



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

Snabba metoder att mäta radioaktiva ämnen i människokroppen - bättre underlag för beslut

FORSKNING

Författare: Professor Mats Isaksson, Sahlgrenska akademien, Göteborgs universitet

MSB:s kontaktpersoner:

Pelle Postgård, 010-240 5036

Svante Ödman, 010-240 4325

Publikationsnummer MSB 949-december 2015

ISBN 978-91-7383-625-8

Förord

Olyckor och avsiktliga händelser som innebär spridning av radioaktiva ämnen kan leda till att insatspersonal och allmänhet utsätts för dessa, såväl utanpå som inuti kroppen. Vid en olycka är det därför viktigt att kunna mäta snabbt och effektivt för att kunna uppskatta stråldos och behov av vidare åtgärder. Helkroppsmätning syftar till att bestämma mängden av radioaktiva ämnen i hela kroppen och kan utföras på olika sätt, beroende på situationen och på tillgänglig utrustning. Utöver helkroppsmätning kan även vissa organspecifika mätningar utföras, t.ex. för att uppskatta mängden radioaktivt jod i sköldkörteln.

Projektets syfte har varit att möjliggöra snabba och noggranna helkroppsmätningar av allmänhet och räddningspersonal avseende kroppsinnehåll av radioaktiva ämnen i samband med händelser som innebär spridning av radioaktiva ämnen (RN-händelser). I detta arbete har därför undersökts hur mätresultatet från helkroppsmätningar på bästa sätt kan kopplas till det faktiska kroppsinnehållet av radioaktiva ämnen.

Innehållsförteckning

1. Bakgrund	7
1.1 Varför behövs helkroppsmätning?	7
1.2 Hur fungerar helkroppsmätning?	8
1.3 Interdosimetriska grunder	9
2. Projektbeskrivning	11
2.1 Syfte och mål.....	11
2.2 Relevans och målgrupper	11
3. Resultat	13
3.1 Användbara matematiska modeller för detektorsystemen	13
3.2 Simuleringar med en matematisk modell av människokroppen.	16
3.3 Optimerad analysprocedur	18
4. Diskussion	19
Bilaga 1: Publicerade arbeten inom projektet.....	20

Förklaringar av termer och begrepp

Fantom – Föremål som används vid mätningar för att efterlikna människokroppens absorption och spridning av joniserande strålning.

Fotoner – Elektromagnetisk strålning, t.ex. röntgenstrålning och synligt ljus, kan beskrivas med två modeller: som en vågrörelse eller som en ström av partiklar. Elektromagnetisk strålning med längre våglängd (radiovågor, mikrovågor) beskrivs bäst av vågmodellen, medan elektromagnetisk strålning med kort våglängd (röntgenstrålning, gammastrålning) bättre beskrivs som om den utgjordes av partiklar, fotoner.

ICRP – International Commission on Radiological Protection

Joniserande strålning – Elektromagnetisk strålning eller partiklar som har tillräckligt hög energi för att kunna slå loss elektroner (jonisera) atomer i det material de träffar.

Kontamination – ”Nedsmutsning” med radioaktiva ämnen. Vid extern kontamination finns det radioaktiva ämnet på kroppen eller på kläderna. Vid intern kontamination finns det inuti kroppen (lungor, mag-tarmkanal eller andra inre organ)

Monte Carlo – Matematisk metod att simulera slumpmässiga förlopp, t.ex. joniserande strålning växelverkan, med sannolikhetsfördelningar och slumpetal.

PET (PositronEmissionsTomografi) – bildgivande metod för att studera t.ex. funktion hos olika organ. Utnyttjar radioaktiva ämnen som sönderfaller genom s.k. positivt betasönderfall.

Radionuklid – Radioaktivt ämne

Scintillationsdetektor – Strålningsdetektor som utnyttjar att fotonernas växelverkan i detektormaterialet producerar ljusblixtar, scintillationer. Dessa ljusblixtar omvandlas till elektriska signaler i en fotomultiplikator.

Spektrum – Grafisk framställning av antalet händelser i detektorn som registreras i ett visst energiintervall. Ett spektrum, eller pulshöjdsspektrum, ger en bild av hur den avgivna energin till detektorn är fördelad.

Voxelfantom – Datorbaserad människomodell, baserad på bilder från datortomograf eller magnetkamera. Analogt med att en tvådimensionell bild byggs upp av bildelement, pixlar, byggs ett voxelfantom upp av volymselement, voxlar.

Växelverkan – De processer som leder till energiförlust och/eller riktningsförändringar då joniserande strålning träffar ett material.

Sammanfattning

Det är mycket viktigt att tidigt kunna bedöma riskerna, och behov av vård, för dem som fått i sig radioaktiva ämnen via inandning eller via maten. I en beredskapssituation kan man med relativt enkla medel avgöra om människor har blivit externt kontaminerade med radioaktiva ämnen, men för att avgöra graden av intern kontaminering krävs speciell utrustning. Snabba mätmetoder och rätt kalibrerad mätutrustning är då väsentligt för att inte fördröja mätinsatsen vid ett utsläpp av radioaktiva ämnen.

Den möjliga omfattningen av en mätinsats kan exemplifieras av den omfattande kontaminationen av den brasilianska staden Goiania, orsakad av en stulen strålkälla 1987. Över 120 000 personer kontrollmättes och man kunde konstatera att 129 personer var kontaminerade samt att 20 personer fått stråldoser som lett till akuta strålskador. I samband med händelsen upplevde dock 5 000 personer symtom på strålskador. Mätningar av intern kontamination är således också viktiga för att lindra oron hos dem som eventuellt kunnat vara kontaminerade.

