



LUND UNIVERSITY

Stråldosen till boende i nedfallsdrabbade områden: Preliminära uppskattningar efter svenska förhållanden

Isaksson, Mats; Rääf, Christopher; Martinsson, Johan

2019

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Isaksson, M., Rääf, C., & Martinsson, J. (2019). *Stråldosen till boende i nedfallsdrabbade områden: Preliminära uppskattningar efter svenska förhållanden*. Medical Radiation Physics, Lund University.

Total number of authors:
3

Creative Commons License:
CC BY-NC

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Stråldosen till boende i nedfallsdrabbade områden: Preliminära uppskattningar efter svenska förhållanden

M. Isaksson¹, C. L. Rääf², J. Martinsson²

¹Avdelningen för radiofysik, Institutionen för kliniska vetenskaper, Sahlgrenska akademien, Göteborgs Universitet

²Medicinsk strålningsfysik, Institutionen för translationell medicin, Lunds Universitet

Abstrakt

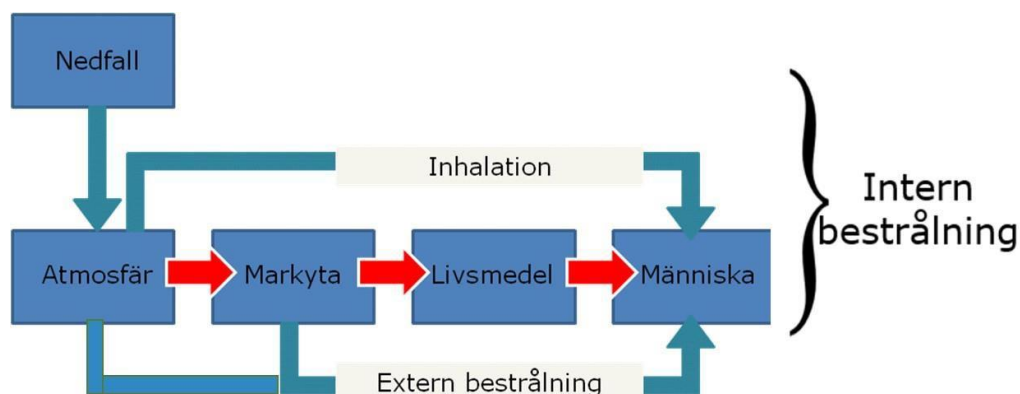
Utifrån modeller som tagits fram efter radioekologiska studier av svenska förhållanden utförda efter Tjernobylyolyckan 1986 visar preliminära beräkningar att de avstyrda stråldoser som kan åstadkommas med sanering av byggnadshus respektive strikta livsmedelsrestriktioner är relativt lika (ca 25%). En kombination av dessa åtgärder kan teoretiskt sänka den summerade stråldosen med 50% under ett 50-årsperspektiv efter nedfallet. Dessa värden har utgått från en genomsnittlig dosreducerande effekt på 50% av en saneringsinsats på en typisk svensk bostad. I det pågående projektet kommer mer detaljerade studier kring saneringseffektvitetsens roll i den avstyrda stråldosen över lång sikt att studeras vidare.

Introduktion

Utsläpp från kärntekniska anläggningar eller från kärnvapenedfall resulterar i att radionuklider släpps ut i miljön och ger förhöjda strålnivåer till boende inom det drabbade området. Konsekvenserna av ett sådant utsläpp kommer i stor utsträckning att bero på de motåtgärder som genomförs efter olyckan. Även för motåtgärder som ska förmildra konsekvenserna över lång sikt måste man fatta beslut om i relativt tidigt skede efter olyckan. Dessa åtgärder bör planeras av myndigheterna i förväg (IAEA, 2015). Således är det viktigt att göra förutsägelser av stråldos till den drabbade befolkningen, både externt och internt så snart som möjligt efter en olycka, även när data är otillfredsställande. Rättfärdiga saneringsåtgärder kommer att begränsa följderna för både de drabbade individerna och samhället. Därför bör uppskattningar av framskriven dos med och utan olika förmildrande scenarier helst studeras i förväg. Syftet med denna studie är att beräkna skillnader mellan framskrivna doser utifrån ett antal olika nedfallssituationer, och analysera hur utfallet av dessa värden kan påverka val av motåtgärder.

