestože příspěvek dávkového příkonu gama-záření Cs-137 je na území ČR převážně v mezích do 10 nGy/h a tvoří malou část výsledného externího záření, v oblasti Jeseníků a severní Moravy byly v roce 1999 ještě měřeny hodnoty do 60 nGy/h, shodné s terestrickým zářením geologického podloží. Současným (2002) indikačním radionuklidem pro kontaminaci půd je izotop ^{137}Cs s poločasem přeměny 30,2 roku, zdroj záření beta a gama. Radioizotop ^{134}Cs s poločasem přeměny 2,06 roku vykazuje velmi nízké hodnoty podmezí detekovatelnosti. Vzhledem ke kumulaci ^{137}Cs ve vrchní vrstvě půdního profilu (cca 15 cm) a v rostlinném patře je jeho přítomnost v horninovém prostředí a možný přenos do potravinového řetězce potenciálním zdrojem zvýšení absorbovaných dávek záření u obyvatelstva. Vysoké akumulace radionuklidů jaderného spadu ve vybraných druzích biosféry byly povrzeny (KAŠPAREC – HANÁK 1999).

Stanovení ^{137}Cs v půdách území Jeseníků pozemním gamaspektrometrickým měřením a ověření spolehlivosti výsledků bylo realizováno srovnávacím měřením s přenosnými gama-spektrometry Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze (PřF UK) a Exploranium CZ, s.r.o. (Expl CZ), se sídlem v Brně, na lokalitě Klepáčov.

Terénní přenosné gama-spektrometry a jejich kalibrace

Spolehlivost výsledků terénního gamaspektrometrického stanovení izotopů cesia na zemském povrchu závisí především na kalibraci přístroje. Jako standardy se využívají území kontaminovaná radionuklidu cesia o známé plošné aktivitě (kBq/m²) nebo modely obohacené Cs. Ověřování spolehlivosti kalibrace, postupu měření a zpracování dat pro stanovení izotopů cesia se provádí srovnávacím měřením.

Mezinárodní akce kalibrace automobilových a přenosných gama-spektrometrů (Finnish Emergency Response Exercise – Résumé 95) byla uskutečněna na letištní ploše Vesivehmaa ve Finsku v roce 1995 srovnáním registrovaných četností impulsů (imp/s) v intervalu energie detekce ^{137}Cs , opravených na pozadí a příspěvky K, U a Th do tohoto intervalu energie ^{137}Cs , s hodnotou plošné aktivity ^{137}Cs území 50 kBq/m² udanou organizátory akce (GRASTY, COX 1996).

Mezinárodní srovnávací měření pro stanovení plošné aktivity ^{137}Cs a dávkového příkonu bylo provedeno v květnu až červnu 2002 v regionech Dumfries a Galloway v jihozápadním Skotsku, UK (Rés. 2002), jako součást projektu ECCOMAGS (European Calibration and Coordination of Mobile and Airborne Gamma Spectrometry). Letecké, automobilové a pozemní měření bylo realizováno na třech referenčních plochách za účasti osmi leteckých týmů, tří týmů realizujících automobilové měření a sedmi týmů pro pozemní gama-spektrometrii. Plošné aktivity ^{137}Cs na dvou referenčních plochách v mezích 22–200 kBq/m² byly účastníky stanoveny s vzájemnými rozdíly 13 % relativně, dávkové příkony v mezích 57–90 nGy/h byly stanoveny s rozdíly 35 % relativně (SANDERSON – CRESSWELL 2002).

Pro srovnávací měření a stanovení ^{137}Cs na lokalitě Klepáčov byly použity přenosné gama-spektrometry GS-256 (PřF UK), GR-320 (Expl CZ) a GR-130 (Expl CZ).

Gama-spektrometer GS-256 je 256kanálový analyzátor (výrobce Geofyzika Brno) se scintilačním detektorem NaI(Tl) 76 × 76 mm a energiovým rozlišením 7,6 % (pro E 661,6 keV). Pro stanovení K, U a Th byl 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), Dosimetrickým ústavem AV ČR (1996) a Státním ústavem radiační ochrany Praha (1997) – viz MATOLÍN a KOBR (1999). Kalibrace gama-spektrometru GS-256 pro stanovení Cs byla realizována 18. října 1989 v oblasti kontaminované jaderným spadem u Blahové, Dunajská Streda, za účasti Výzkumného ústavu jaderných elektráren Trnava, Ústavu dosimetrie Bratislava, Geofyziky Brno, firmy Ekosur Piešťany a Přírodovědecké fakulty UK v Praze, srovnávacím leteckým a pozemním měřením 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 plošné aktivity izotopů Cs bylo ověřeno v oblastech ČR s nízkou a vysokou kontaminací jaderným spadem (sine 1987). Poslední kalibrace gama-spektrometru pro stanovení K, U, Th a stanovení konstant pro určení izotopů Cs byla realizována 19. října 2000 na kalibrační základně v Bratkovicích u Příbrami na cylindrických standardech K, U a Th o průměru 2 m a na nulovém standardu. Pozadí přístroje bylo určeno měřením na vodní hladině Máchova jezera (1997) a ve Lhotě u Staré Boleslavi (1998).