Arbetet inom projektet har resulterat i en ökad kunskap om detaljerna i de processer som påverkar mätresultatet vid helkroppsmätning med stora plastscintillationsdetektorer. Detta har betydelse då man använder sig av matematiska metoder för att kalibrera utrustningen. Genom att använda en matematisk modell av människokroppen, ett s.k. voxelfantom, kan en mätning simuleras för en godtycklig fördelning av en godtycklig radionuklid i kroppen. Dessa simuleringar har visat att det är möjligt att, under gynnsamma omständigheter, särskilja olika radionuklider vid mätning i helkroppsmätare med plastscintillationsdetektorer. Eftersom stråldosen beror på vilket radioaktivt ämne som finns i kroppen och eftersom denna typ av detektorer medger snabba mätningar, kan noggrannheten i dosuppskattning, såväl som effektiviteten, förbättras vid mätningar i händelse av radioaktiva utsläpp.

Vi har använt vår detektormodell och ett voxelfantom för att studera betydelsen av radioaktiva ämnens fördelning i människokroppen. Dessa studier har visat att bestämningen av mängden radioaktiva ämnen i människokroppen kan förbättras om man tar hänsyn till den faktiska fördelningen av radionukliderna i människokroppen vid mättillfället. Simuleringstekniken skulle också kunna användas för andra typer av detektorer, t.ex. gammakameror som finns på de flesta sjukhus, för att ytterligare öka mätkapaciteten.

De resultat som framkommit inom projektet, samt den utrustning som har kunnat köpas in, kan väsentligt komma att öka förmågan att utföra noggranna uppskattningar av kroppsinnehållet av radioaktiva ämnen i händelse av exponering för dessa. Viktigt är dock att tillgång till mätningar av intern kontamination säkerställs inom beredskapsorganisationen.

1. Bakgrund

1.1 Varför behövs helkroppsmätning?

Det har inträffat flera olyckor där människor kontaminerats internt av radioaktiva ämnen och erfarenheterna av dessa har visat på vikten av att snabbt kunna kontrollmäta många människor. Mätningarna tjänar då ett dubbelt syfte. Dels för att bestämma kroppsinnehållet (aktiviteten) av radioaktiva ämnen, vilket är nödvändigt för att kunna uppskatta stråldosen. Dels att objektivt kunna konstatera att ingen kontaminering skett, om så är fallet. Det senare har visat sig vara mycket viktigt för att lindra oron hos dem som eventuellt kunnat vara kontaminerade. Ett exempel på betydelsen av en utvecklad mätformåga är olyckan i Goiania, Brasilien, 1987. En kvarglömd strålkälla (Cs-137) togs till ett skrotupplag och plockades isär, vilket ledde till omfattande kontamination av såväl omgivning som människor. I samband med händelsen upplevde 5 000 personer symtom på strålskador, såsom yrsel, illamående etc., och mer än 120 000 personer kontrollmättes. Efter olyckan kunde man konstatera att 129 personer verkligen var kontaminerade och att 20 personer fått stråldoser som lett till akuta strålskador. Två personer avled till följd av händelsen.

Helkroppsmätning utgör en unik mätresurs genom möjligheterna att noggrant kunna bestämma mängden radioaktiva ämnen i människokroppen. Detta blir speciellt viktigt i samband med en olycka där intag av radioaktiva ämnen kan befaras. Exempel på sådana händelser är olycksfall vid laboratoriearbete, kärnkraftsolyckor (även rykten om dessa kan utlösa ett mätbehov), terrorhandlingar, smuggling av strålkällor, nedfallande satelliter och transportolyckor. Den ökade verksamheten med medicinska undersökningar baserad på s.k. PET (PositronEmissionsTomografi) har t.ex. medfört fler transporter av radioaktiva ämnen längs vägarna. Dessa händelser utgör en potentiell risk för intern kontaminering av såväl allmänhet som av personal från räddningstjänsten.

Helkroppsmätning har sedan början av 1970-talet använts inom medicinsk forskning, i klinisk verksamhet, samt inom praktiskt strålskyddsarbete i Göteborg. Den unika utrustningen har möjliggjort ett flertal olika studier och viktiga kliniska tillämpningar, t.ex. bestämning av kroppens kaliuminnehåll, vilket ger information om bl.a. muskelmassa och hur den påverkas av olika sjukdomstillstånd eller behandlingar.

Utöver de medicinska användningsområdena är helkroppsmätning en viktig resurs i strålskydd för samhällets behov. Eftersom mätningen görs på personen själv är uppskattningen av intern kontamination (och stråldos) inte beroende av att kroppsinnehållet beräknas utifrån mätningar i omgivningen. För att kunna uppskatta stråldos från radioaktiva ämnen i människokroppen är det nödvändigt att känna till vilken eller vilka radioaktiva ämnen som tillförts kroppen, deras aktivitet och fördelning i kroppens organ och/eller vävnader.

