



Strål  
säkerhets  
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Jan Johansson  
Peder kock  
Jonas Lindgren  
Jonas Boson  
Anna Maria Blixt Buhr  
Simon Karlsson

# 2019:11

Behov av personsanering för  
allmänheten i samband med en  
svensk kärnkraftsolycka





Strål  
säkerhets  
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Jan Johansson  
Peder kock  
Jonas Lindgren  
Jonas Boson  
Anna Maria Blixt Buhr  
Simon Karlsson

# 2019:11

Behov av personsanering för  
allmänheten i samband med en  
svensk kärnkraftsolycka



## Sammanfattning

SSM föreslår i denna rapport vilken beredskapsplanering för personsanering som bör finnas kring svenska kärnkraftverk. Förslagen utgår från doskriterier när olika insatser för personsanering är motiverade i syfte att undvika skador på huden samt för att minska oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden. För dessa doskriterier har SSM beräknat motsvarande ytbeläggning på huden. SSM har sedan relaterat ytbeläggning på huden till markbeläggning av cesium. SSM har därefter tagit fram ett statistiskt underlag för markbeläggningen av cesium med hjälp av spridningsberäkningar och på så vis uppskattat på vilka avstånd olika insatser för personsanering kan vara motiverade i samband med utsläpp vid kärnkraftsolyckor.

SSM:s förslag till planering för personsanering:

1. Livräddande och fullständig personsanering behöver inte förberedas för allmänheten kring kärnkraftverken.
2. Organiserad personsanering för allmänheten bör förberedas så att det finns kapacitet att hantera alla personer ut till cirka 5 km från kärnkraftverken. Organiserad personsanering för allmänheten är endast motiverad under speciella omständigheter, vilket bör beaktas i beredskapsplaneringen.
3. Information om åtgärder som enskilda kan vidta i syfte att minimera oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden (enskild personsanering) bör förberedas. Information som riktar sig till gravida ut till cirka 100 km, barn ut till cirka 50 km och vuxna ut till cirka 5 km kring kärnkraftverken bör prioriteras i förberedelsearbetet.

SSM avråder från att använda operativa åtgärdsnivåer i samband med livräddande, fullständig eller organiserad personsanering. Den mätning som utförs bör istället syfta till att avgöra när ytterligare insatser inte längre minskar ytbeläggningen på huden och personsaneringen därmed kan upphöra.



# Innehåll

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Underlag till beräkningar</b> .....	<b>7</b>
1.1. Inledning och metod .....	7
1.2. Händelser .....	7
1.3. Exponeringsvägar och effekter av exponering .....	7
1.4. Doskriterier .....	8
1.5. Beräkning av dos .....	10
1.6. Behov av personsanering.....	10
1.7. Ytbeläggning på huden som motsvarar doskriterierna.....	11
1.8. Dosrat vid mätning på hud som kontaminerats vid utsläpp.....	12
1.9. Relation mellan ytbeläggning på hud och markbeläggning.....	12
<b>2. Resultat från spridningsberäkningar</b> .....	<b>14</b>
2.1. Allvarliga deterministiska effekter på huden.....	14
2.2. Deterministiska effekter på huden.....	14
2.3. Oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden.....	15
2.4. Dosbidrag från olika nuklider som deponerat på huden.....	17
<b>3. Analys och förslag till beredskapsplanering</b> .....	<b>18</b>
3.1. Allvarliga deterministiska effekter på huden.....	18
3.2. Deterministiska effekter på huden.....	18
3.3. Oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden.....	19
<b>4. Mätning vid organiserad personsanering</b> .....	<b>21</b>
<b>Bilaga 1 – Kärnkraftsolyckan i Fukushima 2011</b> .....	<b>24</b>





# 1. Underlag till beräkningar

## 1.1. Inledning och metod

Vid utsläpp i samband med kärnkraftsolyckor kan personer utanför anläggningen bli kontaminerade av radioaktiva ämnen som deponerar på huden. Beroende på graden av kontamination kan olika insatser för personsanering behöva vidtas i syfte att undvika skador på huden samt för att minska oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som antingen deponerat på huden i samband med utsläppet eller hamnat på huden vid ett senare tillfälle, t.ex. genom direktkontakt med kontaminerat material eller kontaminerade föremål.

SSM har i denna rapport fastställt doskriterier när olika insatser för personsanering är motiverade för att undvika skador på huden samt för att minska oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden. För dessa doskriterier har SSM beräknat motsvarande ytbeläggning på huden. SSM har sedan relaterat ytbeläggning på huden till markbeläggning av cesium. SSM har därefter tagit fram ett statistiskt underlag för markbeläggningen av cesium med hjälp av spridningsberäkningar och på så vis uppskattat på vilka avstånd olika insatser för personsanering kan vara motiverade i samband med utsläpp vid kärnkraftsolyckor.

## 1.2. Händelser

De avstånd som SSM beräknat beror bland annat på storlek och sammansättning av utsläppet. SSM har i denna rapport utgått från händelserna med väl fungerande, fungerande och utan fungerande konsekvenslindrande system som myndigheten fastställt i rapporten SSM2017:27 *Översyn av beredskapszoner* [1]. SSM har dessutom undersökt konsekvenserna av en händelse där utsläppet är tio gånger större jämfört med utsläppet i händelsen med fungerande konsekvenslindrande system. I denna rapport benämns dessa händelser 0,1xFKS, FKS, 10xFKS och 100xFKS, där FKS står för fungerande konsekvenslindrande system. I Tabell 1 redovisas utsläppet till atmosfären för dessa händelser som total utsläppt aktivitet för referensnukliderna Xe-133, I-131 och Cs-137.

**Tabell 1.** Totalt utsläppt aktivitet till atmosfären för de tre referensnukliderna Xe-133, I-131 och Cs-137 för händelserna 0,1xFKS, FKS, 10xFKS och 100xFKS.

