



FOI MEMO

Projekt/Project
Dosimetri och strålskydd

Sidnr/Page no
1 (8)

Handläggare/Our reference
Kennet Lidström

Projektnummer/Project no	Kund/Customer
A405419	Fö
FoT-område	
CBRN	
Datum/Date	Memo nummer/Number
2020-03-04	FOI Memo 7187

Verksamhetsrapport 2019 – Dosimetri och strålskydd

Gogani J B, Granström M, Hedman A, Lidström K, Ramebäck H, Ågren G

Titel/Title
Verksamhetsrapport 2019 – Dosimetri och strålskyddMemo nummer/Number
FOI Memo 7187

Sammanfattning

Projekt *Dosimetri och strålskydd* fokuserar på tre delområden, där de två första är bestämning av stråldoser från omgivning (extern dosimetri) samt kontamination i människa, genom intag av radioaktiva ämnen, via inhalation eller oralt intag (intern dosimetri). Denna verksamhetsrapport sammanfattar år 1 av 3 i projektperioden. Under året har modeller för beräkning av extern stråldos till människa utvecklats och verifierats för strålningsgeometrier där den radioaktiva kontaminationen har en oändlig eller semi-oändlig utbredning i luft eller på/i mark. Under året har en litteraturstudie genomförts för att öka kunskapen om på vilket avstånd, och under vilka förhållanden, effekterna av stråldos från fissionsprodukter kan anses vara det huvudsakliga bidraget till akuta effekter på människa. Gällande intern dosimetri har kompetensuppbyggnad för, i första hand, exponering via inhalation påbörjats. Under året genomfördes stråldosberäkningar gällande inhalation av bildad radioaktivitet vid fission av ^{235}U , och dessa resultat kommer att presenteras i en rapport 2020. Det tredje fokusområdet för projektet är att återta kunskap och kompetens inom området medicinska effekter från joniserande strålning. Detta arbete kommer att påbörjas under år 2. Projektet medverkar även i en NATO-Grupp, DIMP, som arbetar med revidering av en NATO-handbok, AEP-66.

Vidare deltog projektet under 2019 i ett forskningsprojekt tillsammans med Åbo universitet där mineralen hackmanits känslighet för joniserande strålning studerats.

Projektet har också medfinansierat ett doktorandarbete med mål att ta fram metoder för spektrometriska mätningar av lågenergetiska gammastrålande radionuklider i fält.

Slutligen skedde insatser under året för att slutföra två tidigare arbeten. Det första var ett arbete gällande färdigställande och rapportering av en mjukvara för att beräkna koncentrationen av en markbeläggning med hjälp av gammaspktrometriska mätningar i fält. Det andra arbetet bestod i att utreda vilken statistisk metod som ska ligga till grund vid mobil sökning efter strålkällor i fält.

Inledning

Verksamheten inom projektet ”Dosimetri och strålskydd” syftar till att säkerställa och utveckla den kunskap som är nödvändig för att utgöra ett nationellt stöd till Försvarmakten (FM) och det civila samhället inom kontaminationsfrågor, strålskydd och dosimetri. Projektet löper under 2019 – 2021 och denna rapport avser beskriva den verksamhet som genomförts under det första året, 2019.

Bakgrund

Projektet fokuserar på bestämning av stråldoser från omgivning (extern dosimetri) och från kontamination i människan, genom intag av radioaktiva ämnen, via inhalation eller oralt intag (intern dosimetri).

Att bestämma stråldos till människa är en central kunskap för att hantera effekter från händelser som innefattar spridning av radioaktivt material samt joniserande strålning från ett kärnvapen eller andra källor. Projektet utgör en fortsättning på forskning som bedrivits i projektet *Radioaktivt kontaminerade ytor och människor* (2013-2016), *Mätning av radioaktiva ämnen och Dosimetri* (2017) samt *Dosimetri och Strålskydd* under 2018. Den projektperiod som avses i denna rapport hänvisar till år ett av perioden 2019-2021. Under 2018 genomfördes en workshopserie med avsikt att ta fram FM:s behov inom R-området. Resultatet från denna blev att behovet var allmänna frågeställningar kring effekter av användandet av kärnvapen och specifikt kring dosimetri och strålskydd. Allmänt kan sägas att kärnvapen har blivit en fråga som aktualiserats beroende på en förändrad bild av vår omvärld. En stor del av tidigare verksamhet i projektet har rört utveckling av

Titel/Title
Verksamhetsrapport 2019 – Dosimetri och strålskydd

Memo nummer/Number
FOI Memo 7187

det ”virtuella laboratoriet”. Det är en verksamhet som syftar till att utveckla generiska lösningar till bestämning av stråldos oavsett situation.