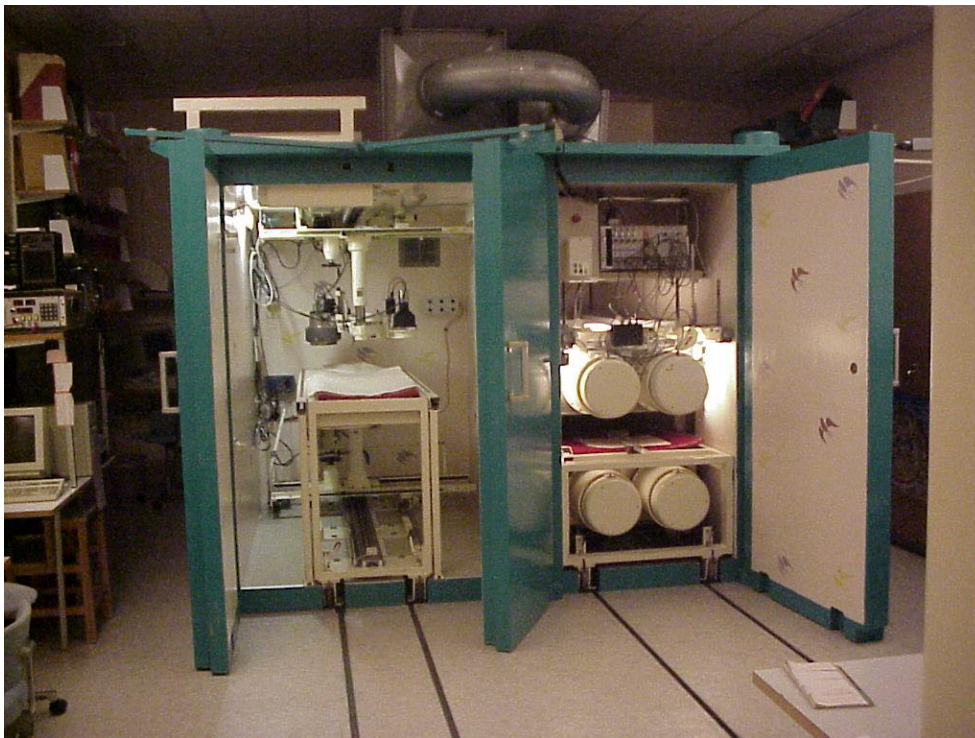
Denna kunskap kan erhållas genom helkroppsmätning, men ett problem vid denna typ av mätningar är att mätutrustningen oftast är kalibrerad för ett begränsat antal radioaktiva ämnen. I samband med olyckor och andra typer av händelser kan emellertid ett stort antal radioaktiva ämnen vara aktuella och risken är därför mycket stor att en fullgod kalibrering saknas vid mättillfället. Detta riskerar då att fördröja mätinsatsen avsevärt.

1.2 Hur fungerar helkroppsmätning?

Helkroppsräknaren i Göteborg är en unik utrustning med många användningsområden. Detektorsystemen är inrymda i ett lågaktivitetslaboratorium som delvis befinner sig under jord. Laboratoriet har väggar, golv och tak bestående av järnmalmsbetong och allt byggnadsmaterial, målarfärg etc. är dessutom utvalt för att innehålla så låg halt av naturligt radioaktiva ämnen som möjligt. I laboratoriet finns två järnrum med väggar av 150 mm pansarplåt som är invändigt klädda med blyplåt. Ett luftkonditioneringssystem förser laboratoriet med filtrerad luft av konstant temperatur. Utrustningen har vid flera tillfällen använts i internationella jämförelsemätningar med goda resultat.

I det ena järnrummet (system 1) finns två s.k. scintillationsdetektorer av natriumjodid (NaI), rörligt upphängda på skenor i tak respektive golv. Detta medger mätning i s.k. ”scanning-bed” geometri, där en detektor rör sig ovanför britsen och en under britsen. Upphängningen medger att detektorerna kan förflyttas över britsen, dels manuellt och dels genom motorstyrd linjär rörelse, i britsens längd- och breddriktning enligt ett förprogrammerat mönster. Detta mätsystem, som har god energiupplösning, ger möjlighet att bestämma vilka radioaktiva ämnen som förekommer i människokroppen, samt aktiviteten av dessa efter lämplig kalibrering av systemet.

I det andra järnrummet (system 2) utgörs detektorerna av fyra stora scintillationsdetektorer av plast ($915 \times 760 \times 254 \text{ mm}^3$). Dessa detektorer har mycket hög känslighet, men betydligt sämre energiupplösning än detektorerna i system 1. Systemet används främst för mätningar av kända radioaktiva ämnen, t.ex. radioaktivt kalium (^{40}K) som förekommer naturligt i kroppen.



Helkroppsräknaren i Göteborg

1.3 Interdosimetriska grunder

Radioaktiva ämnen kan komma in i kroppen via inandning och nedsväljning, men också via sår eller intakt hud. Svårigheterna med att bestämma stråldosen från radioaktiva ämnen i kroppen är att de ofta är inhomogent fördelade och att de ger en bestrålning av kroppen vävnader så länge de stannar kvar i kroppen. Denna tid beror dels på hur de utsöndras ur kroppen och på deras halveringstid. Interna doser kan, till skillnad från externa doser, inte heller mätas direkt. Istället får man använda sig av t.ex. helkroppsmätning för att uppskatta hur mycket av det radioaktiva ämnet som finns i kroppen, och därefter räkna fram interndosen med hjälp av modeller.

Anta att ett radioaktivt ämne finns till 100% i levern. Då kommer levern att bestråla kroppen övriga organ och utgöra ett s.k. källorgan. Stråldosen till ett annat organ, ett målorgan, t.ex. lungorna, kommer då att bero på avståndet mellan levern och lungorna, och på hur mycket strålningsenergi som avlämnas i lungorna. I själva verket finns det ofta ett stort antal käll- och målorgan, vilket gör att man måste beakta alla kombinationer av dessa. Det finns publicerade modeller för hur en "standardkropp" är uppbyggd och det finns också beräkningar för hur stor andel av den utsända strålningens energi som avlämnas i olika målorgan. Dessa data finns tillgängliga i form av s.k. doskoefficienter.