Storlek på utsläpp	Xe-133 (Bq)	I-131 (Bq)	Cs-137 (Bq)
0,1xFKS	~5E+18	~1E+14	~1E+13
FKS	~5E+18	~1E+15	~1E+14
10xFKS	~5E+18	~1E+16	~1E+15
100xFKS	~5E+18	~1E+17	~1E+16

## 1.3. Exponeringsvägar och effekter av exponering

SSM har beaktat två exponeringsvägar i beräkningarna, dels direkt exponering av radioaktiva ämnen som deponerat på huden och dels oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden. För direkt exponering på huden har SSM beräknat om och på vilka avstånd från kärnkraftverken allvarliga deterministiska eller deterministiska effekter (se faktaruta) kan uppstå. Beräkningarna för direkt exponering på huden har skett för olika exponeringstider, dvs. hur lång tid de radioaktiva ämnena finns kvar på huden.

Exponeringen kan begränsas genom t.ex. personsanering eller naturligt på grund av sönderfall och processer såsom nötning eller omsättning av celler i det yttersta hudlagret. För exponering via oavsiktligt intag har SSM beräknat om och på vilka avstånd från kärnkraftverken en ökad risk för stokastiska effekter (se faktaruta) kan uppstå.

**Deterministiska effekter:** Effekter som karakteriseras av en tröskeldos och där allvarligheten ökar med ökad dos. Dessa effekter betecknas som allvarliga om de är dödliga, livshotande eller resulterar i en bestående skada som försämrar livskvalitén.

**Stokastiska effekter:** Effekter där sannolikheten att de ska inträffa ökar med ökande stråldos, men där allvarligheten av effekten om den inträffar är oberoende av stråldosens storlek. Ett exempel på en stokastisk effekt är cancer.

## 1.4. Doskriterier

SSM har fastställt doskriterier för allvarliga deterministiska effekter på huden, deterministiska effekter på huden och oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden. Alla doskriterier gäller för kontamination som uppstår i samband med utsläpp från ett kärnkraftverk vid ett tillfälle i samband med en radiologisk nödsituation och är inte tillämpliga vid upprepad och långvarig kontamination.

### 1.4.1. Allvarliga deterministiska effekter

SSM har fastställt doskriterier för allvarliga deterministiska effekter på huden till 10 respektive 2 Gy RBE-viktad absorberad dos (se faktaruta) till ytan 100 cm<sup>2</sup> på djupet 0,4 mm från exponering under 10 timmar. Det högre doskriteriet är i överensstämmelse med IAEA:s generiska kriterium för att vidta åtgärder i syfte att undvika eller minimera allvarliga deterministiska effekter på huden [2]. Det lägre doskriteriet har SSM fastställt i syfte att studera på vilka avstånd som allvarliga deterministiska effekter på huden helt bör kunna uteslutas [3]. SSM har valt att också genomföra beräkningar med exponeringstiden 48 timmar i syfte att omfatta situationer där det tar längre tid än 10 timmar innan exponeringen av huden kan begränsas genom t.ex. personsanering. SSM antar att ytbeläggningen på huden hos personer som påverkas av nedfallet är homogen. De avstånd som SSM beräknar där doskriteriet kan överskridas är därför oberoende av hur stor yta av huden som exponeras.

### 1.4.2. Deterministiska effekter

SSM har fastställt doskriteriet för deterministiska effekter på huden till 500 mSv ekvivalent dos (se faktaruta) till ytan 1 cm<sup>2</sup> på djupet 0,07 mm från exponering under sju dygn. Doskriteriet motsvarar dosgränsen för arbetstagare under ett år [4]. Dosgränsen för arbetstagare utvärderas som ett genomsnitt över 1 cm<sup>2</sup> av den mest exponerade delen av huden på djupet 0,07 mm oavsett storleken på hudytan som exponeras. SSM antar att ytbeläggning på huden hos personer som påverkas av nedfallet är homogen. De avstånd som SSM beräknar där doskriterierna kan överskridas är därför oberoende av hur stor yta av huden som exponeras.

### 1.4.3. Oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden

SSM har fastställt doskriterier för oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden till 10 respektive 1 mSv intecknad effektiv dos (se faktaruta). SSM antar att 100 cm<sup>2</sup> är en rimlig skattning av den maximala yta på handflatorna som kan komma i kontakt med mat i samband med måltider. SSM antar också att denna yta utgör en rimlig skattning av den maximala yta på kroppen som en person kan slicka på och därmed få i sig radioaktiva ämnen som deponerat på huden. Det högre doskriteriet motsvarar en effektiv dos över vilken åtgärder bör vidtas i en radiologisk nödsituation enligt den Nordiska Flaggboken [5]. SSM har även genomfört beräkningar för det lägre doskriteriet eftersom de åtgärder som kan vidtas för att reducera oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden är enkla och därför kan genomföras på förhållandevis stora avstånd. Det högre doskriteriet utgör på så vis en gräns för när åtgärder i syfte att begränsa exponeringen bör prioriteras och det lägre doskriteriet utgör en gräns för när åtgärder i syfte att begränsa exponeringen bör övervägas.

### 1.4.4. Sammanfattning av doskriterier

En sammanfattning av de doskriterier som SSM fastställt redovisas i Tabell 2.

**Tabell 2.** Sammanfattning av doskriterier för allvarliga deterministiska effekter på huden, deterministiska effekter på huden och oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden.

Effekt eller exponeringsväg	Doskriterium (se faktaruta)
Allvarliga deterministiska effekter (hög)	10 Gy RBE-viktad absorberad dos till 100 cm <sup>2</sup> av huden
Allvarliga deterministiska effekter (låg)	2 Gy RBE-viktad absorberad dos till 100 cm <sup>2</sup> av huden
Deterministiska effekter	500 mSv ekvivalent dos till 1 cm <sup>2</sup> av huden
Oavsiktligt intag (hög)	10 mSv intecknad effektiv dos
Oavsiktligt intag (låg)	1 mSv intecknad effektiv dos

**Absorberad dos:** En fysikalisk storhet som anger hur mycket energi som joniserande strålning deponerar i ett material. Absorberad dos anges i Gray (Gy).

