



Strål  
säkerhets  
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

# 2017:27

Översyn av beredskapszoner  
Bilaga 3 – Kärnkraftverken





Strål  
säkerhets  
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

# 2017:27

Översyn av beredskapszoner  
Bilaga 3 – Kärnkraftverken

Datum: Oktober 2017

Rapportnummer: 2017:27 ISSN: 2000-0456

Tillgänglig på [www.stralsakerhetsmyndigheten.se](http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se)



# Innehåll

<b>1. Sammanfattning .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Dimensionerande händelser .....</b>	<b>6</b>
2.1. Dimensionerande händelser .....	6
2.2. Val av händelser .....	7
<b>3. Representativa källtermer .....</b>	<b>8</b>
3.1. Utsläppt aktivitet och varaktighet .....	8
3.1.1. Representativa källtermer för olika kärnkraftverk .....	8
3.1.2. Fullständiga representativa källtermer .....	9
3.2. Urval av nuklider .....	10
3.2.1. Kriterier för urval av nuklider .....	10
3.2.2. Nuklider som bidrar till effektiv dos under sju dygn .....	11
3.2.3. Jodisotoper som bidrar till sköldkörteldosen .....	12
3.2.4. Nuklider av betydelse för markbeläggning på sikt .....	12
3.2.5. Nuklider av betydelse för livsmedelsproduktion .....	13
3.2.6. Nuklider av betydelse för sanering .....	13
3.2.7. Sammanfattning .....	13
3.3. Övriga parametrar i källtermerna .....	16
3.3.1. Utsläppshöjd .....	16
3.3.2. Jodformer .....	16
3.3.3. Värmeenergi .....	17
3.3.4. Förvarningstid .....	17
3.4. Jämförelse med Tjernobyl och Fukushima Daiichi .....	18
<b>4. Spridnings- och dosberäkningar .....</b>	<b>20</b>
4.1. Händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system .....	20
4.1.1. Förebyggande utrymning .....	20
4.1.2. Utrymning .....	21
4.1.3. Utrymning på grund av markbeläggning .....	22
4.1.4. Inomhusvistelse .....	22
4.1.5. Jodtabletter .....	23
4.2. Händelsen med fungerande konsekvenslindrande system .....	23
4.2.1. Förebyggande utrymning .....	23
4.2.2. Utrymning .....	24
4.2.3. Utrymning på grund av markbeläggning .....	25
4.2.4. Inomhusvistelse .....	25
4.2.5. Jodtabletter .....	26
<b>5. Beredskapszoner och planeringsavstånd .....</b>	<b>28</b>
5.1. Underlag till beredskapszoner och planeringsavstånd .....	28
5.1.1. Förebyggande utrymning .....	28
5.1.2. Utrymning .....	30
5.1.3. Utrymning på grund av markbeläggning .....	33
5.1.4. Inomhusvistelse .....	34
5.1.5. Jodtabletter .....	35
5.1.6. Varning och förhandsutdelad information .....	37
5.2. Beredskapszoner kring kärnkraftverken .....	38
5.2.1. Kärnkraftverket i Forsmark .....	38
5.2.2. Kärnkraftverket i Oskarshamn .....	39
5.2.3. Kärnkraftverket i Ringhals .....	40
5.3. Planeringsavstånd kring kärnkraftverken .....	42
5.4. Avspärrning till sjöss .....	42
<b>6. Känslighetsanalyser .....</b>	<b>43</b>

6.1. Händelser med andra utsläppsförlopp .....	43
6.1.1. Händelser med kort förvarningstid .....	43
6.1.2. Händelser med utdragna utsläppsförlopp .....	43
6.2. Händelser som påverkar bränslebassängerna .....	44
6.2.1. Händelser .....	45
6.2.2. Representativa källtermer .....	45
6.2.3. Spridnings- och dosberäkningar .....	47
6.2.4. Analys .....	49
6.3. Händelser med samtidiga utsläpp från flera reaktorer .....	50
6.3.1. Händelser och representativa källtermer .....	51
6.3.2. Spridnings- och dosberäkningar .....	51
6.3.3. Analys .....	55
6.4. Händelse med väl fungerande konsekvenslindrande system .	56
6.4.1. Händelser .....	57
6.4.2. Representativa källtermer .....	57
6.4.3. Spridnings- och dosberäkningar .....	59
6.4.4. Analys .....	62
<b>7. Dos efter skyddsåtgärder .....</b>	<b>64</b>
7.1. Beräkning av dos efter skyddsåtgärder .....	64
7.2. Spridnings- och dosberäkningar .....	65
7.2.1. Allvarliga deterministiska effekter .....	65
7.2.2. Stokastiska effekter .....	66
7.3. Analys .....	68
7.3.1. Möjlighet att undvika allvarliga deterministiska effekter ...	68
7.3.2. Möjlighet att underskrida valda referensnivåer .....	69
<b>8. Livsmedelsproduktion .....</b>	<b>73</b>
8.1. Spridningsberäkningar .....	73
8.2. Analys .....	80
<b>9. Sanering .....</b>	<b>81</b>
9.1. Spridningsberäkningar .....	81
9.2. Analys .....	85
<b>Referenser .....</b>	<b>87</b>

# 1. Sammanfattning

Det finns tre kärnkraftverk i Sverige, Forsmark, Oskarshamn och Ringhals. I Forsmark finns tre reaktorer, i Oskarshamn tre reaktorer och i Ringhals fyra reaktorer. Ägarna till Oskarshamns kärnkraftverk beslutade 2015 att avveckla två reaktorer vilka redan är avställda. Ägarna till Ringhals kärnkraftverk har beslutat avveckla en reaktor 2019 och ytterligare en reaktor 2020. För de reaktorer som kommer att vara kvar i drift finns inget slutdatum fastställt, utan ägarna planerar att driva dessa i 60 år. Under förutsättning att inga ytterligare beslut om avveckling fattas, kommer det finnas minst en reaktor i drift på respektive kärnkraftverk fram till mitten av 2040-talet. Det innebär att det finns behov av beredskapsplanering kring respektive kärnkraftverk i åtminstone 25 år till.

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) har klassificerat kärnkraftverken i hotkategori I. Det innebär att det kan inträffa händelser på kärnkraftverken som motiverar att brådskande skyddsåtgärder vidtas för allmänheten utanför kärnkraftverken. Som en del i den beredskapsplanering som krävs för att sådana skyddsåtgärder ska kunna genomföras på ett effektivt sätt måste relevanta beredskapszoner finnas kring kärnkraftverken.

