

Projektnummer/Project no Uppdragsgivare/Client

E41375 Strålsäkerhetsmyndigheten
FoT-område

Inget FoT-område

Författare/Author
Göran ÅgrenDatum/Date Memo nummer/Number
2022-08-15 FOI Memo 7912

Utökad teoretisk kalibrering av strålskyddsinstrumentet Automess för fotonbestrålning från markkontamination

Inledning

Strålskyddsinstrumentet Automess [1] har, på riksmätplatsen för dosimetri (RMP) vid SSM, kalibrerats för miljödosekvivalent (H^*) och riktningsdosekvivalent (H') i fotonstrålfält från ^{60}Co , ^{137}Cs och ^{241}Am . Instrumentet benämns vidare i föreliggande arbete som dosimeter. Strålkällorna som användes var punktformiga och kalibreringarna genomfördes vid olika avstånd mellan strålkälla och dosimeter, samt vid olika fältriktningar där vinkeln mellan dosimeterns centralaxel och strålfältets nominella riktning var 30, 60 eller 90 grader [2].

Baserat på kalibreringarna vid SSM samt Monte Carlo simuleringar [3], togs korrektionsfaktorer fram i detta arbete. Dessa ska appliceras på värden som kommer att avläsas på dosimetern vid mätningar där utbredd markkontamination är aktuell. Tre kontaminationsgeometrier beaktades: (1) ytkontamination; (2) markkontamination ner till 1 cm djup samt (3) s.k. beredskapsgeometri där kontamination i 2 cm tjockt lager i mark med en densitet på $0,5 \text{ g/cm}^3$ antas. Kontaminationen har i dessa tre geometrier antagits vara homogent fördelad. Sönderfallsdata från DDEP [4] användes i simulering av nukliderna och ämneskompositionen för luft och mark hämtades från FGR 12 [5], om annat inte anges.

Eftersom parametern luftkerma (K_{luft}) var en central del i beräkningarna, genomfördes först simuleringar för luftkerma där resultaten jämfördes med referensdata.

Bestämning av luftkerma och jämförelse med referensdata

Luftkerma 1 m ovanför mark har genom simuleringar bestämts för ett antal fotonenergier och två strålningsgeometrier, för jämförelse med referensdata. Simuleringar för ytkontamination med ^{60}Co , ^{137}Cs och ^{241}Am jämfördes med motsvarande data från ICRU 53 [6], och data från FGR 12 [5] användes för jämförelser vid diskreta fotonenergier med yt- och 1 cm djup kontamination. Statistiska osäkerheten vid dessa simuleringar varierade mellan 0.01 %-0.4 %, där de största osäkerheterna gällde kontamination i mark. Som figur. 1 visar, är skillnaden mellan simulerade data från FOI och referensdata störst vid låga fotonenergier (5 %) inom det undersökta energiintervallet. Figuren visar samtidigt att differensen mellan referenserna är generellt större än avvikelserna mellan referensdata och FOI:s simulerade data. Anledningen till avvikelserna kan bero på skillnader i simuleringsteknik, skillnader i materialkompositionen i mark och luft, samt skillnader i tvärsnittsdata som använts vid de olika beräkningarna. Detta har dock inte närmare utretts här.

Segmenterade simuleringar

Vid dessa simuleringar delades marken under dosimetern i olika stora ytsegment. Storleken på dessa ytsegment baserades på den vinkel som använts vid SSM:s kalibreringar. Figur 2 visar schematiskt utbredningen av ytor som representerar vinkelintervallen $0-30^\circ$, $30^\circ-60^\circ$ respektive $60^\circ-\alpha$. Storleken på vinkeln α bestäms av använd cut-off distans som i sin tur är beroende på fotonenergin.