Erfarenheterna från Tjernobylyolyckan 1986 och dess utsläpp i Sverige visar att atmosfäriska utsläpp av radioaktiva ämnen från upphettat kärnbränsle kan fördela sig mycket ojämnt, både på lokal och regional nivå. Om utsläppsmolnet sammanfaller med ett nederbördsområde kan molnet tvättas ur snabbare på framför allt svårflyktiga kärnbränsleprodukter. Beroende på det nedfallsdrabbade områdets markanvändning och befolkningstäthet kan ett utsläpp från kärnteknisk anläggning få stora konsekvenser både på kort och lång sikt. Man delar in de olika exponeringsvägarna till människor i det drabbade området i två kategorier; 1. Externa exponeringsvägar, och 2. Interna exponeringsvägar för strålning till människokroppen.

* Kontaktperson, E-mail: mats.isaksson@radfys.gu.se; christopher.raaf@med.lu.se



Figur 1. Översiktmodell över exponeringsvägar för atmosfäriskt radioaktivt utsläpp till människa.

I en relativt ny studie presenterades en modell för att beskriva det över tid summerade externa stråldosbidraget från kortlivade nuklider och de gamma-emitterande Cs-isotoperna, ^{134}Cs och ^{137}Cs , i de mest drabbade länen i Sverige (Jönsson et al, 2017). Modellen togs fram utifrån ett antal olika mätserier genomförda i Sverige: 1) upprepade mätningar av dosnivån 1 m ovan mark mellan 1986 till 2013, 2) luftfiltermätningar från fasta mätstationer utplacerade på ett antal orter i landet, 3) högupplösande gammaspektrometri på ett antal platser i de mest nedfallsdrabbade områdena för att erhålla sammansättningen av radioaktiva ämnen i inledningsskedet efter ett nedfall, och 4) flygmätning av markbeläggningen av ^{137}Cs i Sverige som genomfördes av Sverige geologiska undersökningar (SGU). Flygkarteringen av ^{137}Cs beläggningen kan användas som en ansats för att uppskatta vilka externa stråldoser som lokalbefolkningen erhållit sedan nedfallet ägde rum.

Med denna modell kan man konstatera att det övervägande bidraget till den yttre doshastigheten under den första månaden efter nedfallet berodde på kortlivade fissionsprodukter, under resten av det första året av den radioaktiva isotopen ^{134}Cs och därefter av bidrag från kvarvarande markbeläggning av ^{137}Cs . Om man summerar över tiden 70 år, förutspår modellen att ^{137}Cs bidrar med 60%, ^{134}Cs med 30%, och kortlivade nuklider med resten till den tidssummerade externa stråldosen över 70 år. Den fysikaliska halveringstiden för ^{137}Cs är 30,2 år, men i praktiken kommer migrationsprocesser i mark och andra ekologiska processer att medföra en snabbare avklingning av dosbidraget. Utifrån denna modell som baseras på svenska mätningar har dosbidraget från ^{137}Cs en effektiv avklingningshastighet (även benämnd effektiv ekologisk halveringstid) på ca 6 år.

Modellen kom också att överensstämma med mätningar och beräkningar för ryska områden i liknande barrskogsregioner som i Sverige som härrör från retrospektiva dosimetriska mätningar i boreala skogsområden i Ryssland (Ramzaev, 2008). Modellen av Jönsson et al. (2017) baserades på det ursprungliga aktivitetsförhållandet mellan ^{134}Cs och ^{137}Cs i Tjernobylnedfallet i Sverige 1986 (0,56). Om man hade ersatt detta värde med motsvarande förhållande från Fukushima-utsläppet (1,1) (Chaisan et al., 2013) skulle den summerade 50-årsdosen öka med knappt 20%. En 20%-ig variation får i dessa sammanhang betecknas som en relativt försumbar osäkerhet och man kan därför anta att det aktivitetsförhållande som rådde mellan ^{137}Cs och ^{134}Cs i Tjernobylnedfallet även kan tillämpas för framtida kärnkraftverksutsläpp i tempererade zoner.