Kring kärnkraftverken föreslår SSM att det ska finnas en inre beredskapszon med en ungefärlig utsträckning på 5 kilometer och en yttre beredskapszon med en ungefärlig utsträckning på 25 kilometer. I beredskapszonerna ska det finnas en planering för utrymning, inomhusvistelse och intag av jodtabletter. Dessutom ska information och jodtabletter förhandsutdelas samt varning av allmänheten förberedas. Planeringen för utrymning av allmänheten i beredskapszonerna ska möjliggöra att utrymning av inre beredskapszonen kan prioriteras framför utrymning av yttre beredskapszonen. Kring kärnkraftverken föreslår SSM också att det ska finnas ett planeringsavstånd med en utsträckning på 100 kilometer. Inom planeringsavstånden ska det finnas en planering för utrymning som bygger på underlag från strålningsmätning av markbeläggningen, en planering för inomhusvistelse och en planering för begränsad extrautdelning av jodtabletter.

SSM har fastställt två dimensionerande händelser som ligger till grund för förslagen till beredskapszoner och planeringsavstånd kring kärnkraftverken. För dessa händelser har myndigheten tagit fram representativa källtermer som beskriver de utsläpp som antas följa från respektive händelse. SSM har därefter genomfört spridnings- och dosberäkningar med historiska väderdata, för att uppskatta vid vilka avstånd det är motiverat att vidta olika skyddsåtgärder. Utifrån dessa avstånd har slutligen förslag till beredskapszoner kring respektive kärnkraftverk utarbetats av Länsstyrelserna i Uppsala, Kalmar och Hallands län i samarbete med SSM och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Samråd med nationella och regionala aktörer har skett via SSM:s och Länsstyrelsernas försorg.

Denna bilaga utgör en del av rapporten *Översyn av beredskapszoner*. För förklaring av termer och begrepp hänvisas till huvudrapporten.

## 2. Dimensionerande händelser

SSM har i detta arbete utgått från två dimensionerande händelser. Den första händelsen ska beaktas vid konstruktionen av konsekvenslindrande system på kärnkraftverken, medan den andra händelsen anses så osannolik att den inte behöver beaktas i konstruktionen av dessa system. Båda händelserna leder till utsläpp av radioaktiva ämnen som bildas i reaktorn. Det som skiljer händelserna åt är framförallt omfattningen av omgivningskonsekvenser i form av stråldoser och markbeläggning där konsekvenserna blir mer omfattande för den allvarligare händelsen.

För den händelse som ska beaktas vid konstruktionen av konsekvenslindrande system tillämpar SSM referensnivån 20 mSv effektiv dos som utgångspunkt för dimensioneringen av beredskapsåtgärder. För den allvarligare händelsen tillämpar SSM istället referensnivån 100 mSv effektiv dos som utgångspunkt för dimensioneringen av beredskapsåtgärder.

### 2.1. Dimensionerande händelser

Följande två händelser ligger till grund för förslagen på beredskapszoner och planeringsavstånd kring kärnkraftverken:

- **Händelse med fungerande konsekvenslindrande system.** En händelse som representerar ett svårt haveri med härdsmälta, tankgenomsmältning och utsläpp via haverifiltret, där de konsekvenslindrande systemen fungerar enligt krav.
- **Händelse utan fungerande konsekvenslindrande system.** En händelse som representerar ett svårt haveri med härdsmälta, tankgenomsmältning och utsläpp, där de konsekvenslindrande systemen inte fungerar och där reaktorinneslutningens täthet går förlorad i samband med tankgenomsmältning. Händelsen motsvarar ett tänkt värsta fall med avseende på utsläppets storlek från en kärnkraftsreaktor.

Händelserna utgår från den postulerade händelsen för designsekvensen i säkerhetsredovisningarna från kärnkraftverken [1]. För händelsen med fungerande konsekvenslindrande system får sprinkling<sup>1</sup> tillgodoräknas efter åtta timmar, samtidigt som haverifiltret antas fungera enligt definierande konstruktionskrav för uppfyllandet av regeringsbeslutet från 1986 om riktlinjer för åtgärder för att begränsa utsläpp vid svåra reaktorhaverier [2]. För händelsen där de konsekvenslindrande systemen inte fungerar, tillgodoräknas inte sprinkling, samtidigt som utsläppet antas ske i samband med tankgenomsmältning utan att passera haverifiltret.

---

<sup>1</sup> Sprinkling innebär att vatten sprinklas i reaktorinneslutningen i syfte att kondensera ångan och på så vis sänka trycket i reaktorinneslutningen i händelse av en olycka. Sprinklingen medför även att radioaktiva ämnen i aerosolform "tvättas" ur.



## 2.2. Val av händelser

SSM har baserat de dimensionerande händelserna på haverisekvensen totalt bortfall av växelspanning, och i Ringhals fall även bortfall av ångdrivna system. Sekvensen brukar också refereras till som bortfall av alla icke batterisäkrade nät, och innebär att alla dieselsäkrade nät som förser pumpar med elkraft och säkerställer adekvat kylning av reaktorhärden slås ut, men att batterikraft till instrumentering och ventilmanövrering finns kvar. Sekvensen kallas på engelska för Station Blackout (SBO). Sekvensen liknar händelserna i Fukushima Daiichi, men där slogs även batterimatningen ut samtidigt som vissa ångdrivna system fungerade initialt.

Båda de dimensionerande händelserna utgår således från samma inledande händelse (totalt bortfall av alla icke batterisäkrade nät inklusive ångdrivna system), men i det senare fallet har haverifiltret ansatts vara urkopplat och i stället utgöra en utsläppsväg från reaktorinneslutningen. Utsläppsvägen har postulerats att vara öppen vid tidpunkten för genomsmältning av reaktortanken. SSM:s syfte med antagandena har varit att utveckla ett värsta fall som bygger på så få postulater och ansatser som möjligt.

Den valda haverisekvensen är samma sekvens som har varit dimensionerande för de konsekvenslindrande system som installerades på kärnkraftverken på 1980-talet till följd av regeringsbeslutet 1986, där bland annat haverifiltret ingår. Utan framgångsrika motåtgärder leder sekvensen till ett svårt haveri. Ett svårt haveri präglas av att reaktorhärden efter knappt en timme överhettas och skapar förutsättningar för en omfattande produktion av vätgas genom reaktioner mellan bränslets kapsling och den producerade ångan i reaktorn. Vätgasen trycksätter reaktorinneslutningen och riskerar under olyckliga omständigheter att bilda knallgas och knallgasexplosioner, som händelseutvecklingen i Fukushima Daiichi visade. Under det fortsatta haveriförloppet smälter reaktorhärden inklusive strukturmaterial för att efter cirka fyra timmar tränga igenom reaktortanken och hamna i reaktorinneslutningen. Energin från härds smältans resteffekt hamnar således slutligen i reaktorinneslutningen som för att inte skadas av en övertryckning tryckavlastas via haverifiltret.

En annan kategori händelser som tömmer reaktortanken på vatten är rörbrott. Om ett rörbrott inte följs av inpumpning av nytt vatten leder den händelsen också till ett svårt haveri. Ett svårt haveri till följd av rörbrott präglas av att snabbare leda till härds skador jämfört med haverisekvensen bortfall av alla icke batterisäkrade nät, samtidigt som det inte blir lika omfattande produktion av vätgas.