Spektrometr GR-320 (výrobce Exploranium) má 512 kanálů, pro měření na tomto úkole bylo použito 256 kanálů. Detektor NaI(Tl) 76 × 76 mm má energiové rozlišení 7,3 % (pro E 661,6 keV). Spektrometr byl kalibrován na základně v Bratkovicích (K, U a Th) v dubnu 2002 a za pomoci odberového bodu A2 opěrného profilu Klepáčov, na kterém byla stanovena plošná kontaminace ^{137}Cs laboratorním měřením. Spektrometr GR-130 (výrobce Exploranium), kterým byl měřen dávkový příkon záření gama, byl ověřen ČMI, Inspektorátem pro ionizující záření v Praze.

Pozemní gamaspektrometrická měření na lokalitě Klepáčov a výsledky stanovení přírodních radionuklidů a ^{137}Cs

Klepáčov leží 4,5 km na V od Sobotína v Hrubém Jeseníku. Měření byla realizována 2. července 2002 na náhorní plošině na profilech A, B, C, D situovaných v lese (A, D) a na louce (B, C). Vzdálenost měřených stanovišť na profilech byla 5 m se značením stanovišť A1, A2...D3. Gamaspektrometrická měření byla provedena s detektorem situovaným na zemi ($h = 0$ m) a ve výšce 1 m nad zemským povrchem ($h = 1$ m), s časem záměr $t = 4$ min. Povrch terénu

Tabulka 1. Hodnoty hmotnostních koncentrací přírodních radionuklidů K, U a Th v horninách stanovené spektrometry GS-256 a GR-320 na profilech lokality Klepáčov (střední hodnoty x a směrodatné odchylky souboru dat s)

bod a popis	GS-256			GR-320		
	% K	ppm eU	ppm eTh	% K	ppm eU	ppm eTh
A1 les	0,6	1,1	3,6	0,5	1,1	4,0
A2 les	0,5	1,1	4,2	0,5	1,2	3,8
A3 les	0,7	1,2	3,6	0,6	1,4	3,6
A4 les	0,6	1,6	3,3	0,5	0,9	4,6
A5 les	0,5	0,8	4,9	0,5	1,1	4,5
B1 louka	0,6	1,3	3,3	0,6	1,2	4,1
B2 louka	0,7	1,1	3,7	0,5	1,4	3,1
B3 louka	0,7	1,6	2,9	0,6	1,2	4,3
B4 louka	0,7	2,0	4,1	0,8	1,2	3,8
B5 louka	0,8	1,8	3,6	0,7	1,4	4,2
C1 louka	0,7	1,6	5,0	0,6	1,6	4,3
C2 louka	0,7	0,9	4,7	0,6	1,3	5,0
C3 louka	0,6	1,3	4,6	0,7	1,4	4,0
C4 louka	0,7	1,3	3,3	0,5	1,6	3,7
C5 louka	0,7	1,2	4,2	0,6	1,6	3,4
D1 les	1,2	1,4	3,3	1,0	1,6	4,9
D2 les	0,7	1,3	4,2	0,6	1,1	3,9
D3 les	0,7	2,0	2,9	0,7	1,2	4,9
x	0,69	1,37	3,86	0,62	1,31	4,12
s	0,15	0,34	0,66	0,13	0,21	0,53

byl rovinatý.