**Ekvivalent dos:** En skyddsstorlek som utgör ett mått på risken för stokastiska effekter för en specifik vävnad eller ett specifikt organ. Ekvivalent dos beräknas som summan av alla olika strålslags absorberade doser, viktade med en faktor som tar hänsyn till att olika strålslag har olika biologisk effekt i vävnader och organ. Ekvivalent dos anges i sievert (Sv).

**Effektiv dos:** En skyddsstorhet som utgör ett mått på den sammanlagda risken för stokastiska effekter. Effektiv dos beräknas som summan av alla ekvivalenta doser från kroppens vävnader och organ, viktade med en faktor som tar hänsyn till att olika vävnader och organ är olika känsliga för exponering från joniserande strålning. Effektiv dos anges i sievert (Sv).

**RBE-viktning:** Ett mått på olika strålslags relativa effektivitet att orsaka en specifik hälsoeffekt.

**Intecknad dos:** Den beräknade dos som intag av radioaktiva ämnen leder till över en livstid, vanligtvis 50 år för vuxna och 70 år för barn.

## 1.5. Beräkning av dos

Den RBE-viktade absorberade dosen till huden är oberoende av ålder för den person som blir kontaminerad. SSM har i beräkningarna ansatt att det råder jämvikt mellan moder- och dotternuklider och därför inkluderat bidrag från dotternuklider i doskoefficienten för modernukliden. SSM har använt doskoefficienter för RBE-viktad absorberad dos till huden på djupet 0,4 mm från IAEA [6], [7] och Oak Ridge National Laboratory [8].

Den ekvivalenta dosen till huden är oberoende av ålder för den person som blir kontaminerad. SSM har i beräkningarna ansatt att det råder jämvikt mellan moder- och dotternuklider och därför inkluderat bidrag från dotternuklider i doskoefficienten för modernukliden. SSM har använt doskoefficienter för ekvivalent dos till huden på djupet 0,07 mm från Oak Ridge National Laboratory [9].

Den intecknade effektiva dosen från intag av radioaktiva ämnen är åldersberoende. SSM har därför beräknat doser för vuxna, barn och foster där barn representeras av 1-åringar och där oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen för gravida ligger till grund för beräkningar av intecknad effektiv dos till foster. SSM har använt doskoefficienter för foster från IAEA [7] och doskoefficienter för vuxna och 1-åriga barn från ICRP [10].

## 1.6. Behov av personsanering

Beroende på vilket eller vilka doskriterier som överskrids kan olika former av personsanering vara motiverade (se faktaruta). Syftet med personsanering är att minska eller avbryta exponeringen av farliga ämnen som finns på en persons hud samt minska risken för oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden.

### 1.6.1. Allvarliga deterministiska effekter

Om doskriterierna för allvarliga deterministiska effekter riskerar att överskridas anser SSM att det är motiverat med livräddande och fullständig personsanering. Dessa åtgärder är mycket resurskrävande och kräver därför omfattande förberedelser om de ska kunna genomföras tillräckligt snabbt i samband med en kärnkraftsolycka.

### 1.6.2. Deterministiska effekter

Om doskriteriet för deterministiska effekter riskerar att överskridas anser SSM att det är motiverat med organiserad personsanering. Även detta är en resurskrävande åtgärd och det krävs därför omfattande förberedelser om denna åtgärd ska kunna genomföras i samband med en kärnkraftsolycka, i synnerhet om den ska genomföras i stor skala.

### 1.6.3. Oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden

Om doskriterierna för oavsiktligt intag riskerar att överskridas anser SSM att det är motiverat med information om åtgärder som enskilda kan vidta i syfte att minimera oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden (enskild personsanering). I syfte att underlätta för enskilda bör ansvariga myndigheter informera om vilka åtgärder som kan vidtas. Information riktad till barn och gravida bör prioriteras. Information riktad till de grupper där det högre doskriteriet riskerar att överskridas bör också prioriteras.

**Livräddande personsanering:** Omedelbar personsanering i syfte att rädda liv. Livräddande personsanering utförs av räddningstjänsten i skadeområdet.

**Fullständig personsanering:** Personsanering i syfte att så långt det är möjligt avlägsna alla skadliga ämnen från en persons hud. Fullständig personsanering utförs av hälso- och sjukvården på sjukhus eller vid utgången av varm zon i skadeområdet.

**Organiserad personsanering:** Personsanering som en person utför själv genom att duscha med tvål och vatten på anvisad plats, t.ex. en sporthall eller ett badhus. Vid behov ingår också byte av kläder. Ansvaret för planeringen av organiserad personsanering i samband med kärnkraftsolyckor ligger på länsstyrelsen.

**Enskild personsanering:** Personsanering som en person utför själv genom att duscha med tvål och vatten på en plats som individen väljer själv. Enskild personsanering kan också omfatta byte av kläder samt regelbunden tvätt av händerna. Ansvaret för enskild personsanering ligger på individen.

## 1.7. Ytbeläggning på huden som motsvarar doskriterierna

SSM har beräknat vilken ytbeläggning på huden som motsvarar doskriterierna för deterministiska och allvarliga deterministiska effekter enligt:

$$Ytbeläggning = \frac{Doskriterium}{\sum_i Doskoefficient(i) \times Effektiv\ tid(i) \times Relativ\ aktivitet(i)}$$

För respektive nuklid  $i$  har SSM beräknat en *Effektiv tid* ( $i$ ) som tar hänsyn till sönderfall via sönderfallskonstanten  $\lambda(i)$  och självsanering genom nötning och omsättning av celler i det yttersta hudlagret via självsaneringskonstanten  $\lambda_w$  enligt:

$$Effektiv\ tid(i) = \frac{1 - e^{-(\lambda_w + \lambda(i)) \times Exponeringstid}}{\lambda_w + \lambda(i)}$$

Självsaneringskonstanten utgår från att halveringstiden för självsanering är cirka 15 timmar för radioaktiva ämnen som deponerat på huden [7]. Exponeringstiden är antingen 10 eller 48 timmar för allvarliga deterministiska effekter och en vecka för deterministiska effekter enligt tidigare resonemang.