SSM har övervägt kategorin rörbrott som inledande händelse för de dimensionerande händelserna. SSM bedömer dock att den valda haverisekvensen är en bättre utgångspunkt för att beskriva ett svårt haveri. Sekvensen är väl känd då den ingår i tillståndshavarnas säkerhetsredovisning och har varit dimensionerande för konstruktionen av de konsekvenslindrande systemen samt utgör en representativ sekvens som fångar upp olika svåra haverifenomen. Att sekvensen är väl känd underlättar granskning och rimlighetskontroll.

## 3. Representativa källtermer

SSM har tagit fram representativa källtermer som beskriver utsläppen för de dimensionerande händelserna. De representativa källtermerna innehåller följande information:

- Utsläppt aktivitet per nuklid och tidsintervall samt varaktighet
- Urval av nuklider
- Utsläppshöjd
- Fördelning mellan organisk, elementär och partikulär jod i utsläppet
- Värmeenergi i utsläppet.

SSM har också uppskattat kortast möjliga förvarningstid för respektive representativ källterm. Med förvarningstid avses tiden från larm om en störning på kärnkraftverket till utsläpp som föranleder att skyddsåtgärder för allmänheten måste övervägas. SSM har ansatt en kortast möjlig förvarningstid på cirka fyra timmar för de dimensionerande händelserna.

### 3.1. Utsläppt aktivitet och varaktighet

#### 3.1.1. Representativa källtermer för olika kärnkraftverk

SSM har dels efterfrågat underlag till representativa källtermer för de två dimensionerande händelserna från tillståndshavarna för de svenska kärnkraftverken [3] [4], dels lagt ut ett uppdrag på den tyska teknikorganisationen Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) att ta fram motsvarande underlag [5] [6].

Tillståndshavarna har använt analyskoden MAAP [7] [8] i sina analyser, medan GRS använt analyskoden MELCOR [9]. Skillnaderna mellan källtermer för olika reaktortyper framtagna med samma analyskod är jämförbara med skillnaderna mellan källtermer framtagna med olika analyskoder för samma reaktortyp. Med undantag för utsläppshöjd och fördelning av jodformer i utsläppet, anser SSM därför att det inte är motiverat att använda olika representativa källtermer för kok- och tryckvattenreaktorer. SSM anser vidare att skillnaderna i termisk effekt mellan de reaktorer som kommer vara kvar i drift inom några år inte är så stor att det är motiverat att ta fram olika representativa källtermer för reaktorer med olika termiska effekter. Sammantaget bedömer SSM att samtliga svenska reaktorer kan representeras av samma källtermer.

Analyserna för reaktor fyra i Ringhals (R4) utförda med MELCOR har använts för de dimensionerande händelserna eftersom dessa analyser är behäftade med minst oklarheter. Källtermerna från MELCOR har dock justerats med avseende på utsläppsfraktion för niob. I MELCOR ansätts samma utsläppsfraktion för niob och molybden. Detta ger stora utsläpp av niob som står i kontrast till vad som anges i vägledningarna från den amerikanska myndigheten Nuclear Regulatory Commission (NRC) samt erfarenheter från kärnkraftsolyckorna i både Tjernobyl och Fukushima

Daiichi [10]. SSM har därför valt att istället ansätta samma utsläppsfraktion för niob som för zirkonium i enlighet med vägledningen från NRC.

### 3.1.2. Fullständiga representativa källtermer

Härdinventariet till R4 som redovisas av tillståndshavaren innehåller 285 nuklider. Redovisningen avser jämviktsinventariet för den termiska effekten 3253 MW och en utbränningsgrad för bränslet på 53 MWd/kg uran.

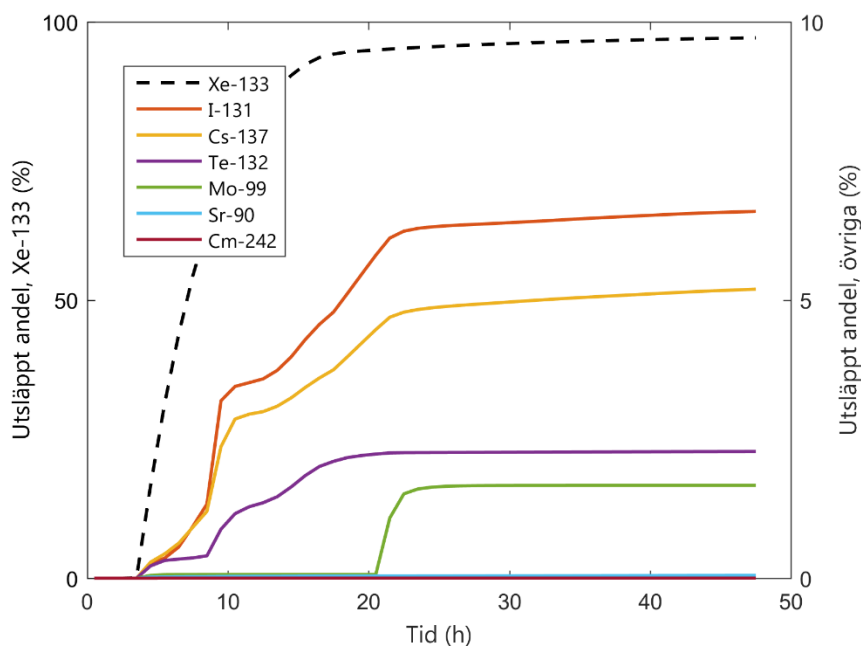
I analysen som gjorts med MELCOR presenteras resultaten som utsläpp i massandelar av härdinventariet för varje tidssteg om 50 sekunder under hela utsläppsförloppet, medan de källtermer som används till spridnings- och dosberäkningar består av utsläppt aktivitet per nuklid och timme. Resultaten från den ursprungliga analysen med MELCOR har därför räknats om till utsläppt aktivitet per nuklid och timme för utsläpp som pågår i 48 timmar. I denna beräkning har också utsläppt aktivitet per tidsenhet korrigerats för sönderfall och inväxt<sup>2</sup> i reaktorhård och reaktorinneslutning för tiden mellan snabbstopp<sup>3</sup> och tiden för utsläpp, vilket slutligen gett representativa källtermer som innehåller samtliga 285 nuklider i det redovisade härdinventariet.

I Figur 1 redovisas utsläppt andel aktivitet för ett antal nuklider för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system. Varje kurva visar kumulativt utsläppt aktivitet (Bq) som andel av härdinventariet (Bq) vid starten för händelsen ( $t = 0$  h), för respektive nuklid. Notera att ädelgasen Xe-133 har en egen skala i figuren.

---

<sup>2</sup> Inväxt innebär ökning av mängden radioaktiva ämnen efter att bränslet tagits ur drift som en följd av sönderfallskedjorna

<sup>3</sup> En reaktor kan snabbstoppas för att omedelbart avbryta kärnklyvningen. Snabbstoppet sker genom att styrvärderna för in i reaktorn på cirka fyra sekunder.