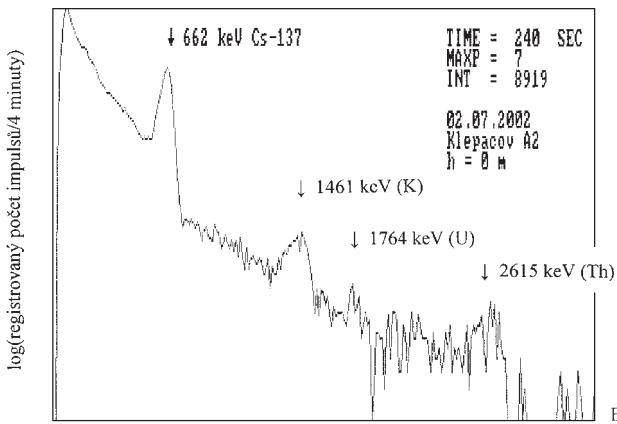
Spektrometrem GS-256 bylo záření gama registrováno v pěti intervalech energie zvolených pro linie emise gama-záření ^{137}Cs (662 keV), ^{134}Cs (796 keV), K (1461 keV), U (1764 keV) a Th (2615 keV). Pro stanovení izotopů cesia byly zvoleny intervaly energie záření gama 618–705 keV (^{137}Cs) a 743–843 keV (^{134}Cs). Za použití kalibračních konstant a korekcí byly naměřené hodnoty zpracovány a vyjádřeny v jednotkách hmotnostní koncentrace K, U, Th v horninách a v jednotkách plošné aktivity izotopů cesia. Dávkový příkon gama-záření ve vzduchu ve výšce 1 m byl pro přírodní radionuklidy stanoven z koncentrací K, U, Th v horninách výpočtem (sine 1991), pro izotopy Cs podle převodních vztahů kalibrace. V bodech měření byla 256kanálovým analyzátorem GS-256 registrována spektra energie záření gama.

Spektrometrem GR-320 byla zaznamenávána celá naměřená spektra energie záření gama, která pak byla zpracována metodou nejmenších čtverců, kdy se naměřené spektrum porovnává se spektry standardů. Součástí výpočetního postupu je i korekce zesílení přístroje.

Údaje tabulky 1 ukazují na velmi nízké koncentrace přírodních radionuklidů K, U a Th v horninách lokality Klepáčov, příslušejících ke krystaliniku desenské klenby, za-

Tabulka 2. Hodnoty plošné aktivity ^{137}Cs v horninách stanovené spektrometry GS-256 a GR-320 na profilech lokality Klepáčov a jejich poměr P

bod a popis	GS-256	GS-256	GR-320	P (^{137}Cs) = GS/GR
	^{137}Cs (kBq/m ²)	^{134}Cs (kBq/m ²)	^{137}Cs (kBq/m ²)	
A1 les	25,8	0,2	27,4	0,94
A2 les	42,5	0,1	46,6	0,91
A3 les	39,6	0,1	40,0	0,99
A4 les	28,3	0,0	30,1	0,94
A5 les	34,9	0,0	34,8	1,00
B1 louka	32,0	0,3	33,5	0,96
B2 louka	27,6	0,2	29,6	0,93
B3 louka	23,1	0,2	25,2	0,92
B4 louka	24,5	0,0	26,4	0,93
B5 louka	21,8	0,1	24,0	0,91
C1 louka	26,4	0,2	28,6	0,92
C2 louka	23,7	0,2	24,3	0,98
C3 louka	24,6	0,3	26,3	0,94
C4 louka	17,7	0,1	20,7	0,86
C5 louka	19,6	0,1	21,1	0,93
D1 les	36,9	0,5	37,4	0,99
D2 les	34,2	0,2	35,9	0,95
D3 les	34,5	0,3	38,8	0,89
x	28,76		30,59	
s	7,06		7,13	



Obr. 1. Spektrum energie záření gama na bodě A2 lokality Klepáčov, Jeseníky.

stoupencích amfibolity a pararulami. Odpovídající hodnoty dávkového příkonu přírodních radionuklidů v mezích 23–32 nGy/h potvrzují nízkou radioaktivitu přítomných hornin, patrnou při srovnání s průměrnou hodnotou terestrického záření gama ČR 66 nGy/h a maximy přesahujícími 200 nGy/h. Hodnoty plošné aktivity ^{137}Cs 18 až 46 kBq/m² (viz tab. 2) jsou relativně vysoké a potvrzují značnou kontaminaci regionu Jeseníků identifikovanou v roce 1986 (sine 1987) a potvrzenou řadou následných detailních studií. Podle výpočtu úbytku ^{137}Cs rozpadem ($T = 30$ roků) je zbytková aktivita (2002) rovna 0,69 původní hodnoty (1986), avšak reálný pokles povrchové aktivity spojený s infiltrací radioizotopu do půdního profilu je větší a naměřené hodnoty v r. 2002 ukazují na vysokou úroveň kontaminace v roce 1986. Údaje tabulky 2 potvrzují rozdílnou akumulaci ^{137}Cs v lesních a lučních půdách ilustrovanou průměrnými hodnotami 35,5 kBq/m² a 25,0 kBq/m². Sumární hodnoty dávkového příkonu přírodních radionuklidů v horninách a přítomného ^{137}Cs , stanovené na lokalitě Klepáčov spektrometrem GR-130 ve výšce 1 m nad zemí, jsou v mezích 56–72 nGy/h. Dříve stanovené vertikální gradienty (úbytky) záření gama přírodních radionuklidů na rozdíl výšky 1 m od zemského povrchu 0,90 pro K (1,46 MeV), 0,91 pro U (1,76 MeV), 0,93 pro Th (2,62 MeV) a odpovídající měřením určený pokles záření gama na 0,69 pro ^{137}Cs na lesních plochách a 0,76 na loukách ukazuje na lokálnost zdroje ^{137}Cs akumulovaného na povrchu země. Vysoký poměr dávkového příkonu radionuklidů Cs ku dávkovému příkonu přírodních radionuklidů v horninách, odpovídající přibližně dvojnásobku v lesích a 1,5 násobku na loukách, je na lokalitě Klepáčov příznivý pro spolehlivé stanovení izotopů Cs.