För att kunna använda doskoefficienterna måste man emellertid uppskatta hur mycket av det radioaktiva ämnet som kommit in i kroppen, vilket görs med hjälp av mätningar. En mätning ger dock bara information om hur mycket av det radioaktiva ämnet som finns i kroppen vid tidpunkten för mätningen. För att kunna beräkna hur mycket som tagits in i kroppen finns modeller som

beskriver vad som händer med det radioaktiva ämnet i lungorna, i mag-tarmkanalen och i blodet.

Ett radioaktivt ämnes uppförande i kroppen bestäms således av flera faktorer, såsom vilket grundämne det är, i vilken kemisk form det är och vilken halveringstid det har. För att kunna göra en uppskattning av stråldosen vid intern kontaminering är det därför nödvändigt att veta vilket radioaktivt ämne som kommit in i kroppen. För att göra detta krävs ofta att man kan mäta upp ett spektrum.

2. Projektbeskrivning

2.1 Syfte och mål

Projektets syfte var att möjliggöra snabba och noggranna helkroppsmätningar av allmänhet och räddningspersonal i samband med händelser som innebär spridning av radioaktiva ämnen (RN-händelser). För att uppnå syftet har vi arbetat mot följande mål.

1. *Användbara matematiska modeller för detektorsystemen.* Detta innebär att studera vilka delar av systemet och omkringliggande strukturer som är relevanta för modellen. Det innebär också en optimering av detektorernas prestanda genom att delar av den elektroniska utrustningen moderniseras. Simuleringar med de utvecklade modellerna av detektorsystemen görs för ett antal radioaktiva ämnen och jämförs med experimentella data.
2. *Simuleringar med en matematisk modell av människokroppen.* Ett s.k. voxelfantom (datorbaserad människomodell, baserad på bilder från datortomograf eller magnetkamera) ska användas i modellen. Med hjälp av voxelfantom och modellen för detektorsystemet kan, man studera en godtycklig fördelning av valfritt radioaktivt ämne, vilket ger möjlighet att individanpassa kalibreringen för de radioaktiva ämnen som förekommer vid en eventuell RN-händelse.
3. *Optimerad analysprocedur.* Analysproceduren kan effektiviseras genom att automatisera mätning och analys av mätresultatet. Vi ska utveckla ett datorbaserat inmatningsformulär som medger styrning av detektorernas rörelse (system 1), inmatning och lagring av mätdata, styrning av analysparametrar, start av mätning etc. Detta steg innehåller även en bedömning av de samlade osäkerheterna i hela kedjan från mätning till resultat.

2.2 Relevans och målgrupper

Intag av radioaktiva ämnen vid RN-händelser utgör en risk för såväl allmänhet som personal inom räddningstjänsten. För att kunna göra en uppskattning av intagen mängd av radioaktiva ämnen, och därmed få underlag för åtgärder, är helkroppsmätning nödvändigt. Samhällets förmåga att utföra denna typ av mätningar är för närvarande bristfällig, såvida inte kontaminationen utgörs av något av de fåtal radioaktiva ämnen som befintliga utrustningar normalt används för. Dessutom är mätningarna en värdefull resurs när det gäller att studera effektiviteten av personsanering.

De målgrupper som kan dra nytta av projektets resultat:

- Räddningstjänstpersonal, som vid RN-händelse riskerar att bli internt kontaminerade av radioaktiva ämnen, ges möjlighet till mätningar som

kan ge svar på om personalen kontaminerats och i så fall av vilka radioaktiva ämnen samt i vilken utsträckning

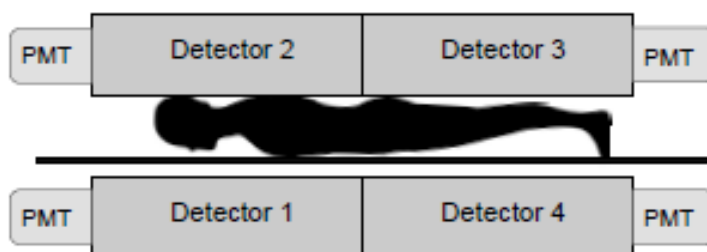
- Allmänheten, där mätningar kan användas för att konstatera förekomsten av intern kontaminering, eller om ingen kontamination skett. Dessa mätningar förväntas få mycket stor psykologisk betydelse i händelse av ett radioaktivt utsläpp (eller hot om utsläpp).
- Personal inom polisen, ambulanssjukvården eller akutsjukvården som i kontakt med kontaminerade föremål eller patienter själva riskerar att bli kontaminerade. Risken för detta är dock liten, men mätningar kan i många fall undanröja oro och förbättra uthålligheten inom respektive organisation.
- Strålskyddsexperter och övrig personal som arbetar med personmätningar och personsanering. De resultat och metoder som tagits fram inom projektet leder till ökad kompetens inom dessa grupper, samt till metoder som kan implementeras vid andra helkroppsmätare.
- Myndigheter (MSB, Socialstyrelsen, Strålsäkerhetsmyndigheten m.fl.) som samverkar vid planering av beredskapen mot RN-händelser och åtgärder vid inträffade händelser.

3. Resultat

3.1 Användbara matematiska modeller för detektorsystemen

Monte Carlo-metoder har använts för att simulera hur signalen från detektorsystemet varierar med placeringen av en strålkälla. För att kunna simulera detektorns respons behövs en modell av detektorn med omgivande strukturer. En sådan modell har tagits fram för plastscintillationsdetektorerna i helkroppsräknarens system 2. Vid simuleringen "placeras" en strålkälla i en känd punkt i förhållande till detektorn och antalet fotoner som ska sändas ut från strålkällan under simuleringen bestäms. Detta antal optimeras så att simuleringen ger en önskad noggrannhet, samtidigt som beräkningstiden hålls på en hanterbar nivå. Antalet fotoner som sänds ut under simuleringen motsvaras "i verkligheten" av strålkällans aktivitet.