Syfte och mål

Syftet med projektet är att utgöra en nationell expertresurs för FM samt civila myndigheter i att förebygga och hantera effekterna av händelser som omfattar radioaktiva ämnen samt stråldosbestämning från en eventuell kärnvapendetonation, inklusive dess neutronflöden och initialstrålning. Tyngdpunkten kommer att ligga i att utveckla förmågan i beräkningar av stråldos, från såväl extern som intern (radionuklider i kroppen) bestrålning. Ett annat syfte med projektet är att innefatta kompetens rörande medicinska effekter från joniserande strålning, d.v.s. strålningens effekter på människa.

En övergripande målsättning i projektet är att på ett strukturerat sätt utveckla ett virtuellt laboratorium för FOI inom externdosimetri, interndosimetri samt att återta kunskap inom området medicinska effekter.

En central målsättning för det virtuella laboratoriet är att det inom rimligt korta tider ska vara möjligt att producera tillförlitliga stråldosdata för att beräkna stråldoser som kan användas som beslutsunderlag. Laboratoriet ska kunna användas inom brett spann av möjliga radiologiska scenarier: efter nukleära detonationer, vid kärnkraftsverksolyckor och i samband med användande av smutsiga bomber. Ett sådant laboratorium kan, förutom för generering av ny kunskap, användas för att i laboratoriemiljö förutsäga effekterna av radiologiska händelse scenarier där det av praktiska och/eller säkerhetsskäl kan vara omöjligt att återskapa det tilltänkta scenariot i verklighet. Vidare kan laboratoriet användas vid prognostisering inför eller bedömningar efter en verklig radiologisk händelse för att snabbare skapa relevanta underlag för beslut om adekvata åtgärder. En viktig komponent i skapandet av det virtuella laboratoriet är stråltransportsimuleringar i dator (MCNP, Monte Carlo N-Particle code) [1], uppbyggnad av kunskap rörande interndosimetri samt strålningens effekter på människa.

Framkomna resultat 2019

Under 2019 fokuserade verksamheten på två av de tre delområden som beskrivits i målbilden. Dessa är extern- respektive interndosimetri. Inom området medicinska effekter påbörjades inläsning av publicerad kunskap. Detta arbete avses att fördjupas under de kommande åren. Det finns också resultat från tidigare frågeställningar. Vidare presenteras andra insatser där projektet medverkar.

1. Externdosimetri

För det virtuella laboratoriet har arbetet gällande extern dosimetri bedrivits för att skapa modeller för idealiserade geometrier. Detta arbete har genomförts i samarbete med FOI-projektet *Effektmodeller*. Med idealiserad geometri avses strålningsgeometrier där kontaminationen har en oändlig eller semi-oändlig utbredning. Stråldos till människa från ett antal i sammanhanget relevanta radionuklider utspridda i luft eller deponerade på/i mark har bestämts och jämförts med referensdata med tillfredsställande resultat [2]. Detta innebär att vi idag kan bestämma stråldos till människa från kontamination i luft och mark samt kontamination på mark för valfria radionuklider. Arbetet utgör dessutom grund för verifikation av stråldosdata som produceras i andra strålningsgeometrier som används i *Effektmodeller* samt för verifikation av stråldosdata i stadsmiljöer. En förutsättning för arbetet ovan var att kunna bestämma *cut-off* distanser för olika strålningsgeometrier. En *cut-off* distans anger det avstånd från strålkällan som är brytpunkten för en viss andel av det totala stråldosbidraget. *Cut-off* distanser har därför bestämts genom simuleringar för ovannämnda