Ytbeläggningen på huden som motsvarar doskriterierna varierar med sammansättningen av radionuklider i utsläppet som i sin tur beror på händelsen. SSM har därför beräknat vilken *Relativ aktivitet* ( $i$ ) som respektive nuklid bidrar med till den totala aktiviteten enligt:

$$Relativ\ aktivitet(i) = \frac{Aktivitet(i)}{\sum_j Aktivitet(j)}$$

SSM har beräknat vilken ytbeläggning på huden som motsvarar doskriterierna för oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden enligt:

$$Ytbeläggning = \frac{Doskriterium}{\sum_i Doskoefficient(i) \times Relativ\ aktivitet(i)} \times Geometrisk\ faktor$$

Den geometriska faktorn tar hänsyn till att doskriteriet avser intag av alla radioaktiva ämnen som deponerat på ytan 100 cm<sup>2</sup>.

Sammanställningen i utsläppet förändras beroende på hur lång tid som förflutit mellan att kärnklyvningen i reaktorn upphört och till dess utsläpp sker. SSM har beräknat den ytbeläggning på huden som motsvarar doskriterierna med antagandet att utsläpp sker direkt samt med en fördröjning på en upp till och med sju dagar.

### 1.8. Dosrat vid mätning på hud som kontaminerats vid utsläpp

SSM har beräknat miljödosekvivalentrat (se faktaruta) på 10 cm avstånd från en homogent kontaminerad 100 cm<sup>2</sup> stor yta av huden enligt:

$$\text{Miljödosekvivalentrat} = \text{Ytbeläggning på hud} \times \sum_i H^*(i) \times \text{Relativ aktivitet}(i)$$

SSM har använt omvandlingsfaktorer för miljödosekvivalentrat per Bq,  $H^*(i)$ , på 10 cm avstånd från en 100 cm<sup>2</sup> stor yta med en ytbeläggning av nuklid  $i$  från IAEA [7]. Dosraten varierar förhållandevis mycket med antaganden om storleken på den kontaminerade ytan samt med avståndet mellan ytan och mätpunkt. De beräknade miljödosekvivalentraterna ska därför endast ses som indikativa.

Dosraten vid mätning av kontaminerad hud varierar både med vilka nuklider som finns på huden liksom med vilken aktivitet respektive nuklid har. Den uppmätta dosrat (se faktaruta) som motsvarar att ett visst doskriterium kan ha överskridits för en specifik händelse beror därför dels på hur lång tid som förflutit mellan att kärnklyvningen upphörde till dess utsläpp sker och dels på hur lång tid som förflutit mellan att huden blev kontaminerad till dess mätningen genomförs.

**Skyddsstorheter och operativa storheter:** Skyddsstorheterna ekvivalent dos och effektiv dos kan inte mätas direkt. De uppskattas med hjälp av de operativa storheterna persondosekvivalent och miljödosekvivalent som kan registreras med hjälp av mätinstrument. Persondosekvivalent används för att bestämma stråldosen till en individ medan miljödosekvivalent används för att bestämma strålningsnivåerna på en plats.

**Dosrat:** Dos per tidsenhet kallas dosrat och anges i sievert (Sv) per tidsenhet. Strålningsnivåerna på en plats kan mätas med ett instrument som oftast anger miljödosekvivalent per tidsenhet (miljödosekvivalentrat eller bara dosrat).

### 1.9. Relation mellan ytbeläggning på hud och markbeläggning

SSM har med hjälp av spridningsberäkningar uppskattat vid vilka avstånd de doskriterier som myndigheten fastställt kan överskridas för olika händelser. För att kunna göra det har SSM beräknat relationen mellan summan av aktiviteten för Cs-134 och Cs-137 i markbeläggning och aktiviteten i ytbeläggningen på huden enligt:

$$\text{Markbeläggning} = \frac{\text{Ytbeläggning på hud} \times (\text{RA}(\text{Cs-134}) + \text{RA}(\text{Cs-137}))}{0,1 \times \text{Skyddsfaktor}}$$

SSM har antagit att ytbeläggningen på huden är en tiondel av markbeläggningen [6], därav faktorn 0,1 i ovanstående formel. SSM har vidare antagit att inomhusvistelse reducerar ytbeläggningen på huden till hälften jämfört med utomhusvistelse under utsläppet. Det innebär att *Skyddsfaktor* i ovanstående formel sätts till 1 för utomhusvistelse och till 0,5 för inomhusvistelse. I ovanstående formel anger slutligen  $RA(Cs-134)+RA(Cs-137)$  den relativa aktivitet som summan av cesiumisotoperna bidrar med till den totala aktiviteten i utsläppet.

## 2. Resultat från spridningsberäkningar

### 2.1. Allvarliga deterministiska effekter på huden

Doskriterier för allvarliga deterministiska effekter på huden överskrids inte utanför anläggningsområdet kring kärnkraftverken. Detta gäller även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas och oavsett om 10 eller 48 timmars exponeringstid används i beräkningarna. Detta gäller även för personer som vistas utomhus under utsläppet.

### 2.2. Deterministiska effekter på huden

En sammanfattning av de största avstånden där doskriterier för deterministiska effekter på huden kan överskridas för olika händelser om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas redovisas i Tabell 3. Resultat redovisas både för personer som vistas utomhus och inomhus under utsläppet.