Det andra stora stråldosbidraget kommer från den interna exponering till människor som fås genom intag av kontaminerade livsmedel. Från kärnkraftsutsläpp och kärnvapennedfall kommer ^{134}Cs och ^{137}Cs vara de främst dominerande nukliderna över lång sikt, även om kortlivade isotoper som ^{131}I har betydelse de första månaderna efter nedfallet. Kommer nedfallet från en närbelägen kärnteknisk anläggning, eller från ett kärnvapennedfall, kommer även stråldosbidrag från isotopen ^{90}Sr att få stor betydelse. Genom direkt eller indirekt kontamination av betesmark, grödor, andra livsmedel som t.ex. svamp och bär, kommer dessa isotoper att överföras till människor och ansamlas i kroppen. Genom

s.k. helkroppsmätningar kan man detektera hur stor aktivitetsmängd av dessa isotoper som drabbade individer har fått i sig. Även här rör det sig främst och ^{137}Cs (från kärnvapenedfallen) och ^{134}Cs tillsammans med ^{137}Cs (efter Tjernobylnedfallet). I Sverige har ett flertal studier på helkroppsinnehåll av ^{137}Cs i människor gjorts sedan början av 1960-talet. Data från dessa studier sammanställdes i mitten av 2000-talet och utvärderades med avseende på långsiktiga trender i svensk befolkning. Genom att koppla koncentrationen av ^{137}Cs i olika befolkningsgrupper mot den lokala eller regionala markbeläggningen av ^{137}Cs kunde ett mått på den s.k. radioekologiska överföringen från mark till människa bestämmas för ett antal olika svenska befolkningsgrupper. För merparten av svensk tätortsboende befolkning ligger detta värde inom intervallet 20-30 $\mu\text{Sv}/(\text{kBq per m}^2)$. Ett tydligt mönster framträdde där renskötande samer uppvisar den högsta radioekologiska överföringsfaktorn över 500 $\mu\text{Sv}/(\text{kBq per m}^2)$, medan medlemmar i jägarhushåll har en motsvarande faktor på ca 100 $\mu\text{Sv}/(\text{kBq per m}^2)$. Den relativt sett höga överföringsfaktorn hos svensk jägarbefolkning jämfört med tätortsbefolkning har sin orsak i att konsumtion av vilt i Sverige varit relativt oreglerad jämfört med livsmedel som distribueras och saluförs på öppna marknaden.

Genom att kombinera modellen för extern exponering utifrån en given beläggning av ^{137}Cs och den motsvarande radioekologiska överföringen möjliggörs en uppskattning av den totala summerade dosen över en längre tidsperiod. I detta arbete har den totala summerade stråldosen beräknats till en hypotetisk befolkning som lever under förhållanden som liknar den för Sverige med avseende på markegenskaper och kostvanor. Syftet med studien är att uppskatta hur den summerade stråldosen efter ett utsläpp varierar mellan olika tänkbara nedfallssituationer och olika motåtgärder. Ur detta kan man bl.a. uppskatta hur stor inverkan intern bestrålning kan tänkas ha vid en nedfallssituation där man överväger saneringsåtgärder för att sänka den externa bestrålningen.

Metod

Modell

I Figur 2 beskrivs de faktorer som ingår i den modell som uppskattar vilka stråldoser befolkningen i ett nedfallsdrabbat område kommer få. Modellen utgår från en given lokal markbeläggning av ^{137}Cs (kBq per m^2), och på motsvarande genomsnittsvärde för markbeläggningen över en större region, vars storlek svarar mot ett svenskt länsområde (ca 20 000–50 000 km^2).



Figur 2. Faktorer som påverkar den strålningsrelaterade cancerisken över en lång sikt till boende i nedfallsdrabbat område.

Tabell 1. Scenarier som innefattar olika nedfall och betingelser för motåtgärder.