Figuren nedan visar schematiskt hur systemet är uppbyggt. De fyra detektorerna består av stora plastscintillatorer med reflekterande innerytor. Då en foton växelverkar i detektormaterialet bildas ljus, som sedan fångas in av fotomultiplikatorer (PMT). I fotomultiplikatorerna omvandlas ljuset till en elektrisk ström, som ger information om fotonernas energi och antal.

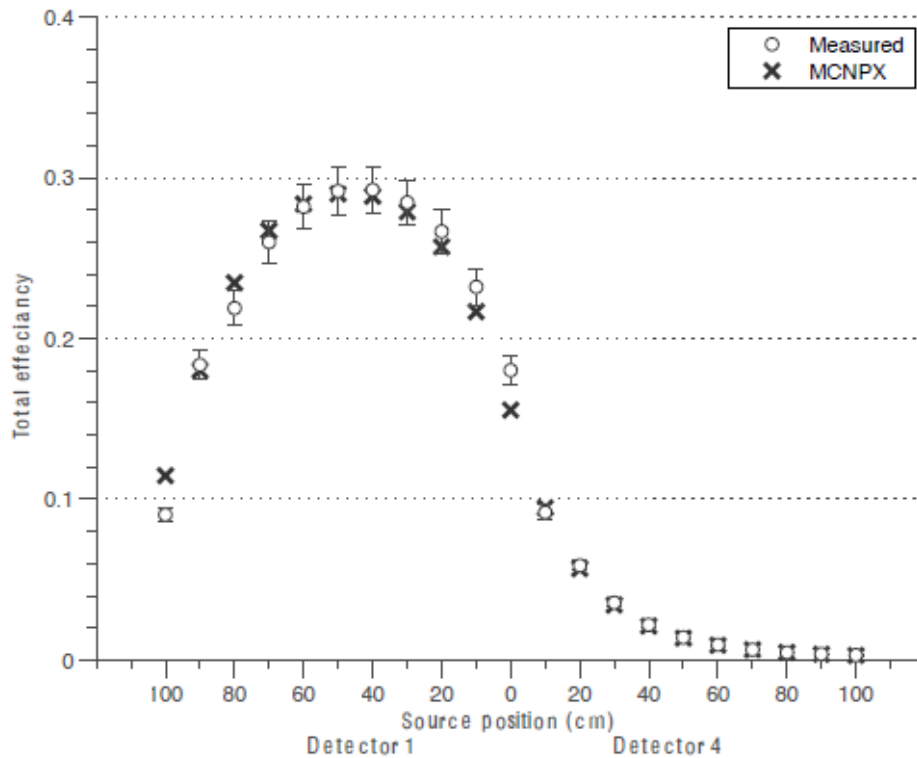


Uppbyggnad av system 2 vid helkroppsräknaren i Göteborg

Vid Monte Carlo-simulering låter man en foton i taget infalla mot detektorn. Vad som sedan händer med fotonen bestäms av kända sannolikheter för olika typer av möjliga händelser. En given händelse bestäms slumpmässigt och därefter sänds en ny foton ut från källan. Genom att slumpmässigt bestämma händelser för flera miljoner fotoner kan man med god noggrannhet simulera vad som skulle hända vid en verklig mätning. Graden av noggrannhet är dock beroende av hur väl modellen av detektorsystemet avspeglar systemets verkliga egenskaper.

Det första testet av modellen var att undersöka om den totala effektiviteten var lika för modellen och för en verklig mätning. Detta innebär att det simulerade systemet och det verkliga systemet registrerar lika stor andel av de infallande fotonerna. Figuren nedan visar en jämförelse mellan total effektivitet för

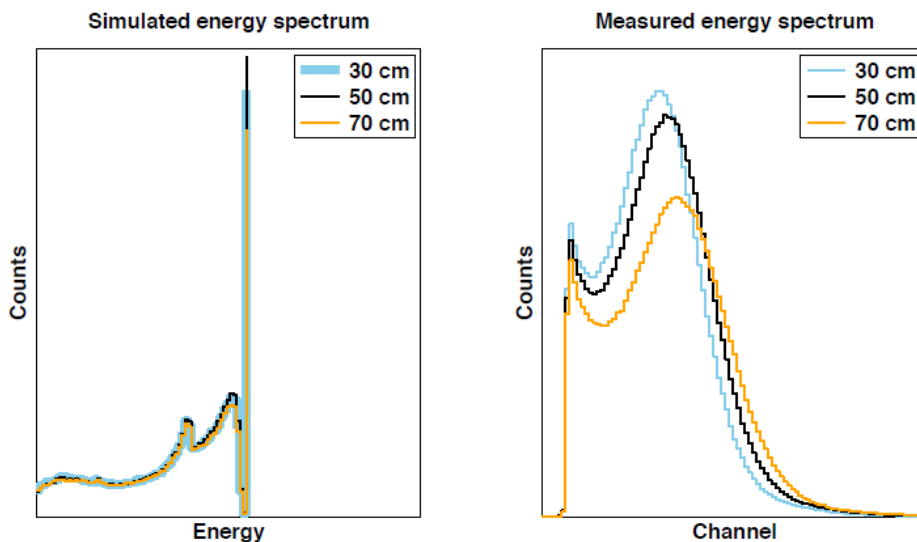
uppmätta (measured) och simulerade (MCNPX) data, då strålkällan placeras i olika positioner längs detektorernas mittlinje. Överensstämmelsen är god och vi kunde därför gå vidare med att försöka återskapa ett spektrum från systemets detektorer.