Titel/Title

Utökad teoretisk kalibrering av strålskyddsinstrumentet Automess för fotonbestrålning från markkontamination

Memo nummer/Number

FOI Memo 7912

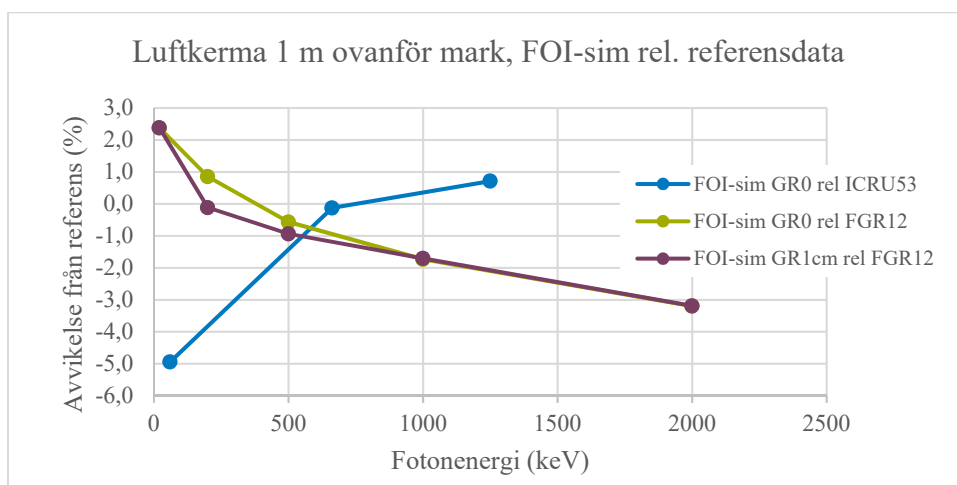


Fig. 1. Jämförelse mellan simulerad luftkerma vid FOI (FOI-sim) och referensdata vid ytkontamination (GR0) och 1 cm djup markkontamination (GR1cm).

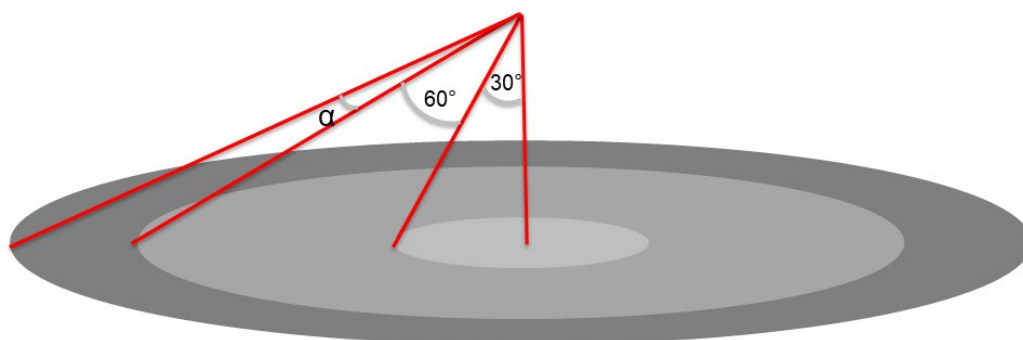


Fig. 2. Schematisk illustration (ej skalenlig) av vinkelsegmenten och motsvarande ytor dessa representerar på marken. Vinkeln 0-30° benämns segment 1, 30-60° segment 2 och 60°- α segment 3.

De Cut-off distanser som används i detta arbete togs fram för olika strålningsgeometrier och fotonenergies i en tidigare FOI-studie [7]. Cut-off distanserna bestämdes på ett sådant sätt att en utökning av ytans radie med en medelkorda längd för aktuella fotoner inte skulle bidra med mer än 0,1 % till dosen i en vävnadsekvivalent sfär placerad i mitten av ytan en meter ovanför marknivån. Simuleringarna gjordes för två olika höjder över mark, analogt med kalibreringsavstånden som har tillämpats vid RMP [2]. Tabell 1a visar dosraterna för respektive nuklid och geometri där GR0 och GR1cm betecknar ytbeläggning och markkontamination ner till 1 cm. GR2cmb betecknar beredskapsgeometrin. Tabell 1b visar de relativa bidragen från olika segment till total luftkerma, uttryckt i procent för de olika strålningsgeometrierna.