Scenario (Förkortning)	Beskrivning
Standardscenario: Högt nedfall* av vätdeponerade fissionsprodukter (HD)	Initialt nedfall svarar mot den storlek och typ av nedfall som skedde över Gävle 1986 från Tjernobyl. Befolkning konsumerar enbart livsmedel vars innehåll av radioaktiva nedfallsämnen som t.ex. ^{137}Cs och ^{131}I understiger de gränsvärden som gällde för saluförda livsmedel i Sverige från och med 1987 (Moberg, 2001)**.
Högt nedfall*, hög andel extern komponent (HE)	Hög grad av utomhusvistelse och boende i lågskärmande småhus. Befolkning konsumerar enbart livsmedel vars innehåll av radioaktiva nedfallsämnen som t.ex. ^{137}Cs och ^{131}I understiger de gränsvärden som gällde för saluförda livsmedel i Sverige från och med 1987 (Moberg, 2001)**.
Utrymning till en annan ort inom samma län (HR)	Boende konsumerar livsmedel från samma region, men bor i ett område med lokalt sett mycket lågt nedfall. Befolkning konsumerar enbart livsmedel vars innehåll av radioaktiva nedfallsämnen som t.ex. ^{137}Cs och ^{131}I understiger de gränsvärden som gällde för saluförda livsmedel i Sverige från och med 1987 (Moberg, 2001)**.
Högt nedfall* samt hög överföring*** av markbeläggning till människa (HT)	Boende konsumerar i hög grad lokalproducerade livsmedel, skogsprodukter och viltkött. En situation som liknar jägare i svenska skogslän efter Tjernobylnedfallet, dvs befolkning har intag av livsmedel vars innehåll av ^{137}Cs och ^{131}I kan överstiga gränsvärden för detaljhandeln.
Högt nedfall*, effektiva livsmedelsrestriktioner (HF)	Mycket restriktiva begränsningar av handel och distribution av livsmedel som är kontaminerade med fissionsprodukter – en situation som liknar de återvändande till Fukushima-regionen.

*Högt nedfall har i denna studie definierats som områden med en ^{137}Cs beläggning på 100 kBq/m².

**300 Bq/kg för samtliga aktuella radioaktiva ämnen och samtliga saluförda livsmedel. Rekommenderade gränsvärden på 1500 Bq/kg för naturliga produkter som vilt, bär, svamp och insjöfisk.

***Hög överföring har i denna studie definierats som den radioekologiska överföring som gäller för svenska jägare efter Tjernobylnedfallet (ca 100 µSv/(kBq per m²)).

De scenarier som är särskilt intressanta att jämföra ur ett återställningsperspektiv är skillnaderna mellan ett scenario med relativt högt nedfall (>100 kBq/m² av ^{137}Cs) av långlivade fissionsprodukter (Scenario HD) och en situation där samhället trots den höga beläggningen lyckas genomföra en effektiv restriktion av kontaminerade livsmedel (Scenario HF). Den matematiskt beskrivna situationen HD svarar till stora delar mot den situation som rådde i Gävle kommun dagarna under och efter den initiala passagen av det radioaktiva molnet från Tjernobyl 1986. Denna jämförelse visar hur stor andel av den totala stråldosen, och därmed den långsiktiga strålningsrelaterade hälsorisk som utgörs av den interna exponeringsvägen (se Figur 1). Denna jämförelse är viktig som referens då man ska välja strategi för sanering av vissa boenden.

En annan intressant jämförelse är mellan scenario HD och ett scenario där man utrymmer befolkningen till en plats inom samma region men med avsevärt lägre lokalt nedfall (HR). Jämförelsen kan avspegla hur stora vinster i avstyrda hälsokonsekvenser som erhålls genom utrymning, utan att för den skull inskränka på människornas ordinarie livsmedelsvanor.

Ytterligare en jämförelse kan göras mellan scenariot HD och en situation där de boende erfar en hög radioekologisk överföring av nedfallsprodukter (scenario HT). Ett exempel på ett sådant scenario är den situation som råder för svenska jägare som i större utsträckning än andra grupper konsumerar viltkött och insjöfisk. Dessa s.k. naturliga produkter omfattas inte av lagstiftade gränsvärden på samma sätt som saluförda livsmedel i detaljhandeln, och även vid relativt låg markbeläggning kan ^{137}Cs koncentrationer över 1000 Bq/kg i föda som insjöfisk och älgkött uppstå på grund av det höga fysiologiska upptaget av ämnet cesium i många arters vävnad.

Resultat och diskussion

Table 2. Extern, intern samt summerade stråldosbidrag från ett antal olika komponenter i nedfall och markbeläggning. Värdena avser bidrag från både kortlivade radionuklider (som t.ex. ^{131}I och ^{132}Te) och långlivade nedfallsprodukter (^{134}Cs och ^{137}Cs) till vuxna personer från nedfallstillfället till 50 år fram i tiden.