Uppmätt (measured) och simulerad (MCNPX) total effektivitet

Ett pulshöjdsspektrum från en spektrometer (t.ex. en plastscintillations-detektor) visar grafiskt antalet registreringar i detektorn för fotoner inom ett givet energiintervall. Med hjälp av informationen från ett spektrum kan man alltså bestämma hur många fotoner med en given energi som har växelverkat i detektorn. Om systemet kalibreras med avseende på energi och effektivitet, kan man få information om fotonernas energi och strålkällans aktivitet. På så sätt kan man bestämma vilket radioaktivt ämne som finns i strålkällan och strålkällans aktivitet.

För de detektorer som används i system 2 blir det emellertid stora skillnader mellan det simulerade spektretet och det uppmätta. Figuren nedan visar detta för en punktkälla placerad vid tre olika positioner längs detektorn. Det simulerade spektretet (vänster) visar en hög topp vid en energi motsvarar de infallande fotonernas energi. Registreringarna i toppen kommer från fotoner som avlämnat hela sin energi i detektorn. Till vänster om toppen, vid lägre energier, finns registreringar som uppkommer på grund av att alla fotoner inte avlämnar hela sin energi i detektorn. Det uppmätta spektretet saknar den skarpa toppen och har istället en bred fördelning av registreringar vid lägre energier.



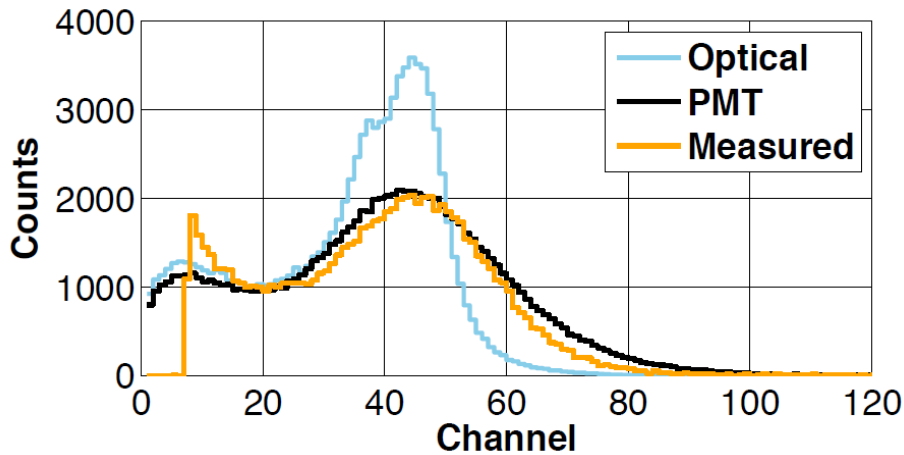
Simulerat (vänster) och uppmätt (höger) spektrum från en plastscintillationsdetektor

Programkoderna för Monte Carlo-simulering har en inbyggd funktion för att bredda ett spektrum, men denna breddningsfunktion har vissa begränsningar och vi ville dessutom veta vad som orsakar breddningen valde vi att undersöka detta närmare genom att studera vad som händer med det ljus som sänds ut då de infallande fotonerna växelverkar i detektormaterialet.

Eftersom detektorerna i system 2 är stora kommer ljuset att ha en hög sannolikhet att reflekteras eller absorberas längs sin väg från växelverkanspunkten till fotomultiplikatorn, och vi har visat att dessa händelser kan förklara breddningen av spektrumet. Vi har också undersökt vilka parametrar som har störst betydelse vid simulering av detektorsignalen. Denna kartläggning underlättar väsentligt arbetet vid framtida simuleringar.

Figuren nedan visar hur man genom att även inkludera de optiska fotonerna (ljuset i detektorn) vid simuleringen kan återskapa formen hos ett spektrum från en verklig strålkälla.

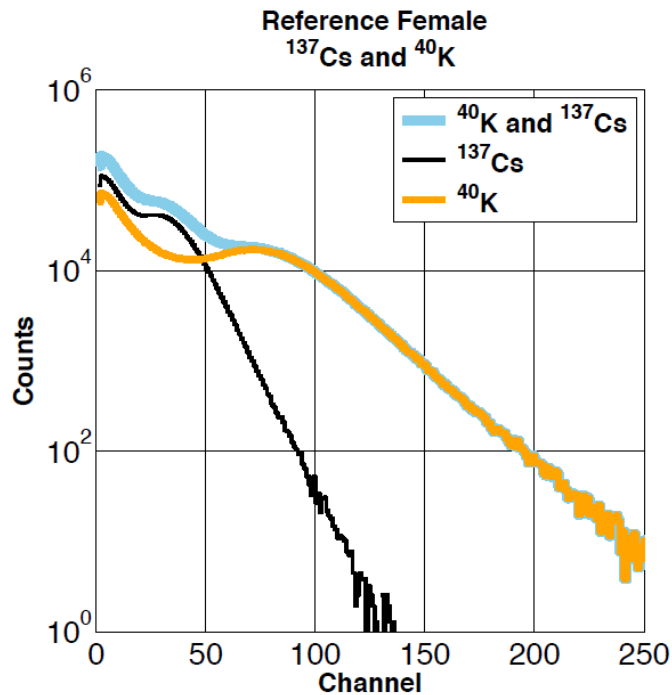
Dessa undersökningar har utförts för en punktformig strålkälla som placerats i olika positioner. Nästa steg är då att undersöka hur detektorsystemets respons kan simuleras med en utbredd strålkälla, dvs om strålkällan är fördelad i en människokropp.