Titel/Title
Verksamhetsrapport 2019 – Dosimetri och strålskyddMemo nummer/Number
FOI Memo 7187

kontaminationsmiljöer [3]. Med dessa beräkningar blir det dessutom möjligt att snabbt kunna bestämma effekten på stråldosnivå efter saneringsåtgärder i idealiserade geometrier. För att förbereda för beräkningar av stråldoser i urbana miljöer har den elementära sammansättningen och densiteten i tre samhällen motsvarande Stockholm, Umeå och Sävar tagits fram [4]. Här har vi utgått från statistiska data tillgängliga från SCB och Boverket angående antal och typ av byggnader, grönytor, antal invånare *etc.*, i dessa samhällen. Ingående material i olika byggnadstyper har tagits fram och sammansatts med andra material som kan förekomma i en stad (människovävnader, träd, luft m.m.). En komponent som idag inte finns i dessa sammansatta modeller är fordon av olika slag. Detta kommer att inkluderas i framtida kompletteringar av modellerna. Stråldos till människa i dessa miljöer och med radioaktivt material utspritt i luft har börjat simuleras med god konvergens i resultaten. Resultat från dessa simuleringar kommer att presenteras i framtida publikationer.

Arbetet med att förbättra FOI:s standardmodeller av människan har fortskridit genom att försöka lägga till celler motsvarande endosteum (tidigare benytter) i det manliga FOI-fantomet (MCAP3). Simuleringar med det modifierade fantomet indikerade en förbättring för fotonenergier över 40 keV. För lägre fotonenergier innebar dock modifieringen en försämring jämfört med tidigare modeller. Arbetet utfördes tillsammans med *Effektmodeller* [5].

Under året påbörjades också arbetet med att inkludera betapartiklar i FOI:s dosmodell.

Vidare genomfördes under året kompetensuppbyggnad i form av en litteraturstudie över vilka verkansradier för värme- och luftstötsvåg, samt den initialstrålning, som genereras vid en kärnvapenexplosion. Denna studie baseras främst på ett tidigare FOI arbete [6] där en mjukvara, KlangVerk, konstruerats. Avsikten med detta arbete var att öka kunskapen om på vilket avstånd, och under vilka förhållanden, effekterna av stråldos från fissionsprodukter kan anses vara det huvudsakliga bidraget till akuta effekter på människa, dvs när direktverkan från explosionen har ebbat ut. Detta arbete presenterades i en FOI R-rapport under året [7].

2. Interdosimetri

Inom området interdosimetri fokuserades arbetet på förståelse och tillämpningar av mjukvaran IMBA [8]. Arbetet genomfördes i samarbete med projektet *BR-Skydd*. Denna mjukvara kan beräkna vilken stråldos, effektiv eller ekvivalent, som fås givet ett specificerat intag, oralt eller via inhalation, av en given nuklid. Med hjälp av denna mjukvara var arbetet under året att beräkna den stråldos som kan förväntas via inhalation, om en person står på ett givet avstånd från en kärnvapendetonation en viss tid. Kunskap har byggts upp gällande mjukvarans funktion, hantering och beräkning av stråldos från uppkomna källtermer, genererade vid en fissionsladdning av U-235.

Källtermerna genererades från en annan mjukvara, Nucleonica [9], och spridningsmodellering genomfördes med atmosfärsspridningsprogrammet Pello [10]. Grundscenariot var en markdetonation av en 100 kt ²³⁵U fissionsladdning, där stråldoser via inhalation beräknades vid avståndet 30 kilometer från detonationspunkten. Stråldosberäkningarna för detta var uppdelade i tidsintervall från 20 till 200 minuter efter detonationsögonblicket. Detta arbete kommer att presenteras i en R-rapport under kvartal 1 2020 [11].

Under året verifierades mäteffektiviteten hos helkroppsmätaren, dels med empiriska mätningar och dels med simulerade beräkningar med MCNP. Detta arbete redovisas separat i en rapport som kommer under 2020 [12]. Detta arbete har direkt bäring mot interdosimetri där mängden radioaktivitet i kroppen hos människan mäts och översätts, via t.ex. tabellverk eller ovan nämnda IMBA till stråldos.

3. Medicinska effekter på människa

Detta är det sista av de tre fokusområdena för projektet. Här genomfördes endast en begränsad insats under året. Enskilda kompetenshöjande insatser i form av inläsning av publicerat material gjordes.

Titel/Title
Verksamhetsrapport 2019 – Dosimetri och strålskydd

Memo nummer/Number
FOI Memo 7187

Aktiviteten kommer dock att utökas nästa år i form av litteraturstudier med åtföljande interna presentationer.