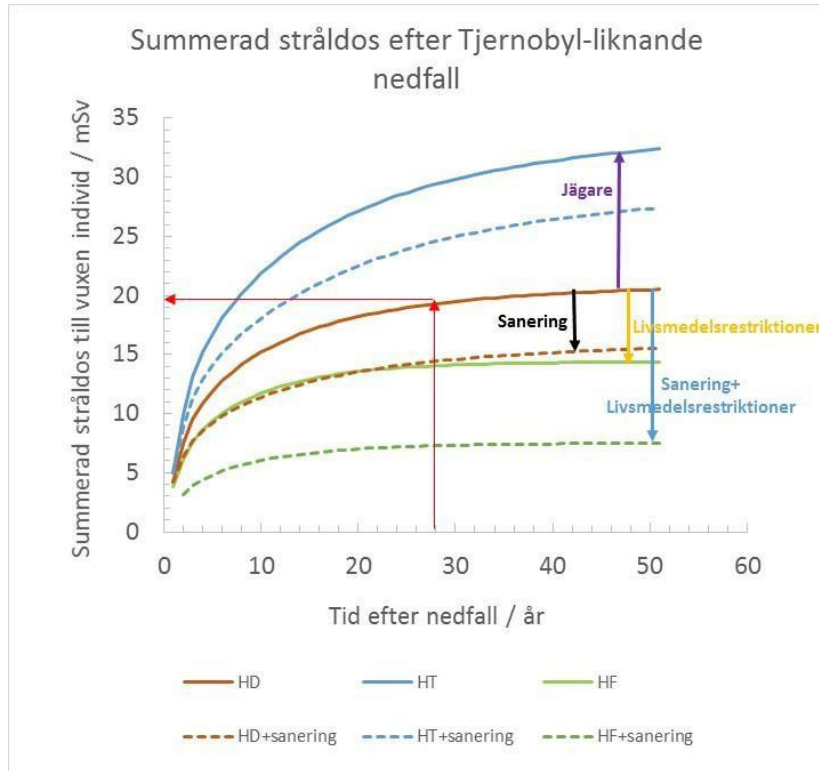
Scenario	Extern stråldos (mSv)	Intern stråldos (mSv)	Total stråldos (mSv)	
			Utan sanering	Med sanering
Standardscenario (HD)	13,8	6,8	20,5	15,5
(HR)	<1	6,8	<7,8	-
(HT)	13,8	18,6	32,9	27,4
(HF)	13,8	0,6	14,4	7,5

Den summerade stråldosen över en 50-årsperiod för vuxna personer som drabbas av ett nedfallsscenario (scenario HD) om liknar den som rådde för Gävle kommun 1986 kommer att till 67% härröra från interna exponeringsvägar, och 33% från motsvarande extern exponering. En litteraturstudie över effektiviteten i saneringen av byggnader från Östeuropa och Japan, visar på en relativt blygsam siffra på ca 50% (Samuelsson et al., 2014). Om vi antar att en saneringsinsats hade genomförts ca 1 år efter inträffat nedfall till de drabbade individernas bostadsområden med en liknande effektiv saneringseffektivitet som i Japan, så skulle 50-årsdosen sänkas med ca 25%.

I Japan genomfördes en rigorös kontroll av de livsmedel som intogs av de boende i nedfallsdrabbade områden från Fukushima Daiichi anläggningen. I en studie av boende i områden kring staden Minamisoma (10–40 km norr om Fukushima-anläggningen) fann man bara en svag koppling mellan lokal markbeläggning och helkroppsinnehåll av ^{137}Cs (Tsubakora et al., 2016). Detta innebär att man där har ett scenario där externdosbidraget dominerar starkt framför den interna stråldoskomponenten. Om man i scenario som HD antar att den tänkta befolkningen genomgår samma strama livsmedelsrestriktioner som den japanska befolkningen genomgått (scenario HF) så kommer den i tiden summerade stråldosen enligt våra beräkningar sänkas med ca 30%.

I den andra extreman till scenario HF så utgörs de boende av människor med en livsstil som är relativt vanlig i Sverige, och som representeras av jaktintresserade och jägare (scenario HT). Man räknar med att ca 10% av svensk befolkning bor i ett hushåll där minst en person har jaktlicens. I tidigare studier (Rääf et al., 2006; Tondel et al., 2017) har vi sett att denna befolkning har kostvanor i form av vilt och andra skogsprodukter som medför att exponeringsvägen för radioaktiva isotoper från markbeläggningen via intag till människa blir ca tre gånger större än för övrig tätortsbefolkning. I detta fall kommer 57% av 50-årsdosen utgöras av den interna exponeringsvägen via föda. Vid en sanering av de boendes närområden, med samma antagna effektivitet i metoden som i de föregående scenarierna, skulle den totala 50-årsdosen sänkas med 15%.