**Tabell 3.** Sammanfattning av de största avstånden där doskriterier för deterministiska effekter på huden kan överskridas för olika händelser om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas ("-" innebär att doskriteriet inte överskrids utanför anläggningsområdet).

Percentil	0,1xFKS (km)	FKS (km)	10xFKS (km)	100xFKS (km)
500 mSv ekvivalent dos till huden under sju dygn vid utomhusvistelse				
70	-	-	-	2,4
80	-	-	-	3,8
90	-	-	-	7,0
500 mSv ekvivalent dos till huden under sju dygn vid inomhusvistelse				
70	-	-	-	1,7
80	-	-	-	2,1
90	-	-	-	3,2



### 2.3. Oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden

En sammanfattning av de största avstånden där doskriterier för oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen kan överskridas för vuxna, barn och gravida vid olika händelser om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas redovisas i Tabell 4, Tabell 5 och Tabell 6. Resultat redovisas både för personer som vistas utomhus och inomhus under utsläppet.

**Tabell 4.** Sammanfattning av de största avstånden där doskriterier för oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden kan överskridas för *vuxna* vid olika händelser om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas ("-" innebär att doskriteriet inte överskrids utanför anläggningsområdet).

Percentil	0,1xFKS (km)	FKS (km)	10xFKS (km)	100xFKS (km)
10 mSv intecknad effektiv dos från intag av radionuklider på huden 100 cm <sup>2</sup> vid utomhusvistelse				
70	-	-	-	2,3
80	-	-	-	4,4
90	-	-	-	7,8
1 mSv intecknad effektiv dos från intag av radionuklider på huden 100 cm <sup>2</sup> vid utomhusvistelse				
70	-	-	1,5	22
80	-	-	2,4	35
90	-	-	5,5	57
10 mSv intecknad effektiv dos från intag av radionuklider på huden 100 cm <sup>2</sup> vid inomhusvistelse				
70	-	-	-	1,8
80	-	-	-	2,4
90	-	-	-	3,7
1 mSv intecknad effektiv dos från intag av radionuklider på huden 100 cm <sup>2</sup> vid inomhusvistelse				
70	-	-	1,2	15
80	-	-	1,6	22
90	-	-	2,4	33

**Tabell 5.** Sammanfattning av de största avstånden där doskriterier för oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden kan överskridas för *barn* vid olika händelser om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas ("-" innebär att doskriteriet inte överskrids utanför anläggningsområdet).

Percentil	0,1xFKS (km)	FKS (km)	10xFKS (km)	100xFKS (km)
<b>10 mSv intecknad effektiv dos från intag av radionuklider på hudytan 100 cm<sup>2</sup> vid utomhusvistelse</b>				
70	-	-	1,8	20
80	-	-	2,5	28
90	-	-	4,3	46
<b>1 mSv intecknad effektiv dos från intag av radionuklider på hudytan 100 cm<sup>2</sup> vid utomhusvistelse</b>				
70	0,7	1,7	14	160
80	1,0	2,3	25	230
90	1,6	4,0	43	330
<b>10 mSv intecknad effektiv dos från intag av radionuklider på hudytan 100 cm<sup>2</sup> vid inomhusvistelse</b>				
70	-	-	1	11
80	-	-	1,4	17
90	-	-	2	27
<b>1 mSv intecknad effektiv dos från intag av radionuklider på hudytan 100 cm<sup>2</sup> vid inomhusvistelse</b>				
70	-	0,9	8	89
80	-	1,3	14	130
90	0,7	1,9	26	210

**Tabell 6.** Sammanfattning av de största avstånden där doskriterier för oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden kan överskridas för *gravida* vid olika händelser om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas ("-" innebär att doskriteriet inte överskrids utanför anläggningsområdet).

Percentil	0,1xFKS (km)	FKS (km)	10xFKS (km)	100xFKS (km)
<b>10 mSv intecknad effektiv dos från intag av radionuklider på hudytan 100 cm<sup>2</sup> vid utomhusvistelse</b>				
70	-	1,1	10	81
80	-	1,6	17	120
90	0,7	2,2	30	200
<b>1 mSv intecknad effektiv dos från intag av radionuklider på hudytan 100 cm<sup>2</sup> vid utomhusvistelse</b>				
70	2,6	8,3	89	300
80	4,5	14	140	>500
90	8,6	26	220	>500
<b>10 mSv intecknad effektiv dos från intag av radionuklider på hudytan 100 cm<sup>2</sup> vid inomhusvistelse</b>				
70	-	-	4	30
80	-	0,7	8	51
90	-	1,2	16	90
<b>1 mSv intecknad effektiv dos från intag av radionuklider på hudytan 100 cm<sup>2</sup> vid inomhusvistelse</b>				
70	1,8	3,6	37	250
80	2,4	7,1	69	330
90	4,2	13	120	>500

## 2.4. Dosbidrag från olika nuklider som deponerat på huden

Trots att utsläppen innehåller ett stort antal nuklider i de analyserade händelserna är det endast ett tiotal som ger ett signifikant bidrag till de doser som kan erhållas från radioaktiva ämnen som deponerar på huden. Av dessa intar jod en särställning, följt av cesium, tellur och molybden.

Dosbidraget från olika nuklider för allvarliga deterministiska och deterministiska effekter är likartat. För händelsen 0,1xFKS kommer nästan 100 procent av dosen från jodisotoper. För händelsen FKS kommer mellan 70 och 80 procent av dosen från jodisotoper medan mellan 20 och 25 procent kommer från cesiumisotoper. För händelsen 100xFKS kommer cirka 55 till 65 procent av dosen från jodisotoper, cirka 20 procent från cesiumisotoper och cirka 10 procent från molybden.

Dosbidraget från olika nuklider för oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden domineras i ännu högre grad av dosen från jodisotoper. För händelsen 0,1xFKS kommer nästan 100 procent av dosen från jodisotoper. För händelserna FKS respektive 100xFKS kommer cirka 80 till 95 procent av dosen från jodisotoper medan mellan 1 och 10 procent kommer från cesiumisotoper.