**Figur 1.** Utsläppt andel aktivitet för ett antal nuklider för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system.

## 3.2. Urval av nuklider

I spridnings- och dosberäkningarna är beräkningstiden lång och i stort sett linjärt beroende av antalet nuklider i källtermen. Det finns därför skäl att reducera antalet nuklider i källtermerna genom att exkludera sådana nuklider som inte ger ett signifikant dosbidrag. Detta möjliggör att fler väderfall kan analyseras under en given tidsperiod.

### 3.2.1. Kriterier för urval av nuklider

De representativa källtermerna används till att beräkna avstånd där doskriterier och åtgärdsnivåer för olika skyddsåtgärder överskrids. Doskriterierna definieras som effektiv dos, absorberad dos till ett organ eller ekvivalent dos till sköldkörteln under sju dygn och åtgärdsnivåerna definieras som markbeläggning av relevanta nuklider efter det att utsläppet upphört. Urvalet av nuklider för att beräkna dos och markbeläggning har därför skett enligt följande kriterier:

- Nuklider som ger ett signifikant bidrag till effektiv eller absorberad dos under sju dygn
- Jodisotoper som ger ett signifikant bidrag till sköldkörteldosen under sju dygn
- Nuklider av betydelse för att uppskatta effektiv dos från markbeläggningen under första året
- Nuklider av betydelse för att identifiera behov av sanering
- Nuklider av betydelse för att identifiera behov av åtgärder kopplade till livsmedelsproduktion.

Endast de nuklider som ger ett signifikant bidrag till stråldoser och markbeläggning ingår i de slutgiltiga representativa källtermerna.

### 3.2.2. Nuklider som bidrar till effektiv dos under sju dygn

I utvärderingen av vilka nuklider som ger ett signifikant bidrag till den effektiva dosen under sju dygn har SSM först rensat bort nuklider med kort halveringstid samt nuklider som endast kommer ut i mindre omfattning. Nuklider med kort halveringstid har redan hunnit sönderfalla innan utsläppet börjar. Deras eventuella bidrag till dotternuklider är därmed redan omhändertaget i beräkningen av fullständiga källtermer. Utöver detta har också några få nuklider som saknar doskoefficienter från ICRP exkluderats. Skälet till att dessa nuklider saknar doskoefficienter är just att de inte bidrar till signifikanta stråldoser.

SSM har därefter använt spridnings- och dosberäkningsprogrammen Lena [11] och Argos [12] för att undersöka vilka nuklider som ger signifikanta bidrag till den effektiva dosen under sju dygn. Den relativa betydelsen av olika nuklider beror delvis på hur mycket som släpps ut av respektive nuklid. Analyserna har därför omfattat de representativa källtermerna för båda de dimensionerande händelserna. Även regn kan påverka vilka nuklider som ger ett signifikant bidrag till den effektiva dosen under sju dygn, varför analyserna genomförts både med och utan modeller som simulerar regn.

Utvärderingen visar att det är förhållandevis få nuklider som bidrar med mer än 0,1 procent till den effektiva dosen under sju dygn. Den enda nuklid som tillkommer för den representativa källtermen med fungerande konsekvenslindrare system och som saknas i urvalet för den representativa källtermen utan fungerande konsekvenslindrare system är Xe-131. Skälet till detta är att betydelsen av dosbidraget från ädelgaser blir större när mindre flyktiga ämnen delvis fastnar i haverifiltret. Utvärderingen visar också att många av de svårslösliga nukliderna som finns med i utsläppet kommer ut i så liten grad att de inte behöver vara med i de slutgiltiga källtermerna. Exempel på svårslösliga nuklider som utgår av detta skäl är Y-91, Zr-95, Nb-95, Ru-103, Ru-106, La-140, Ce-141, Ce-144, Np-239, Pu-238 och Pu-241.

Sammanfattningsvis måste följande 27 nuklider (av 285 nuklider i den ursprungliga källtermen) beaktas vid beräkningen av effektiv dos under sju dygn i spridnings- och dosberäkningarna.

- Ädelgaser: Kr-85m, Kr-87, Kr-88, Xe-133, Xe-133m, Xe-135 och Xe-135m
- Halogener: I-131, I-132, I-133 och I-135
- Alkalimetaller: Rb-88, Cs-134, Cs-136 och Cs-137
- Tellurgruppen: Sb-127, Te-127m, Te-129m, Te-131m och Te-132
- Sr och Ba: Sr-89, Sr-90 och Ba-140
- Ädelmetaller: Mo-99, Tc-99m
- Lantanider: Cm-242, Cm-244

### 3.2.3. Jodisotoper som bidrar till sköldkörteldosen

I härdinventarier som redovisas av tillståndshavarna ingår de jodisotoper som anges i Tabell 1. Jodisotoper med kort halveringstid (sekund till minutskala) behöver inte beaktas i spridnings- och dosberäkningarna, då de hinner sönderfalla innan utsläppet startar. Eftersom utsläppet startar efter cirka 4 timmar i de dimensionerande händelserna har alla jodisotoper med kortare halveringstid än drygt 20 minuter till största delen sönderfallit innan utsläppet startar och utgår därmed. Detta omfattar I-128, I-131m, I-136, I-136m och I-137. Bidraget från inväxt från dessa jodisotoper ingår dock, då detta omhändertas i beräkningen av utsläppt aktivitet per nuklid och timme enligt tidigare beskrivning.

Vidare utgår I-129 som har mycket lång halveringstid samtidigt som innehållet av I-129 i härdinventariet är cirka sju storleksordningar lägre jämfört med de jodisotoper som ger mest bidrag. I-130 och I-134 ger endast mindre bidrag till den effektiva dosen, men SSM har ändå valt att ta med båda dessa jodisotoper vid beräkningarna i syfte att säkerställa att den ekvivalenta dosen till sköldkörteln inte underskattas.

Följande jodisotoper ska därför ingå i de representativa källtermerna: I-130, I-131, I-132, I-133, I-134 och I-135.

**Tabell 1.** Jodisotoper i reaktorn (härdinventarium för R4). Jodisotoperna som inkluderats i spridnings- och dosberäkningar är markerade med grå bakgrundsfärg.

Jodisotop	Halveringstid	Härdinventarium (Bq)
I-128	25,0 min	2,6E+16
I-129	1,61E+07 år	1,0E+11
I-130	12,4 tim	5,8E+16
I-130m	8,84 min	3,1E+16
I-131	8,02 d	2,7E+18
I-132	2,30 tim	4,0E+18
I-133	20,8 tim	5,6E+18
I-134	52,5 min	6,2E+18
I-135	6,57 tim	5,4E+18
I-136	1,39 min	2,5E+18
I-136m	46,9 s	1,2E+18
I-137	24,5 s	2,6E+18

### 3.2.4. Nuklider av betydelse för markbeläggning på sikt

I Lena har den effektiva dosen från markbeläggning under det första året från utsläppet beräknats med den fullständiga representativa källtermen som innehåller alla nuklider av betydelse i härdinventariet för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system. Nukliderna har därefter rangordnats efter relativt bidrag till årsdosen från markbeläggning. I Tabell 2 listas de nuklider som bidrar mer än 0,1 procent.