Algoritmus výpočtu plošné aktivity ^{137}Cs z naměřených hodnot přenosného spektrometru GS - 256 uplatňuje stanovení obou izotopů ^{137}Cs a ^{134}Cs . Radionuklid ^{134}Cs s poločasem přeměny $T = 2,06$ roku má po 16 letech (2002) po kontaminaci z havárie jaderného reaktoru v Černobylu

(1986) zbytkovou aktivitu 0,0046 původní hodnoty. Vzhledem ke známému přibližnému poměru $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs} = 2$ v době kontaminace (1986) lze pomocí měřením určeného ^{137}Cs výpočtem stanovit současnou (2002) odpovídající očekávanou hodnotu ^{134}Cs na lokalitě Klepáčov menší než 0,1 kBq/m². Hodnoty určené měřením (tab. 2) jsou převážně v mezích do 0,3 kBq/m², s průměrnou hodnotou 0,16 kBq/m², pod mezí detekovatelnosti radionuklidu při zvolené metodice měření, a odchyly od této hodnoty odpovídají fluktuacím radioaktivnosti měřených zdrojů. Shoda teoretické hodnoty velmi nízké plošné aktivity ^{134}Cs a naměřených hodnot potvrzuje spolehlivost dat a kalibračních postupů.

Spektra energie záření gama registrovaná na lokalitě Klepáčov ověřují přítomnost ^{137}Cs výrazným píkem na energii 662 keV (obr.1). Nevýrazné píky v oblastech energie 1461 keV, 1764 keV a 2615 keV indikují nízkou radioaktivitu hornin lokality Klepáčov. Radioizotop ^{134}Cs s energií emise 796 keV, ve shodě s numerickými údaji v tabulce 2, není ve spektru patrný.

Pozemní měření přenosnými gama-spektrometry GS-256, GR-320, a GR-130 na lokalitě Klepáčov v Jeseníkách v červenci 2002 potvrdila dosud relativně vysokou kontaminaci půd radionuklidem ^{137}Cs a nízkou přírodní radioaktivitu hornin desenské klenby. Srovnávací měření plošné aktivity ^{137}Cs nezávisle kalibrovanými spektrometry GS-256 a GR-320, při rozdílných postupech zpracování naměřených hodnot, vykázala velmi dobrou shodu výsledků, definovanou průměrnou ($N = 18$) relativní odchylkou dat 6 %.

Výzkum byl realizován v roce 2002 v rámci úkolu ČGS č. 6334 a zpracován při využití výsledků a za podpory výzkumného zámeru MSM 1131 00006.

Literatura

- GRASTY, R. L. – COX, J. R. (1996): A carbone gamma-ray spectrometer system for radioactivity mapping and environmental monitoring. – Paper presented at the Seminar: Exercise Resumé 95, Copenhagen, Denmark 17–19 January, 1996.
- KAŠPAREC, I. – HANÁK, J. (1999): Radioaktivní prvky v životním prostředí na vybraných lokalitách v okrese Šumperk. – MS OÚ Šumperk.
- MATOLÍN, M. – KOBR, M. (1999): Comparison measurements of terrestrial radiation by geophysical instruments. – Proc. of the 5th Meeting of the EGGS, Budapest, paper WIP1.
- PROKOP, P. – MATOLÍN, M. (1990): Stanovení radionuklidů jaderného spadu terénní scintilační gamaspektrometrií. – Sborník symp. Hornická Příbram ve vědě a technice, sekce J, 151–163.
- SANDERSON, D. C. W. – CRESSWELL, A. J. (2002): ECCOMAGS Project – Exercise Intercomparison Report. – Report June 2002, Scottish Universities Research and Reactor Centre, UK.
- sine (1987): Zpráva o radiační situaci na území ČSSR po havárii jaderné elektrárny Černobyl I. – Účel. publ. IHE, Centrum hygieny záření, ÚISJP Zbraslav.
- sine (1991): Airborne Gamma-ray Spectrometer Surveying. – Technical Report Series No. 323, International Atomic Energy Agency, Vienna.