### 3. Analys och förslag till beredskapsplanering

SSM:s förslag till planering för personsanering:

1. Livräddande och fullständig personsanering behöver inte förberedas för allmänheten kring kärnkraftverken.
2. Organiserad personsanering för allmänheten bör förberedas så att det finns kapacitet att hantera alla personer ut till cirka 5 km från kärnkraftverken. Organiserad personsanering för allmänheten är endast motiverad under speciella omständigheter, vilket bör beaktas i beredskapsplaneringen.
3. Information om åtgärder som enskilda kan vidta i syfte att minimera oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden (enskild personsanering) bör förberedas. Information som riktar sig till gravida ut till cirka 100 km, barn ut till cirka 50 km och vuxna ut till cirka 5 km kring kärnkraftverken bör prioriteras i förberedelsearbetet.

#### 3.1. Allvarliga deterministiska effekter på huden

Allvarliga deterministiska effekter som en följd av att radioaktiva ämnen deponerar på huden på personer som vistas utomhus utanför anläggningsområdet kring kärnkraftverket uppstår inte för utsläpp i samband med händelsen 100xFKS, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Det gäller oavsett om det högre eller det lägre doskriteriet för allvarliga deterministiska skador på huden tillämpas i beräkningarna. Det gäller också oavsett om den kortare eller den längre exponeringstiden på 10 respektive 48 timmar tillämpas i beräkningarna. SSM anser därför inte att det är motiverat att förbereda livräddande eller fullständig personsanering för allmänheten kring de svenska kärnkraftverken.

#### 3.2. Deterministiska effekter på huden

Deterministiska effekter som en följd av att radioaktiva ämnen deponerar på huden på personer som vistas utomhus utanför anläggningsområdet kring kärnkraftverket uppstår inte för utsläpp i samband med någon av händelserna 0,1xFKS, FKS eller 10xFKS även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Det är därför inte motiverat med organiserad personsanering för allmänheten i samband med någon av dessa händelser.

Deterministiska effekter som en följd av att radioaktiva ämnen deponerar på huden på personer som vistas utom- eller inomhus utanför anläggningsområdet kring kärnkraftverket kan inte uteslutas för händelsen 100xFKS. Doskriteriet kan överskridas ut till cirka 2, 4 respektive 7 km för personer som vistas utomhus om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Motsvarande avstånd för personer som istället vistas inomhus är 1,5, 2 respektive 3 km.

SSM anser med anledning av dessa resultat att organiserad personsanering för allmänheten bör förberedas så att det finns kapacitet att hantera alla personer i den inre beredskapszonen som SSM föreslår i rapporten SSM2017:27 *Översyn av beredskapszoner* [1]. Denna beredskapszon sträcker sig cirka 5 km ut från kärnkraftverket. Organiserad personsanering för allmänheten är dock endast motiverad om områden som påverkas av utsläppet ut till cirka 5 km inte hinner utrymmas innan utsläppet startar. Personer ur allmänheten som inte väljer att ta sig till den organiserade personsaneringen bör istället uppmannas att duscha och

byta kläder på egen hand. Sådan information kommer enligt SSM:s förslag att förberedas i syfte att minimera oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden, varför inga ytterligare förberedelser i syfte att minimera deterministiska effekter av radioaktiva ämnen som deponerat på huden är nödvändiga.

### **3.3. Oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen på huden**

SSM anser inte att organiserad personsanering bör förberedas eller genomföras i syfte att minska oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden. För det första är det inte sannolikt att organiserad personsanering är mer effektivt än egen dusch, klädbyte och regelbunden handtvätt när det gäller att minimera lös kontamination på huden som kan intas oavsiktligt. För det andra är organiserad personsanering en komplicerad och resurskrävande åtgärd som tar tid att genomföra i stor skala, vilket kan leda till att tiden som lös kontamination finns kvar på huden blir längre än nödvändigt och risken för oavsiktligt intag därmed ökar.

SSM anser istället att information avsedd för allmänheten att duscha, byta kläder och tvätta händerna regelbundet i syfte att minimera oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden bör förberedas (enskild personsanering). SSM anser vidare att denna information initialt bör prioriteras inom avstånd där det högre doskriteriet för oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden kan överskridas. Det är förenat med betydande osäkerhet att förutsäga vilka områden på större avstånd som kan komma att påverkas av nedfall med hjälp av spridningsprognoser. Specifika rekommendationer på större avstånd baserade på spridningsprognoser riskerar därför att skapa onödigt oro som i sig kan leda till avsevärda negativa konsekvenser. Det finns därför skäl att inte initialt prioritera områden på stora avstånd där det lägre doskriteriet enligt beräkningarna riskerar att överskridas. I ett senare skede kan resultat från strålningsmätningar ge besked om vilka områden som drabbats av nedfall även på stora avstånd. Specifik information kan då riktas till dessa områden, där fokus i informationen ligger på rekommendationer som syftar till att undvika oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som hamnat på huden genom direktkontakt med kontaminerat material eller kontaminerade föremål.

En sammanfattning av avstånd inom vilka information i syfte att minska oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden kan behöva prioriteras för olika händelser redovisas i Tabell 7. Med beaktande av dessa avstånd föreslår SSM att information som syftar till att skydda gravida inom det nya planeringsavståndet kring kärnkraftverken som SSM föreslår i rapporten SSM2017:27 *Översyn av beredskapszoner* (ut till 100 km), barn inom nuvarande indikeringszon kring kärnkraftverken (ut till cirka 50 km) och vuxna inom den nya inre beredskapszonen kring kärnkraftverken som SSM föreslår i rapporten SSM2017:27 *Översyn av beredskapszoner* (ut till cirka 5 km) prioriteras i förberedelsearbetet [1].