Jämförelse mellan simulerat, breddat (PMT) spektrum och uppmätt spektrum från en plastscintillationsdetektor. I figuren visas också energifördelning för det ljus som sänds ut då de infallande fotonerna växelverkar i detektorn (Optical). Strålkällan är placerad centralt över en av detektorerna (50 cm från ändarna och längs detektorns längsgående mittlinje)

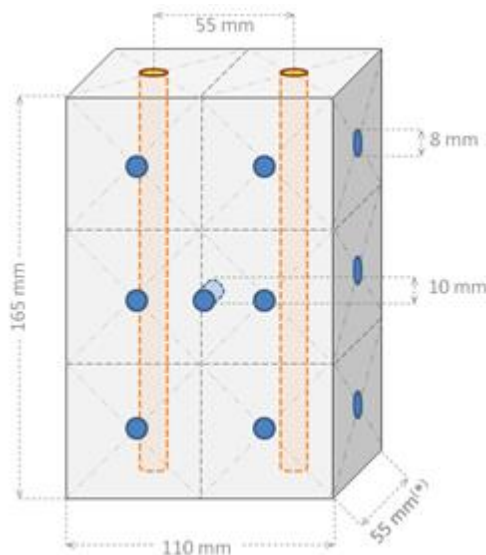
3.2 Simuleringar med en matematisk modell av människokroppen

Vi har använt den modell för detektorsystem 2, som beskrivs ovan, för att simulera spektrum från voxelfantom framtagna av ICRP. I ett voxelfantom finns möjligheten att tilldela varje litet volymselement (voxel) en viss aktivitet av ett valfritt radioaktivt ämne. Det innebär att man kan välja att t.ex. låta de voxlar som representerar muskelfävnad innehålla ^{137}Cs . Figuren nedan visar simuleringar med ICRP:s voxelfantom (Reference Female computational phantom) för en fysiologisk realistisk fördelning av ^{137}Cs och ^{40}K . Detta visar att det kan vara möjligt att särskilja olika radioaktiva ämnen i människokroppen vid mätningar med plastscintillationsdetektor. Med tanke på denna detektortyps höga effektivitet skulle detta göra det möjligt att snabbt få en god uppfattning om vilka radioaktiva ämnen som finns i kroppen.



Simulerat spektrum från ICRP:s voxelfantom, innehållande två olika radionuklider.

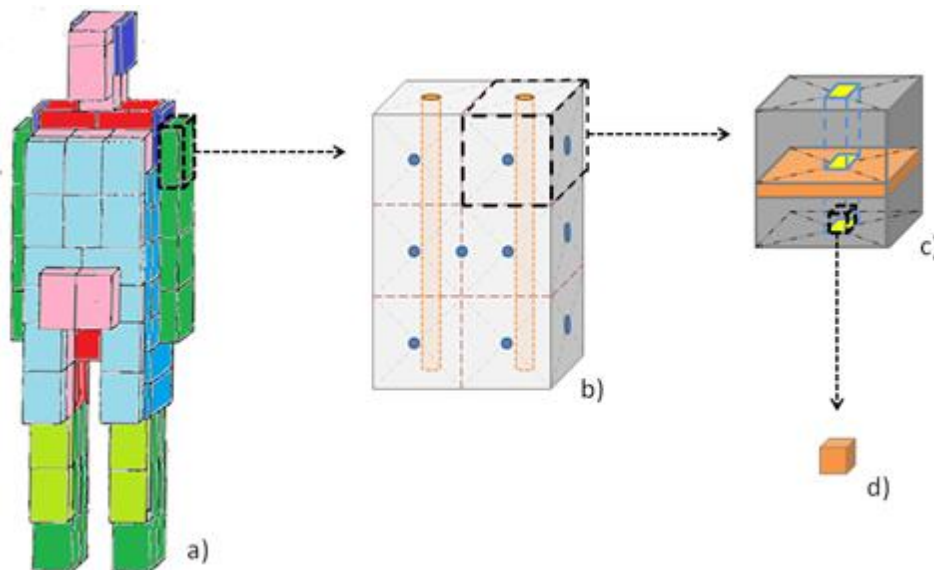
Kalibrering av helkroppsmätare utförs ofta med standardiserade fantom. Dessa kan innehålla en eller flera radioaktiva ämnen, i fast eller flytande form. Ett av dessa standardiserade fantom är uppbyggt av block av polyetylen, som kan sättas samman till människoliknande former i storlekar från 11 kg till 95 kg. I varje block finns längsgående kanaler där en stavformad strålkälla kan placeras, se figur nedan.



Polyetylenblock för konstruktion av fantom för kalibrering av helkroppsmätare

För att kunna göra direkta jämförelser mellan mätningar och simuleringar av samma fantom har vi konstruerat ett voxelfantom av detta plastfantom. Varje

block har delats in i 6 enhetskuber som sedan har delats in i voxlar med sidlängden 6 mm. Denna procedur visas i figuren nedan.



Fantomet (a) byggs upp av polyetylenblock (b), som delats in i enhetskuber (c) och varje enhetskub har därefter delats in i voxlar (d). Det totala antalet voxlar i ett polyetylenblock är 4374 st.

Vi har också utvecklat en modell för en enkel mätgeometri, med en detektor liknande de detektorer som finns i helkroppsräknarens system 1. Med denna modell kan vi studera hur fördelningen av radionukliden i människokroppen påverkar detektorsignalen. I en studie har vi använt radionukliden ^{140}La och fördelat denna till största delen i levern (enligt ICRP:s modell för transport av lantan i kroppen) i ICRP:s voxelfantom. Studien visar att detektorns respons är väsentligt annorlunda för denna fördelning jämfört med om radionukliden vore homogent fördelad i kroppen. Detta innebär att en helkroppsmätare som är kalibrerad för en homogen fördelning kommer att ge ett felaktigt resultat om den aktuella fördelningen av radionukliden inte är homogen.