4. Övrig verksamhet

Det pågick också två sidoverksamheter inom projektet, för att avsluta några äldre arbeten. Det första av dessa var att knyta ihop arbetet med att säkerställa att det ska finnas en tillförlitlig mjukvara för gammaspektrometriska mätningar i fält (*In-Situ*). Detta arbete presenterades i form av en FOI R-rapport 2019 [13]. Mätmetoder för fältgammalspektrometri återkommer även i ett doktorandarbete som projektet varit med och delfinansierat, se sista stycket i detta kapitel.

Det finns sedan tidigare ett påbörjat arbete med att ta fram en mjukvara, *Källsök*, för att hitta och identifiera strålkällor i den omkringliggande miljön vid mobil mätning. Inriktningen av arbetet har varit att undersöka vid vilken signalnivå som man, med en viss signifikans, kan fastslå att det finns en, från den normala bakgrundsnivån, avvikande signal. Arbetet med att fastslå vilken statistisk metod som bör användas vid sådana insatser planeras skickas in till en vetenskaplig tidskrift för *peer-review* under 2020 [14].

Projektet har även medverkat i en NATO-grupp, DIMP. Den gruppen arbetar med revidering av en NATO-handbok som handlar om provtagning och analys av kemiska, biologiska och radioaktiva ämnen, AEP-66.

Under 2019 genomfördes ett arbete på FOI tillsammans med Åbo universitet där mineralen hackmanits känslighet för joniserande strålning studerades. Hackmanit uppvisar effekter av både tenebrescens och luminiscens. Tidigare arbeten har presenterats där mineralens känslighet för UV-strålning har undersökts. Frågeställningen inför arbetet här vid FOI var om effekten även finns för joniserande strålning. Materialets, i form av syntetisk hackmanit, känslighet för strålslag och dosrat/totaldos har undersökts för bestrålningar med alfa, beta och gammastrålning. Arbetet kommer senare att presenteras i form av en vetenskaplig artikel.

Slutligen medfinansierade projektet under året även ett doktorandarbete där en HPGe-detektor karakteriserades och kalibrerades för *in situ*-mätningar av lågenergetisk gammastrålning i närgeometri. *In situ* gammaspektrometri är en väl etablerad metod och används normalt för mätningar av högre gammaenergier och med detektorn placerad på ett längre avstånd från marken [15-18]. När fokus ligger på lågenergetisk gammastrålning är det till fördel om avståndet mellan detektor och mark är mindre, men detta innebär också att strålningsbidraget kommer att representera en mindre yta (eng. *field-of-view*). Detektorn som användes i studien är en GEM-S HPGe-detektor med ett tunt fönster och en bred tunn kristall (EG&G Ortec, TN, USA)¹, som är särskilt avsedd för att mäta lågenergetisk gammastrålning. Den valdes baserat på data från Monte Carlo-beräkningar gjorda i tidigare projekt, där simuleringar gjordes för att erhålla den bästa kombinationen av detektorparametrar som ger en låg minsta detekterbar aktivitet (MDA) [19]. En semi-empirisk kalibrering beräknades sedan med två olika mätuppställningar, för att mäta effektiviteten i närgeometri och i olika infallsvinklar mot detektorn. MCNP användes för att skapa en detaljerad modell av detektorn, baserat på data från tillverkare och från datortomografi (CT). Modellen har sedan modifierats för att stämma överens med empiriska mätningar. Slutligen gjordes en verifiering

¹ www.ortec-online.com/download/Profile-SP-Detectors.pdf

Titel/Title
Verksamhetsrapport 2019 – Dosimetri och strålskydd

Memo nummer/Number
FOI Memo 7187

av kalibreringen genom mätning på en kalibrerad ²⁴¹Am-ytkälla. Arbetet presenteras i en rapport [20].

Samarbeten och nyttiggörande

Projektets verksamhet sker i dialog och samarbete med ett flertal interna projekt där närliggande eller kopplade frågeställningar återfinns. Dessa projekt är till exempel *Radioekologi*, *Effektmodeller*, *BR-Skydd*, *CBRN-sanering* samt *Radionuklidmätning för strålskyddstillämpningar*. Samarbete sker även med projekt inom forskningsdelområdet *Kärnvapen*.

Den kunskap som finns inom dosberäkningar nyttiggörs löpande gentemot Försvarmakten som stöd i deras arbete med att se över regelverk för agerande vid en situation där Sverige drabbats av effekterna av ett kärnvapen. Kunskapen används också löpande i FOI:s arbete som expertstöd till den nationella strålskyddsberedskapen, där vi av SSM är kontrakterade att delta.