**Tabell 7.** Sammanfattning av avstånd inom vilka information i syfte att minska oavsiktligt intag av radioaktiva ämnen som deponerat på huden kan behöva prioriteras. Om inget annat anges i tabellen omfattar angivna avstånd 90 procent av alla förekommande väderfall. Ett "-" i tabellen betyder att doskriteriet inte överskrids utanför anläggningsområdet kring kärnkraftverket.

Åldersgrupp	0,1xFKS (km)	FKS (km)	10xFKS (km)	100xFKS (km)
Inga skyddsåtgärder hinner genomföras innan utsläpp				
Vuxna	-	-	-	~8
Barn	-	-	~5	~50
Gravida	~1	~2	~25	~100 <sup>1</sup>
Inomhusvistelse ut till ~15 km hinner genomföras innan utsläpp				
Vuxna	-	-	-	~4
Barn	-	-	~2	~50
Gravida	-	~1	~25	~100 <sup>1</sup>
Utrymning ut till ~5 km och inomhusvistelse ut till ~15 km hinner genomföras innan utsläpp				
Vuxna	-	-	-	-
Barn	-	-	-	~50
Gravida	-	-	~25	~100 <sup>1</sup>
Utrymning ut till ~5 km och inomhusvistelse ut till ~25 km hinner genomföras innan utsläpp				
Vuxna	-	-	-	-
Barn	-	-	-	~50
Gravida	-	-	~15	~100 <sup>1</sup>
Utrymning ut till ~15 km och inomhusvistelse ut till ~25 km hinner genomföras innan utsläpp				
Vuxna	-	-	-	-
Barn	-	-	-	~50
Gravida	-	-	-	~100 <sup>1</sup>

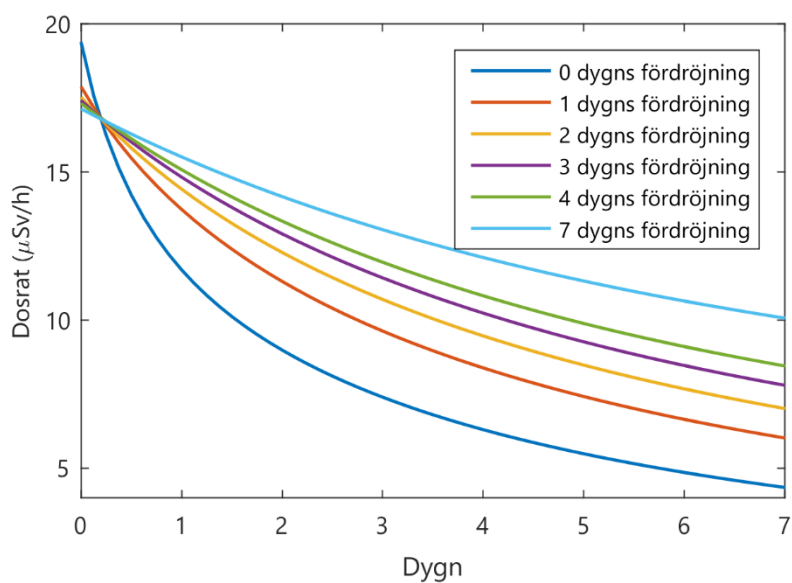
<sup>1</sup>Omfattar cirka 75 procent av alla förekommande väderfall.

## 4. Mätning vid organiserad personsanering

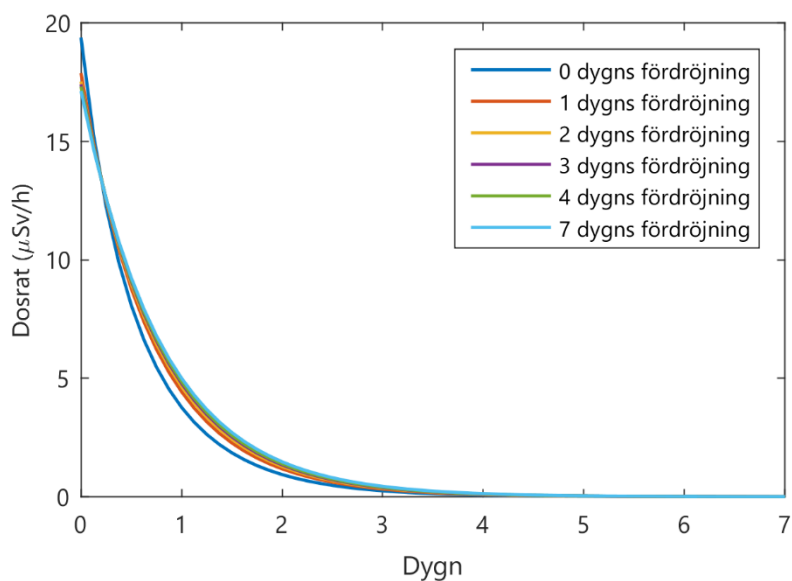
SSM avråder från att använda operativa åtgärdsnivåer (se faktaruta) i samband med livräddande, fullständig eller organiserad personsanering. Den mätning som utförs bör istället syfta till att avgöra när ytterligare insatser inte längre minskar ytbeläggningen på huden och personsaneringen därmed kan upphöra. Det finns två huvudskäl till SSM:s ställningstagande. För det första är resultaten av sådana mätningar svårtolkade, eftersom det krävs kännedom om både ursprunglig nuklidfördelning i utsläppet liksom hur lång tid som förflutit mellan att kontamineringen skedde till dess mätningen genomförs för att ett mätresultat ska kunna relateras till doskriteriet. Risken för feltolkningar är därmed betydande. För det andra är mätningen troligen svår att genomföra praktiskt, dels på grund av de förhöjda strålningsnivåer som sannolikt föreligger på mätplatsen och dels på grund av de förhöjda strålningsnivåer som sannolikt kommer från andra organ hos personen som avsågs.