Vi arbetar nu vidare med att studera hur den tidsberoende omfördelningen av radioaktiva ämnen i kroppen påverkar mätresultaten. Detta har betydelse för tolkningen av mätresultaten om mätningarna utförs vid olika tider efter intag.

3.3 Optimerad analysprocedur

Helkroppsräknarens system 2 har försetts med ny elektronik för signalbearbetning. Utrustningen är installerad och i funktion. Dock arbetar vi vidare med att undersöka om systemets effektivitet kan förbättras genom byte av fotomultiplikatorer. Detta arbete ligger utanför det här beskrivna projektet.

Helkroppsräknarens system 1 har försetts med nya detektorer (2 st NaI-detektorer), samt ny elektronik. Utrustningen fungerar som den ska, men vi arbetar vidare med att implementera ett helt nytt system för styrning av detektorernas rörelse.

4. Diskussion

Projektet har visat att Monte Carlo-simulering med voxelfantom kan öka möjligheterna att utföra snabba mätningar med plastscintillationsdetektorer. Tekniken skulle kunna appliceras på de detektorer av denna typ som finns i Sverige, och utgöra en värdefull resurs inom beredskapsorganisationen. Mätteknikerna kan tillämpas på såväl räddningspersonal som allmänhet. Mer forskning behövs dock när det gäller analys av mätningar vid olika tider efter intag, pga den ämnesspecifika omfördelningen i kroppen.

Tekniken är överförbar på andra typer av helkroppsmätare, och även på de gammakameror som finns i stort antal på sjukhusen. Fortsatt forskning på hur gammakameror kan användas för mätningar av intern kontamination i beredskapssyfte skulle göra det möjligt att använda även denna utrustning. En adekvat användning av gammakameror skulle väsentligen kunna förstärka beredskapsorganisationens förmåga att hantera kontrollerna av intern kontamination.

Det finns dock tekniska och fysikaliska begränsningar hos gammakameran som gör att den inte kan ersätta en helkroppsmätare, men med kunskap om dessa begränsningar kan gammakameran trots det fungera som en resurs i en masskadesituation. En ytterligare fördel är att utrustningen finns inom landsting/region. Det skulle därmed minska den osäkerhet som idag råder om hur internt kontaminerade personer hanteras i beredskapsorganisationen.

Bilaga 1: Publicerade arbeten inom projektet

Artiklar i vetenskapliga tidskrifter

J. Nilsson & M. Isaksson. *The design of a low activity laboratory housing a whole body counter consisting of large plastic scintillators and the work towards a flexible Monte Carlo calibration*. PROGRESS IN NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY. ATOMIC ENERGY SOCIETY OF JAPAN. Vol 4. 2014 (Progr. Nucl. Sci. Tech. 4, 427-431, 2014).

Nilsson J and Isaksson M. *A Monte Carlo calibration of a whole body counter using the ICRP computational phantoms*. Radiat. Prot. Dosim. 163 (2015) 458-467.

Letter to the Editor. Petty Cartemo; Jenny Nilsson; Anders Nordlund; Mats Isaksson. Radiation Protection Dosimetry 2015; doi: 10.1093/rpd/ncv287

J. Nilsson, V. Cuplov & M. Isaksson. *Identifying key surface parameters for optical photon transport in GEANT4/GATE simulations*. Applied Radiation and Isotopes, Vol 103, pp 15-24, 2015

P. Cartemo, J. Nilsson, M. Isaksson & A. Nordlund. *COMPARISON OF COMPUTATIONAL PHANTOMS AND INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BIODISTRIBUTION ON ACTIVITY ESTIMATIONS*. Radiat Prot Dosimetry (2015) doi: 10.1093/rpd/ncv415

Bidrag till vetenskapliga konferenser

J. Nilsson & M. Isaksson. *Can GATE Be Used For Monte Carlo Calibrations Of Whole Body Counters?* 13th International Congress of the International Radiation Protection Association), Glasgow, Skottland. 13-18 maj, 2012.

J. Nilsson & M. Isaksson. *The design of a low activity laboratory housing a whole body counter consisting of large plastic scintillators and the work towards a flexible Monte Carlo calibration*. 12th International Conference on Radiation Shielding & 17th Topical Meeting of the Radiation Protection and Shielding Division of the American Nuclear Society, Nara, Japan 2-7 sept. 2012.

J. Nilsson & M. Isaksson. *The impact of surface properties on optical transport in organic scintillation detectors*. Geant4 2013 International User Conference, Bordeaux, Frankrike 7-11 oktober. 2013.

J. Nilsson & M. Isaksson. *How to transform a nail into a hay stack – key processes in simulating a proper plastic scintillator spectrum from a Monte Carlo modeled energy deposition peak*. Preterat vid 4th European IRPA Congress in 2014, Geneve.

J. Nilsson & M. Isaksson. *How accurate is a whole body measurement for estimating the intake of a radionuclide with a complex decay scheme and biodistribution?* SWE-RAYS, Swedish Radiation Research Association for Young Scientists. Workshop Gothenburg 26-28 Aug. 2015.

Vetenskaplig avhandling

Jenny Nilsson: Modeling of Radiative Processes in Organic Scintillators.
Avhandlingen försvarad vid disputation den 14 mars 2014.Handledare: Mats
Isaksson.