Bestämning av miljödosekvivalent

Tabell 2 visar en sammanställning av kalibreringsresultaten från RMP [2] i form av koefficienter för avlästa värden på Automess vid de olika strålningsgeometrierna per angiven luftkerma. $H^*m(0)$ anger avläst värde vid vinkel noll grader mellan strålfältets nominella riktning och dosimeterns centralaxel, dvs. bestrålning framifrån och $H^*m(90)$ anger detsamma vid vinkeln 90 grader. Dessa koefficienter applicerades på beräknade värden för luftkerma (K_{luft}) för de olika segmenten i tabell 1 för att beräkna det förväntade värdet från dosimetern vid de olika bestrålningssituationerna. Det bör noteras att $H^*m(0)/K_{luft}$ applicerades på luftkerma för segment 1 (se Figur 2), $H^*m(30)/K_{luft}$ applicerades på luftkerma för segment 2 och $H^*m(60)/K_{luft}$ applicerades på luftkerma för segment 3.

Titel/Title

Memo nummer/Number

Utökad teoretisk kalibrering av strålskyddsinstrumentet Automess för fotonbesträlning från markkontamination

FOI Memo 7912

Undantaget från detta var ^{241}Am där $H^*m(90)/K_{\text{luft}}$ applicerades på luftkerma för segment 3. Detta för att göra en konservativ bestämning av den slutliga miljödosekvivalent som beräknades. I de övriga fallen var variationerna i $H^*m(\alpha)/K_{\text{luft}}$ relativt små för de närliggande segmenten och valet av koefficient för dessa påverkade inte slutresultatet nämnvärt. $H^*_{\text{ref}}/K_{\text{luft}}$ som hämtades från ICRP 74 [8] applicerades på det totala luftkerma som beräknats för respektive geometri. Resultaten är sammanställda i tabell 3.

Utifrån bidragen från de olika segmenten beräknades en total miljödosekvivalent som förväntas avläsas på Automess (H^*m) vid de ingående bestrålningsgeometrierna där bidraget kommer från flera vinkelsektioner. H^*_{ref}/H^*m (sista kolumnen i tabell 3) beräknades sedan med hjälp av H^*m/K_{luft} (tabell 3) och $H^*_{\text{ref}}/K_{\text{luft}}$ (tabell 2). Denna kvot bör användas på värden som uppmätts med Automess för att bestämma referens (den 'sanna') miljödosekvivalent.

Tabell 1a. Kermarat i luft för de olika ytsegmenten och strålningsgeometrierna. GR0, GR1cm och GR2cmb.

Nuklid	Kalibrerings- avstånd (m)	Geometri	Kermarat i luft ($\mu\text{Gy/h}$)/(kBq/m ²) vid GR0 och ($\mu\text{Gy/h}$)/(kBq/m ³) vid GR1cm och GR2cmb			
			Segment1	Segment2	Segment3	Total
			0-30 grader	30-60 grader	60-90 grader	
Cs-137	1	GR0	7,88E-05	3,05E-04	2,14E-03	2,53E-03
Cs-137	3	GR0	7,92E-05	3,04E-04	1,63E-03	2,01E-03
Cs-137	1	GR1cm	7,85E-05	2,99E-04	1,26E-03	1,64E-03
Cs-137	3	GR1cm	7,93E-05	2,99E-04	1,11E-03	1,49E-03
Cs-137	1	GR2cmb	7,76E-05	3,00E-04	1,43E-03	1,81E-03
Cs-137	3	GR2cmb	7,91E-05	3,01E-04	1,24E-03	1,62E-03
Co-60	1	GR0	3,03E-04	1,17E-03	8,80E-03	1,03E-02
Co-60	3	GR0	3,03E-04	1,17E-03	6,71E-03	8,18E-03
Co-60	1	GR1cm	2,99E-04	1,15E-03	5,24E-03	6,69E-03
Co-60	3	GR1cm	3,02E-04	1,15E-03	4,66E-03	6,11E-03
Co-60	1	GR2cmb	2,96E-04	1,15E-03	5,93E-03	7,38E-03
Co-60	3	GR2cmb	3,01E-04	1,16E-03	5,16E-03	6,62E-03
Am-241	1	GR0	2,89E-05	1,04E-04	2,81E-04	4,13E-04
Am-241	2	GR0	2,53E-05	8,59E-05	1,78E-04	2,89E-04
Am-241	1	GR1cm	6,49E-06	2,00E-05	5,12E-05	7,77E-05
Am-241	2	GR1cm	6,19E-06	1,90E-05	4,63E-05	7,15E-05
Am-241	1	GR2cmb	8,25E-06	2,54E-05	6,44E-05	9,80E-05
Am-241	2	GR2cmb	7,77E-06	2,36E-05	5,71E-05	8,85E-05

Titel/Title

Memo nummer/Number

Utökad teoretisk kalibrering av strålskyddsinstrumentet Automess för fotonbesträlning från markkontamination

FOI Memo 7912

Tabell 1b. Relativt bidrag (%) till total kermarat i luft för de olika ytsegmenten och strålningsgeometrierna. GR0, GR1cm och GR2cmb.