I Figur 1 och Figur 2 redovisas dosrat vid mätning på huden beräknade för 500 mSv ekvivalent dos till huden, sju dygns exponeringstid och händelsen 100xFKS som funktion av tiden till mätning för olika fördröjning innan utsläpp sker. Den dosrat som redovisas avser mätning på 10 cm avstånd från en homogent kontaminerad yta på huden om 100 cm<sup>2</sup>. I Figur 1 redovisas dosraten med antagandet att aktiviteten för nukliderna i ytbeläggningen på huden avtar med den fysikaliska halveringstiden. I Figur 2 redovisas dosrat med antagandet att aktiviteten för nukliderna i ytbeläggningen på huden istället avtar med en effektiv halveringstid som tar hänsyn till både fysikalisk halveringstid och självsanering genom nötning och omsättning av celler i det yttersta hudlagret. Figurerna illustrerar tydligt varför det är svårt att genom en uppmätt dosrat säga något om doskriteriet för deterministiska effekter överskridits eller inte.

**Operativ åtgärdsnivå:** Ett värde på en mätbar storhet kopplad till en viss skyddsåtgärd som när den överskrids eller förväntas överskridas innebär att skyddsåtgärden i de flesta fall bör vidtas.



**Figur 1.** Dosrat som funktion av tiden till mätning för olika fördröjning innan utsläpp sker och under antagande att aktiviteten för nukliderna i ytbeläggningen på huden avtar med fysikalisk halveringstid.



**Figur 2.** Dosrat som funktion av tiden till mätning för olika fördröjning innan utsläpp sker och under antagande att aktiviteten för nukliderna i ytbeläggningen på huden avtar med en effektiv halveringstid som tar hänsyn till både fysikalisk halveringstid och självsanering genom nötning och omsättning av celler i det yttersta hudlagret.



## Referenser

- [1] Strålsäkerhetsmyndigheten, "2017:27 Översyn av beredskapszoner", 2017.
- [2] IAEA, "Preparedness and Response for a Nuclear or radiological Emergency, GSR Part 7", 2015.
- [3] ICRP, "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", 2007.
- [4] Regeringen, "Strålskyddsförordning (2018:506)", 2018.
- [5] "Protective Measures in Early and Intermediate Phases of a Nuclear or Radiological Emergency, the Nordic Flagbook", 2014.
- [6] IAEA, "Dangerous quantities of radioactive material (D-values), EPR-D-2006", 2006.
- [7] IAEA, "Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies, EPR-NPP-OILs 2017", 2017.
- [8] D.C. Kocher and K.F. Eckerman, "Electron dose-rate conversion factors for external exposure of the skin from uniformly deposited activity on the body surface", 1987.
- [9] Keith F. Eckerman and Richard W. Leggett, "DC\_PAK3.02", 2018.
- [10] ICRP, "ICRP 119, Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60", 2012.
- [11] UNSCEAR, "Volume I, Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami", UNSCEAR 2013 Report, 2013.
- [12] Ogino et. al., "Reference: H. Ogino, T. Ichiji and T. Hattori, Verification of Screening Level for Decontamination Implemented After Fukushima Nuclear Accident", Radiation Protection Dosimetry (2012), 2012.

## Bilaga 1 – Kärnkraftsolyckan i Fukushima 2011

I samband med kärnkraftsolyckan i Fukushima 2011 kontrollmätte japanska myndigheter 195 245 personer med dosratsinstrument i prefekturen Fukushima mellan den 12 mars och den 31 maj 2011 [11]. Initialt tillämpade japanska myndigheter en åtgärdsnivå som motsvarar en ytbeläggning på huden av gamma- och betastrålande nuklider på  $40 \text{ Bq/cm}^2$  [11]. På grund av svårigheter att detektera så låga nivåer i områden med förhöjd bakgrund tvingades japanska myndigheter tidigt att höja till en ny åtgärdsnivå som motsvarar en ytbeläggning på huden av gamma- och betastrålande nuklider på  $310 \text{ Bq/cm}^2$ . Denna åtgärdsnivå överskreds endast för 102 personer som kontrollmättes under mars månad 2011 och efter personsanering överskreds inte åtgärdsnivån för någon person [12].





2019:11

Strålsäkerhetsmyndigheten har ett samlat ansvar för att samhället är strålsäkert. Vi arbetar för att uppnå strålsäkerhet inom en rad områden: kärnkraft, sjukvård samt kommersiella produkter och tjänster. Dessutom arbetar vi med skydd mot naturlig strålning och för att höja strålsäkerheten internationellt.

Myndigheten verkar pådrivande och förebyggande för att skydda människor och miljö från oönskade effekter av strålning, nu och i framtiden. Vi ger ut föreskrifter och kontrollerar genom tillsyn att de efterlevs, vi stödjer forskning, utbildar, informerar och ger råd. Verksamheter med strålning kräver i många fall tillstånd från myndigheten. Vi har krisberedskap dygnet runt för att kunna begränsa effekterna av olyckor med strålning och av avsiktlig spridning av radioaktiva ämnen. Vi deltar i internationella samarbeten för att öka strålsäkerheten och finansierar projekt som syftar till att höja strålsäkerheten i vissa östeuropeiska länder.

Strålsäkerhetsmyndigheten sorterar under Miljödepartementet. Hos oss arbetar drygt 300 personer med kompetens inom teknik, naturvetenskap, beteendevetenskap, juridik, ekonomi och kommunikation. Myndigheten är certifierad inom kvalitet, miljö och arbetsmiljö.

Strålsäkerhetsmyndigheten  
Swedish Radiation Safety Authority

SE-171 16 Stockholm  
Solna strandväg 96

Tel: +46 8 799 40 00  
Fax: +46 8 799 40 10

E-mail: [registrator@ssm.se](mailto:registrator@ssm.se)  
Web: [stralsakerhetsmyndigheten.se](http://stralsakerhetsmyndigheten.se)