**Tabell 2.** Relativt bidrag till effektiv dos från markbeläggning under 1 år.

Nuklid	Relativt bidrag (%)	Halveringstid
Cs-134	60	2,07 år
Cs-137	18	30,0 år
I-131	9	8,02 d
Te-132	7	3,20 d
I-133	2	20,8 tim
Cs-136	1	13,0 d
I-135	0,6	6,57 tim
Ba-140	0,5	12,8 d
Sb-125	0,5	2,76 år
I-132	0,5	2,30 tim
Mo-99	0,4	2,75 d
Sb-127	0,1	3,85 d
Te-129m	0,1	33,6 d

Endast sex nuklider bidrar med mer än 1 procent till den effektiva dosen från markbeläggningen under det första året. Av dessa står Cs-134 och Cs-137 för cirka 80 procent av bidraget under första året. Utöver dessa är det i första hand I-131 och Cs-136 som är så pass långlivade att de kan komma att påverka beslut om utrymning på basis av markbeläggningen. Bidraget från Cs-136 är dock förhållandevis litet. Bidraget från I-131 kan uppgå till nära 10 procent, men på grund av den relativt korta halveringstiden kommer betydelsen av I-131 att ha minskat kraftigt redan efter några veckor. Slutsatsen är att endast Cs-134 och Cs-137 är av betydelse för att uppskatta effektiv dos från markbeläggningen på längre sikt för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system. Denna slutsats ändras inte även om nedfallet sker under regn.

### 3.2.5. Nuklider av betydelse för livsmedelsproduktion

De nuklider som använts för att identifiera behov av åtgärder kopplade till livsmedelsproduktion är Sr-89, Sr-90, I-131, Cs-134, Cs-136, Cs-137 och Cm-242.

### 3.2.6. Nuklider av betydelse för sanering

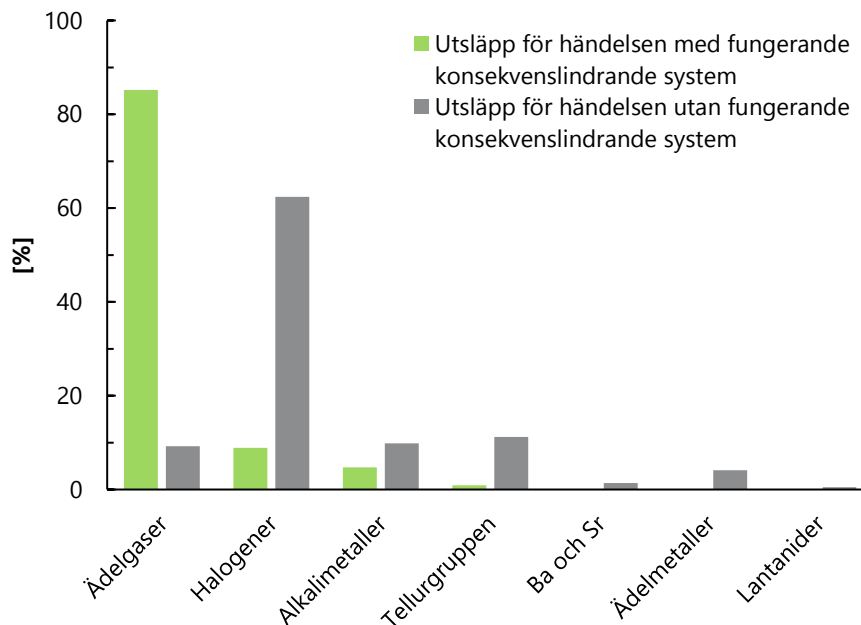
De nuklider som är av betydelse för sanering är samma nuklider som ger ett signifikant bidrag till den effektiva dosen från markbeläggningen under det första året efter utsläppet, dvs. Cs-134 och Cs-137.

### 3.2.7. Sammanfattning

En sammanfattning med de nuklider som valts ut till de representativa källtermerna samt totalt utsläppt aktivitet till atmosfären per nuklid för de två dimensionerande händelserna med och utan fungerande konsekvens-

lindrande system redovisas i Tabell 3. Indelningen i utsläppsgrupper följer NUREG-1465 [10].

I Figur 2 redovisas relativa bidrag från olika grupper av nuklider för de dimensionerande händelserna med och utan fungerande konsekvenslindrande system för ett typiskt väderfall. Det relativa bidraget från olika nuklidgrupper kan variera för olika väderfall, men den huvudsakliga fördelningen av vilka nuklidgrupper som är av betydelse består. En slutsats är att för utsläpp vid den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system kommer det huvudsakliga bidraget till den effektiva dosen under de första sju dygnet från radioaktivt jod. För utsläpp vid den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system, där mängden radioaktiv jod reducerats, dominerar istället bidraget från ädelgaser. För utsläppet från den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system redovisas ett bidrag från alkalimetaller. Det kommer dock i huvudsak inte från cesium, utan från Rb-88, vilket i sin tur kommer från sönderfallet av ädelgasen Kr-88.



**Figur 2.** Relativt bidrag till effektiv dos under de första sju dygnet för de dimensionerande händelserna med och utan fungerande konsekvenslindrande system för ett typiskt väderfall.

I regeringsbesluten om konsekvenslindrande system anges att det sammanlagda utsläppet av Cs-134 och Cs-137 ska understiga 0,1 procent av härdinventariet i en kärnkraftsreaktor med 1800 MWt [2]. Med dåtidens utbränningsgrad motsvarade detta 150 till 200 TBq av Cs-137 [13]. Den representativa källtermen för händelsen med fungerande konsekvenslindrande system ger ett totalt utsläpp av Cs-137 på 78 TBq. I remissversionen av den kommande analysföreskriften från SSM skärps referensvärdet för Cs-137 till 100 TBq [13]. Det innebär att den representativa källtermen för



händelsen med fungerande konsekvenslindrande system är i linje med både kraven i regeringsbeslutet och kommande föreskriftskrav.

**Tabell 3.** Sammanfattning av nuklidval och totalt utsläppt aktivitet till atmosfären per nuklid för de dimensionerande händelserna med och utan fungerande konsekvenslindrande system.