Kompetens och kunskap har även nyttjats i externt finansierade projekt där myndigheter som t.ex. SSM, MSB, Livsmedelsverket och Jordbruksverket ingår. Diskussioner med andra myndigheter om framtida uppdrag pågår också.

Projektet ingår även i ett internationellt samarbete med universitet i Åbo där kompetens och kunskap nyttiggörs.

Titel/Title
Verksamhetsrapport 2019 – Dosimetri och strålskydd

Memo nummer/Number
FOI Memo 7187

Referenser

- [1] Los Alamos National Laboratory, "MCNP- A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5", LA-UR-03-1987, 2003 (Rev. 2008).
- [2] J B Gogani, G Ågren, "Organ and effective doses for FOI mathematical phantoms due to environmental photon exposures", FOI-R--4911--SE-0.0, 2019.
- [3] J B Gogani, G Ågren, "Cut-off distances for environmental photon exposures", FOI-D--0901--SE, 2019.
- [4] L Ahlinder, J B Gogani, "Densitet och elementär sammansättning i svenska tätorter", FOI-D--*manuskript inskickat*, 2019.
- [5] J B Gogani, C Lejon, G Ågren, "Modifiering av FOI:s manliga standardfantom för bestämning av stråldos till endosteum", FOI-memo--*manuskript inskickat*, 2019.
- [6] L Björklund och M Goliath, "Kärnladdningars skadeverkningar Beräkningsprogram med instruktion", FOI-R-2741—SE, 2009
- [7] N Palmqvist, J B Gogani, "Verkansradier för joniserande initialstrålning vid en kärnvapendetonation - en jämförelse med andra verkansformer" FOI-R--4910--SE-0.0., 2019
- [8] IMBA[®] (Integrated Modules for Bioassay Analysis, Vers 5.0.0)
- [9] [Nucleonica GmbH, Nucleonica Nuclear Science Portal (www.nucleonica.com), Version 3.0.65, Karlsruhe (2017)]
- [10] J Lindqvist, "En stokastisk partikelmodell I ett icke-metriskt koordinatsystem", april 1999, FOI-R--99-01086-862—SE
- [11] H Grahn, K Lidström, T Nylén, A Tovedal "Effektiv och ekvivalent inhalationsdos efter en kärnladdningsdetonation", FOI-R--*manuskript in prep*, 2020
- [12] J B Gogani, M Granström, G Ågren, "FOIs mobila system för mätning av radioaktiv kontamination i människa – jämförelse mellan kalibrering med ¹⁵²Eu och ¹³⁷Cs.", FOI-Memo--*manuskript inskickat*, 2019
- [13] A Forsberg, K Lidström, "Modeller och metoder för fältgammaspectrometri". FOI-R--4917--SE-0.0, 2019.
- [14] H Ramebäck, L Persson, C Ekberg, A Vesterlund, M Bruggeman, "A Monte Carlo method for calculation of the characteristic limits decision threshold and detection limit in low-level radioactivity measurements", *manuskript in prep*, 2020
- [15] H Beck, J DeCampo, C Gogolak, *In situ Ge(Li) and NaI(Tl) gamma-ray spectrometry*. USAEC HASL-258, 1972.
- [16] R Finck, "High resolution field gamma spectrometry and its application to problems in environmental radiology", Ph. D. Thesis, Lund University., 1992
- [17] ICRU Report 53, "Gamma-ray Spectrometry in the Environment", International Commission on Radiation Units and Measurements, 1994.
- [18] Y Nir-El, N Lavi, E Ne'eman, S Brenner, G Haquin, "In situ gamma-ray spectrometric measurement of uranium in phosphate soils", J. Environ. Radioact. 45, 185-190, 1999
- [19] A Hedman A, B Gogani, M Granström, L Johansson, J S Andersson, H Ramebäck, "Characterization of HPGe detectors using Computed Tomography". Nucl. Instr. Methods Phys. Res. A 785, 21-25., 2015.

Titel/Title

Verksamhetsrapport 2019 – Dosimetri och strålskydd

Memo nummer/Number

FOI Memo 7187

[20] A Hedman, M Granström, L Johansson, G Ågren, H Ramebäck, ”In situ gammaspektrometri vid låga energier: Semi-empirisk kalibrering av en semiplanar HPGe-detektor för mätningar i närgeometri.”, FOI-R—4729, 2019