Nuklid	Kalibrerings- avstånd (m)	Geometri	Relativt bidrag till kerma i luft från olika segment (%)		
			Segment1	Segment2	Segment3
			0-30 grader	30-60 grader	60-90 grader
Cs-137	1	GR0	31	12,1	84,8
Cs-137	3	GR0	3,9	15,1	80,9
Cs-137	1	GR1cm	4,8	18,3	76,9
Cs-137	3	GR1cm	5,3	20,0	74,7
Cs-137	1	GR2cmb	4,3	16,6	79,1
Cs-137	3	GR2cmb	4,9	18,6	76,6
Co-60	1	GR0	2,9	11,4	85,6
Co-60	3	GR0	3,7	14,3	82,0
Co-60	1	GR1cm	4,5	17,2	78,3
Co-60	3	GR1cm	4,9	18,8	76,2
Co-60	1	GR2cmb	4,0	15,6	80,4
Co-60	3	GR2cmb	4,6	17,5	78,0
Am-241	1	GR0	7,0	25,0	68,0
Am-241	2	GR0	8,8	29,7	61,5
Am-241	1	GR1cm	8,3	25,8	65,9
Am-241	2	GR1cm	8,6	26,6	64,8
Am-241	1	GR2cmb	8,4	25,9	65,7
Am-241	2	GR2cmb	8,8	26,7	64,5

Tabell 2. Koefficienter för miljödosekvivalent per luftkerma hämtade från kalibreringsprotokoll från RMP och ICRP74.

Nuklid	SSM-kal Avstånd (m)	SSM-kal K_{luft} (μ Gy/h)	ICRP74 H^*_{ref}/K_{luft}	Koefficient för $H^*_{automess}$ vid SSM-kalibreringar			
				$H^*m(0)/K_{luft}$ (Sv/Gy)	$H^*m(30)/K_{luft}$ (Sv/Gy)	$H^*m(60)/K_{luft}$ (Sv/Gy)	$H^*m(90)/K_{luft}$ (Sv/Gy)
Cs-137	1	69,2	1,2	1,24	1,31	1,37	1,37
Cs-137	3	7,6	1,2	1,23	1,29	1,30	1,32
Co-60	1	27,8	1,16	1,30	1,38	1,44	1,45
Co-60	3	3,0	1,16	1,29	1,34	1,37	1,38
Am-241	2	36,2	1,74	1,36	1,43	1,34	1,07

Titel/Title

Memo nummer/Number

Utökad teoretisk kalibrering av strålskyddsinstrumentet Automess för fotonbesträlning från markkontamination

FOI Memo 7912

Tabell 3. Miljödosekvivalent som förväntas avläsas på Automess vid de olika bestrålningsgeometrierna och förhållandet mellan det förväntade avlästa (H^*m) och referensvärdet (H^*_{ref}).