I Figur 3 finns en översikt över summerade stråldoser (50 år) för vuxna individer för scenarierna HD, HF och HT (osäkerhetsstaplar avser 5% till 95% konfidensnivå).



Figur 3. Summerad stråldos till vuxen individ i nedfallsdrabbat område vid ett radioaktivt utsläpp som liknar den från Tjernobyli som skedde i Gävle kommun 1986. Som exempel på hur figuren ska tolkas så anger den mörkröda pilarna den summerade dos som erhålls till en vuxen individ som levtt 28 år i det nedfallsdrabbade området. Personen har då erhållit en summerad stråldos på ca 20 mSv från detta nedfall.

Slutsatser

Om man antar att saneringsåtgärderna i genomsnitt ger en reduktion av den externa dosraten till de boende med 50%, vilket verkar vara en rimlig siffra utifrån tidigare erfarenheter av omfattande saneringsprogram (Samuelsson et al., 2019), visar våra preliminära modellberäkningar att sanering av boendeområden skulle kunna minska den summerade 50-årsstråldosen med ca 25%. Sannolikt kan större dosminskning åstadkommas om mer högeffektiva saneringsåtgärder vidtas, vilket kommer utredas i ett senare skede av projektet. Sänkningen på 25% är i samma storleksordning som kan åstadkommas med rigorösa livsmedelsrestriktioner liknande de som genomförts i Japan efter Fukushima-olyckan. Emellertid kommer en saneringsåtgärd ha blygsammare inverkan på den totala stråldosen för vissa svenska befolkningsgrupper, som t.ex. jägare. Om ingen omställning i livsstil och kostvanor görs för en sådan grupp så kommer, trots saneringsåtgärderna, den summerade 50-årsdosen fortfarande överstiga väsentligt, ca 30%, den motsvarande dos som erhålls för övrig svensk tätortsbefolkning.

Referenser

Chaisan, K., Smith, J T., Bossew, P., Kirchner, G. & Laptev, G V. 2013. Worldwide isotope ratios of the Fukushima release and early-phase external dose reconstruction. Scientific Reports volume 3, Article number: 2520.

IAEA, 2015, Preparedness and response for a nuclear or radiological emergency. General safety requirements No. GSR Part 7. International Atomic Energy Agency. Vienna.

Jönsson M, Tondel M, Isaksson M, Finck R, Wålinder R, Mamour A & Rääf C. 2017. Modelling the external radiation exposure from the Chernobyl fallout using data from the Swedish municipality measurement system. *Journal of Environmental Radioactivity*, 178-179, 16-27.

Moberg, L. Kärnkraftsolyckan i Tjernobyl: En sammanfattning femton år efter olyckan. SSI-rapport 2001:07, Strålsäkerhetsmyndigheten, Stockholm.

Ramzaev, V., et al., 2008. An assessment of cumulative external doses from Chernobyl fallout for a forested area in Russia using the optically stimulated luminescence from quartz inclusions in bricks. *J. Environ. Radioact.*, Vol. 99, pp. 1154-1164.

Rääf CL, Hubbard L, Falk R, Agren G, Vesanen R. 2006b. Transfer of ¹³⁷Cs from Chernobyl debris and nuclear weapons fallout to different Swedish population groups. *Sci Total Environ*. Aug 15;367(1):324-40. PubMed PMID: 16504249.

Samuelsson, C., Finck, R., Martinsson, J., Rääf, C. 2014. Decontamination after a nuclear fallout: A condensed review of case studies, methods and information routes up to 2014. Intern rapport (MA RADFYS 2019:01), Lunds Universitet.

Tondel M, Rääf C, Wålinder R, Mamour A & Isaksson M. 2017. Estimated lifetime effective dose to hunters and their families in the three most contaminated counties in Sweden after the Chernobyl nuclear power plant accident in 1986 – A pilot study. *Journal of Environmental Radioactivity*, 177, 241-249.

Tsubokura, et. Al. 2016. Estimated association between dwelling soil contamination and internal radiation contamination levels after the 2011 Fukushima Daiichi nuclear accident in Japan. *BMJOpen*2016;6:e010970. doi:10.1136/bmjopen-2015-010970