<b>Utsläppsgrupp</b>	<b>Nuklid</b>	<b>Fungerande konsekvenslindrande system (Bq)</b>	<b>Utan fungerande konsekvenslindrande system (Bq)</b>
Ädelgaser	Kr-85m	1,7E+17	2,1E+17
	Kr-87	2,2E+16	3,9E+16
	Kr-88	2,4E+17	3,2E+17
	Xe-133	5,4E+18	5,3E+18
	Xe-133m	1,7E+17	1,7E+17
	Xe-135	2,2E+18	2,2E+18
	Xe-135m	3,4E+17	3,9E+17
Halogener	I-130	1,2E+13	1,9E+15
	I-131	1,2E+15	1,8E+17
	I-132	1,6E+15	2,5E+17
	I-133	1,6E+15	2,6E+17
	I-134	5,7E+12	2,4E+15
	I-135	6,1E+14	1,0E+17
Alkalimetaller	Rb-88	2,9E+13	9,2E+15
	Cs-134	1,1E+14	2,6E+16
	Cs-136	2,4E+13	5,8E+15
	Cs-137	7,8E+13	1,9E+16
Tellurgruppen	Sb-127	1,4E+12	5,9E+15
	Te-127m	5,5E+12	9,3E+14
	Te-129m	2,5E+13	4,2E+15
	Te-131m	6,2E+13	1,0E+16
	Te-132	5,3E+14	9,0E+16
Ba och Sr	Sr-89	1,9E+12	1,4E+15
	Sr-90	1,8E+11	1,3E+14
	Ba-140	3,4E+12	2,5E+15
Ädelmetaller	Mo-99	4,2E+12	8,5E+16
	Tc-99m	4,0E+12	8,2E+16
Lantanider	Cm-242	3,5E+08	8,3E+11
	Cm-244	4,6E+07	1,1E+11

### 3.3. Övriga parametrar i källtermerna

#### 3.3.1. Utsläppshöjd

SSM har i beräkningarna antagit att utsläppshöjden motsvarar höjden på skorstenen till haverifiltret för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system:

- Oskarshamn och Forsmark: 27 m
- Ringhals: 48 m.

För den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system har SSM satt utsläppshöjden till samma höjd för samtliga kärnkraftverk:

- Oskarshamn, Forsmark och Ringhals: 27 m.

Vid brott på reaktorinneslutningen finns det inte skäl att anta att utsläppet går via skorstenen till haverifiltret eller via huvudskorstenen. Det finns skarvar och genomföringar på olika höjder som mer sannolikt kommer att brista först. SSM har därför satt utsläppshöjden till 27 m, vilket motsvarar ett ungefärligt medelvärde av höjden på möjliga utsläppsvägar för både kok- och tryckvattenreaktorer.

#### 3.3.2. Jodformer

Radioaktiv jod i reaktortank och reaktorinneslutning förekommer i både flyktiga och icke flyktiga former. Jodformer som är lösliga i vatten har begränsad flyktighet, medan både jod i partikulär form och i gasform är flyktiga och förekommer i inneslutningens atmosfär, där den senare i huvudsak består av elementär och organisk jod. Haverifiltret antas ha en god och likvärdig förmåga att filtrera utsläpp av partikulär och elementär jod, medan organisk jod antas bete sig som en ädelgas och därmed inte fastna i haverifiltret.

Jodkemin under ett haveriförlopp är komplicerad och påverkas av många parametrar såsom bl.a. tryck, temperatur, pH, strålningsnivåer och interaktion med ytor i anläggningen. Det finns således inte ett generellt svar på frågan om hur fördelningen av jodformer ser ut i vare sig reaktortank och reaktorinneslutning eller i utsläppet till omgivningen vid ett haveri. SSM har därför uppdragit åt Vattenfall AB att ta fram fördelningar av jodformer i reaktorinneslutningen för ett realistiskt och ett konservativt scenario [14]. Båda scenarierna bygger på att pH i reaktorinneslutningen inte understiger 7, vilket kan vara fallet om det finns någon form av pH-reglering under ett haveri eller om det på något annat sätt går att visa att pH ligger utanför det sura området under haveriförloppet. SSM använder fördelningen av jodformer i reaktorinneslutningen för det konservativa scenariot för de dimensionerande händelserna.

För utsläpp som inte passerar haverifiltret antas fördelningen mellan organisk, elementär och partikulär jod i utsläppet vara densamma som i reaktor-

inneslutningens atmosfär. För utsläpp vid händelsen där de konsekvenslindrande systemen fungerar kommer dock fördelningen i utsläppet att förändras eftersom de olika jodformerna filtreras i olika hög grad i haverifiltret. Haverifiltret till tryckvattenreaktorerna ger en bättre dekontaminering av jod än haverifiltret till kokvattenreaktorerna och är därigenom effektivare. Detta innebär att fördelningen av jodformer i utsläppet kommer att skilja sig mellan dessa reaktortyper, men att filtreringen ger en signifikant minskning av det totala jodutsläppet i båda fallen.

För att skatta fördelningen av jodformer i utsläppet antar SSM att partikulär och elementär jod filtreras i lika hög grad i haverifiltret och att organisk jod inte filtreras alls. Detta innebär att den relativa fördelningen av jodformer i de representativa källtermerna ansätts enligt Tabell 4.

**Tabell 4.** Relativ fördelning av flyktiga jodformer i reaktorinneslutningens atmosfär och i utsläpp för de dimensionerande händelserna med och utan fungerande konsekvenslindrande system (med DF avses dekontaminationsfaktor).

Jodformer	Reaktorinneslutning (%)	Utsläpp (%)
Fungerande konsekvenslindrande system (Oskarshamn och Forsmark, DF100)		
Organisk	0,15	13,1
Elementär	4,85	4,2
Partikulär	95	82,7
Fungerande konsekvenslindrande system (Ringhals, DF500)		
Organisk	0,15	42,9
Elementär	4,85	2,8
Partikulär	95	54,3
Utan fungerande konsekvenslindrande system (alla kärnkraftverk, DF1)		
Organisk	0,15	0,15
Elementär	4,85	4,85
Partikulär	95	95

### 3.3.3. Värmeenergi

SSM har satt värmeinnehållet i utsläppen till noll i de representativa källtermerna för de dimensionerande händelserna. SSM antar därmed att det inte sker något plymlyft på grund av termisk energi i utsläppet. SSM antar inte heller att det sker något plymlyft till följd av utsläppets rörelse i höjdd. Beräkningar av plymlyft är behäftade med stora osäkerheter. För att inte införa en eventuell underskattning av de beräknade doserna har SSM därför konservativt antagit att inget plymlyft förekommer.

### 3.3.4. Förvarningstid

SSM har baserat uppskattningen av kortast möjliga förvarningstid på resultat från beräkningarna av utsläppsförlopp med MELCOR för kärnkraftsreaktorn

Ringhals 4. För händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system påbörjas utsläppet efter 3,5 timmar. För händelsen med fungerande konsekvenslindrande system påbörjas utsläppet efter 4,6 timmar. SSM anser, givet de osäkerheter som analyserna med källtermkoder är behäftade med, att det är rimligt att ansätta en genomsnittlig kortast möjlig förvarningstid på cirka fyra timmar för de dimensionerande händelserna.