Nuklid	Kalibrerings- avstånd (m)	Geometri	Förväntad avläst miljödosekvivalent med Automess ($\mu\text{Sv/h}$)/(kBq/m ²) vid GR0 och ($\mu\text{Sv/h}$)/(kBq/m ³) vid GR1cm och GR2cmb					H^*m/K_{luft}	H^*_{ref}/H^*m
			$H^*m(0)$	$H^*m(30)$	$H^*m(60)$	Total H^*m			
Cs-137	1	GR0	9,74E-05	4,00E-04	2,94E-03	3,44E-03	1,362	0,88	
Cs-137	3	GR0	9,71E-05	3,92E-04	2,12E-03	2,61E-03	1,298	0,92	
Cs-137	1	GR1cm	9,70E-05	3,93E-04	1,73E-03	2,22E-03	1,356	0,89	
Cs-137	3	GR1cm	9,73E-05	3,86E-04	1,45E-03	1,94E-03	1,296	0,93	
Cs-137	1	GR2cmb	9,59E-05	3,94E-04	1,97E-03	2,46E-03	1,358	0,88	
Cs-137	3	GR2cmb	9,70E-05	3,89E-04	1,62E-03	2,10E-03	1,297	0,93	
Co-60	1	GR0	3,92E-04	1,62E-03	1,27E-02	1,47E-02	1,428	0,81	
Co-60	3	GR0	3,93E-04	1,57E-03	9,21E-03	1,12E-02	1,364	0,85	
Co-60	1	GR1cm	3,88E-04	1,59E-03	7,54E-03	9,52E-03	1,422	0,82	
Co-60	3	GR1cm	3,91E-04	1,54E-03	6,39E-03	8,32E-03	1,362	0,85	
Co-60	1	GR2cmb	3,84E-04	1,59E-03	8,53E-03	1,05E-02	1,424	0,81	
Co-60	3	GR2cmb	3,90E-04	1,55E-03	7,08E-03	9,02E-03	1,363	0,85	
Am-241	1	GR0	3,93E-05	1,48E-04	3,00E-04	4,87E-04	1,178	1,48	
Am-241	2	GR0	3,43E-05	1,23E-04	1,90E-04	3,47E-04	1,201	1,45	
Am-241	1	GR1cm	8,81E-06	2,86E-05	5,46E-05	9,21E-05	1,185	1,47	
Am-241	2	GR1cm	8,40E-06	2,72E-05	4,95E-05	8,50E-05	1,189	1,46	
Am-241	1	GR2cmb	1,12E-05	3,63E-05	6,87E-05	1,16E-04	1,186	1,47	
Am-241	2	GR2cmb	1,06E-05	3,38E-05	6,09E-05	1,05E-04	1,190	1,46	

Diskussion

Miljödosekoefficienterna som framgår av tabell 2 är baserade på kalibreringar på RMP med punktformade strålkällor. Vinkeldistributionen för fotoner som träffar dosimetern kan i dessa geometrier förväntas vara annorlunda jämfört med distributionen för fotoner som träffar dosimetern vid de utbredda strålfält som segmenten 1-3 representerar här. För att kunna beräkna koefficienter med större noggrannhet för gällande geometrier behöver dosimetern modelleras för Monte Carlo simulering av riktningensresponsen. I sådana modelleringar kan kalibreringarna från RMP användas för att ”trimma” in dosimetermodellen så att simuleringarna genererar resultat som är jämförbara med RMP:s resultat vid kalibreringsgeometrierna. Vidare kan det vara av värde att ta fram en uppdaterad tabell för H^*/K_{luft} för olika fotonenergier motsvarande de som anges i ICRP 74, dock med senaste generationen av stråltransportalgoritmer då beräkningarna som ligger till grund för den rapporten är gjorda med Monte Carlo simuleringar för över 20 år sedan.

Titel/Title

Utökad teoretisk kalibrering av strålskyddsinstrumentet Automess för fotonbesträlning från markkontamination

Memo nummer/Number

FOI Memo 7912

Referenser

- [1] Automess Operating Manual for the Scintillator Probes 6150AD-b, 6150AD-b/H, 6150AD-b/E, Scintillator Probe 6150AD-b, Automation und Messtechnik GmbH, 2003
- [2] Kalibrering av strålskyddsinstrument avseende miljödosekvivalent, RMPS15-3244B-beredskap, 2015
- [3] Los Alamos National Laboratory, MCNP- A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, LA-UR-03-1987, 2003 (Rev. 2008).
- [4] Decay Data Evaluation Project, Laboratoire National Henri Becquerel, <http://www.nucleide.org/DDEP.htm>
- [5] K F Eckerman, J C Ryman, Federal Guidance Report No. 12, External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil, EPA-402-R-93-081, Oak Ridge National Laboratory, 1993
- [6] International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU), Gamma(?) -Ray Spectrometry in the Environment, ICRU Report 53, 1994
- [7] J B Gogani, G Ågren, Cut-off distances for environmental photon exposures, FOI-D--0901--SE, 2019
- [8] ICRP, Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, ICRP Publication 74, Ann. ICRP 26 (3/4), 1996