### **3.4. Jämförelse med Tjernobyli och Fukushima Daiichi**

Det totala utsläppet till atmosfären per nuklid i den representativa källtermen för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system jämförs Tabell 5 med det uppskattade totala utsläppet till atmosfären av motsvarande nuklider vid kärnkraftsolyckorna i Fukushima Daiichi [15] och Tjernobyli [16].

De elva nuklider som bidrar med mer än en procent till effektiv dos under de sju första dyggen för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system har grå bakgrundsfärg i Tabell 5. Utsläppet till atmosfären för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system är i paritet med det sammanlagda utsläppet till atmosfären från reaktorer 1-3 vid Fukushima Daiichi, men mindre än utsläppet till atmosfären från Tjernobyli.

**Tabell 5.** Jämförelse mellan utsläppen till atmosfären för den dimensionerade händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system (nedan benämnd SSM) och uppskattningar av utsläpp från kärnkraftsolyckorna i Tjernobyli och Fukushima Daiichi.

<b>Nuklid</b>	<b>SSM</b>	<b>Fukushima Daiichi</b>	<b>Tjernobyli</b>
Kr-85m	2,1E+17		
Kr-87	3,9E+16		
Kr-88	3,2E+17		
Xe-133	5,3E+18	6,0E+18 – 1,2E+19	6,5E+18
Xe-133m	1,7E+17		
Xe-135	2,2E+18		
Xe-135m	3,9E+17		
I-130	1,9E+15		
I-131	1,8E+17	1,0E+17 – 4,0E+17	1,8E+18
I-132	2,5E+17		
I-133	2,6E+17	6,8E+14 – 3,0E+17	2,5E+18
I-134	2,4E+15		
I-135	1,0E+17		
Rb-88	9,2E+15		
Cs-134	2,6E+16	8,3E+15 – 5,0E+16	4,7E+16
Cs-136	5,8E+15		3,6E+16
Cs-137	1,9E+16	7,0E+15 – 2,0E+16	8,5E+16
Sb-127	5,9E+15		
Te-127m	9,3E+14		
Te-129m	4,2E+15	3,3E+15 – 1,2E+16	2,4E+17
Te-131m	1,0E+16		
Te-132	9,0E+16	7,6E+14 – 1,6E+17	1,2E+18
Sr-89	1,4E+15	4,3E+13 – 1,3E+16	1,2E+17
Sr-90	1,3E+14	3,3E+12 – 1,4E+14	1,0E+16
Ba-140	2,5E+15	1,1E+15 – 2,0E+16	2,4E+17
Mo-99	8,5E+16	8,8E+07	7,2E+16
Tc-99m	8,2E+16		
Cm-242	8,3E+11	9,8E+09 – 9,8E+11	4,0E+14
Cm-244	1,1E+11		

## 4. Spridnings- och dosberäkningar

SSM har genomfört spridnings- och dosberäkningar baserade på historiska väderdata för de tre kärnkraftverken i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals, för de dimensionerande händelserna med och utan fungerande konsekvenslindrande system. Beräkningar har genomförts med väderdata för perioden 2006-2015. Totalt omfattar dataunderlaget cirka 4 240 spridnings- och dosberäkningar per dimensionerande händelse och kärnkraftverk. Detta ger ett tillräckligt statistiskt underlag för att omhänderta variationer i väderförhållanden kring kärnkraftverken. För ytterligare information om spridnings- och dosberäkningar hänvisas till huvudrapporten och bilaga 2.

I detta kapitel redovisas tabeller med de största avstånden där tröskeldoser för allvarliga deterministiska effekter samt doskriterier och åtgärdsnivåer för olika skyddsåtgärder överskrids om 70, 80 eller 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. I tabellerna anges också ett medelvärde för resultaten från de tre kärnkraftverken för respektive percentil. Alla resultat anges med två värdesiffror. För ytterligare information om tröskeldoser, doskriterier och åtgärdsnivåer hänvisas till huvudrapporten och bilaga 1.

### 4.1. Händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system

#### 4.1.1. Förebyggande utrymning

SSM har utgått från tröskeldoser för allvarliga deterministiska effekter i syfte att definiera ungefärliga avstånd där förebyggande utrymning bör förberedas för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system, se Tabell 6-8.

**Tabell 6.** Största avstånd där 1 000 mGy absorberad dos till röd benmärg för vuxna och barn överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	1,4	1,4	1,4	1,4
80	1,9	1,6	1,6	1,7
90	2,7	2,2	2,3	2,4
Barn				
70	1,0	1,1	1,2	1,1
80	1,4	1,2	1,4	1,3
90	2,1	1,6	1,7	1,8

**Tabell 7.** Största avstånd där 100 mGy absorberad dos till embryot 2-7 veckor efter befruktning överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
70	7,2	5,1	5,6	6,0
80	9,8	6,1	7,5	7,8
90	11	9,7	11	10

**Tabell 8.** Största avstånd där tröskeldosen 300 mGy absorberad dos till fostrets hjärna 8-15 veckor efter befruktning överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
70	2,6	2,6	2,4	2,5
80	3,9	3,2	3,1	3,4
90	6,3	4,6	5,0	5,3

#### 4.1.2. Utrymning

SSM har utgått från det högre doskriteriet för utrymning på 100 mSv effektiv dos i syfte att definiera ungefärliga avstånd där utrymning bör förberedas för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system, se Tabell 9. Som jämförelse redovisar SSM också resultat för det lägre doskriteriet för utrymning på 20 mSv effektiv dos, se Tabell 10.

**Tabell 9.** Största avstånd där doskriteriet 100 mSv effektiv dos överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	16	13	20	17
80	23	18	26	22
90	31	29	36	32
Barn				
70	22	17	27	22
80	27	26	33	29
90	39	36	44	40

**Tabell 10.** Största avstånd där doskriteriet 20 mSv effektiv dos överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	49	53	61	54
80	70	75	80	75
90	99	100	100	100
Barn				
70	65	80	79	75
80	88	100	92	94
90	110	130	120	120

#### 4.1.3. Utrymning på grund av markbeläggning

SSM har utgått från åtgärdsnivån 2000 kBq/m<sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 i syfte att definiera ungefärliga avstånd där utrymning på grund av markbeläggningen bör förberedas för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system, se Tabell 11.

**Tabell 11.** Största avstånd där åtgärdsnivån 2000 kBq/m<sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
70	110	100	130	120
80	180	150	170	170
90	300	240	250	260

#### 4.1.4. Inomhusvistelse

SSM har utgått från doskriteriet 10 mSv effektiv dos i syfte att definiera ungefärliga avstånd där inomhusvistelse bör förberedas för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system, se Tabell 12.



**Tabell 12.** Största avstånd där doskriteriet 10 mSv effektiv dos överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	90	110	100	100
80	120	130	130	130
90	180	180	170	180
Barn				
70	110	130	130	120
80	140	160	150	150
90	210	200	190	200

#### 4.1.5. Jodtabletter

SSM har utgått från doskriteriet 50 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln i syfte att definiera ungefärliga avstånd där jodtabletter kan vara motiverade för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system, se Tabell 13.

**Tabell 13.** Största avstånd där doskriteriet 50 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	88	110	97	99
80	110	130	120	120
90	150	160	150	160
Barn				
70	150	150	150	150
80	200	180	190	190
90	290	230	240	260

## 4.2. Händelsen med fungerande konsekvenslindrande system

### 4.2.1. Förebyggande utrymning

SSM har utgått från tröskeldoser för allvarliga deterministiska effekter i syfte att definiera ungefärliga avstånd där förebyggande utrymning bör förberedas för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system. Tröskeldosen 1 000 mGy absorberad dos till röd benmärg överskrids inte utanför anläggningsområdet kring kärnkraftverken, vare sig för vuxna

eller barn, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. För övriga resultat, se Tabell 14-15.

**Tabell 14.** Största avstånd där 100 mGy absorberad dos till embryot 2-7 veckor efter befruktning överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
70	1,1	1,3	1,2	1,2
80	1,4	1,4	1,3	1,4
90	2,0	1,8	1,6	1,8

**Tabell 15.** Största avstånd där 300 mGy absorberad dos till fostrets hjärna 8-15 veckor efter befruktning överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
70	0,5	0,5	0,3	0,4
80	0,6	0,5	0,5	0,5
90	0,7	0,7	0,6	0,6

#### 4.2.2. Utrymning

SSM har utgått från det lägre doskriteriet för utrymning på 20 mSv effektiv dos i syfte att definiera ungefärliga avstånd där utrymning bör förberedas för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system, se Tabell 16. Som jämförelse redovisar SSM också resultat för det högre doskriteriet för utrymning på 100 mSv effektiv dos, se Tabell 17.

**Tabell 16.** Största avstånd där doskriteriet 20 mSv effektiv dos överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	4,5	4,1	4,3	4,3
80	6,1	4,8	5,3	5,4
90	9,1	6,3	8,3	7,9
Barn				
70	4,8	4,3	4,3	4,5
80	6,4	5,0	5,4	5,6
90	9,5	6,7	9,2	8,5

**Tabell 17.** Största avstånd där doskriteriet 100 mSv effektiv dos överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	1,8	1,2	1,2	1,4
80	2,3	1,3	1,4	1,7
90	2,6	1,8	1,9	2,1
Barn				
70	2,0	1,2	1,3	1,5
80	2,4	1,5	1,5	1,8
90	2,7	2,0	2,0	2,2

#### 4.2.3. Utrymning på grund av markbeläggning

SSM har utgått från åtgärdsnivån 2000 kBq/m<sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 i syfte att definiera ungefärliga avstånd där utrymning på grund av markbeläggningen bör förberedas för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system, se Tabell 18.

**Tabell 18.** Största avstånd där åtgärdsnivån 2000 kBq/m<sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
70	0,8	0,7	0,5	0,7
80	1,3	0,8	0,8	1,0
90	2,1	1,2	1,4	1,6

#### 4.2.4. Inomhusvistelse

SSM har utgått från doskriteriet 10 mSv effektiv dos i syfte att definiera ungefärliga avstånd där inomhusvistelse bör förberedas för händelsen med fungerande konsekvenslindrande system, se Tabell 19.

**Tabell 19.** Största avstånd där doskriteriet 10 mSv effektiv dos överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	6,7	5,1	8,3	6,7
80	10	7,6	10	9,2
90	16	12	15	15
Barn				
70	7,2	6,3	8,3	7,3
80	10	8,3	11	9,6
90	17	13	16	16

#### 4.2.5. Jodtabletter

SSM har utgått från doskriteriet 50 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln i syfte att definiera ungefärliga avstånd där jodtabletter kan vara motiverade för händelsen med fungerande konsekvenslindrande system, se Tabell 20. SSM redovisar också resultat för doskriteriet 10 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln för barn och gravida eftersom detta kan ge information om inom vilka avstånd förhandsutdelade jodtabletter bör intas, se Tabell 21.

**Tabell 20.** Största avstånd där doskriteriet 50 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	2,7	2,3	2,3	2,4
80	3,4	2,8	3,0	3,1
90	5,7	4,1	4,4	4,7
Barn				
70	5,0	3,3	5,0	4,4
80	6,7	5,0	6,3	6,0
90	10	6,7	11	9,5

**Tabell 21.** Största avstånd där doskriteriet 10 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

<b>Percentil</b>	<b>Forsmark (km)</b>	<b>Oskarshamn (km)</b>	<b>Ringhals (km)</b>	<b>Medelvärde (km)</b>
		Barn		
70	17	13	20	17
80	23	19	29	24
90	35	32	43	37

## 5. Beredskapszoner och planeringavstånd

SSM redovisar i detta kapitel en sammanfattning av resultaten från spridnings- och dosberäkningar, de ställningstaganden som ligger till grund för förslagen på ungefärlig utsträckning av beredskapszoner och planeringsavstånd samt inom vilka avstånd skyddsåtgärderna inomhusvistelse och jodtabletter bör förberedas. SSM redovisar dessutom vad som bör gälla för varning och förhandsutdelad information.

Beräkningarna visar att resultaten skiljer sig något mellan kärnkraftverken. SSM anser dock att skillnaderna inte är så pass stora att det är motiverat att föreslå olika utsträckning av beredskapszoner eller planeringavstånd kring de tre kärnkraftverken. Skälet till SSM:s ställningstagande är att osäkerheterna i de representativa källtermerna liksom osäkerheterna förknippade med den typ av spridnings- och dosberäkningar som SSM genomfört, leder till en sammanlagd osäkerhet i beräknade avstånd som är av minst samma storleksordning som de skillnader som finns mellan kärnkraftverken. SSM utgår därför i analysen från medelvärden för resultaten för de tre kärnkraftverken i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals.

### 5.1. Underlag till beredskapszoner och planeringsavstånd

#### 5.1.1. Förebyggande utrymning

SSM:s förslag:

1. En inre beredskapszon med en utsträckning på cirka 5 km bör inrättas.
2. Planeringen bör möjliggöra att hela den inre beredskapszonen kan utrymmas inom cirka 4 timmar efter beslut från räddningsledaren.
3. Planeringen bör möjliggöra att utrymning av den inre beredskapszonen kan prioriteras framför utrymning på större avstånd.

Det främsta syftet med den inre beredskapszonen är att, oavsett vad som händer på kärnkraftverket, skapa förutsättningar att nå det mest prioriterade målet för strålskyddet under en radiologisk nödsituation, nämligen att undvika allvarliga deterministiska effekter. Därför ligger avstånd där tröskeldoser för allvarliga deterministiska effekter kan överskridas till grund för förslaget till utsträckning av den inre beredskapszonen. Beredskapsplaneringen för den inre beredskapszonen ska även möjliggöra en begränsad utrymning kring kärnkraftverket tidigt i en händelse, som förebyggande åtgärd ifall situationen skulle förvärras.

Beräkningarna visar att utrymning ut till cirka 5 km med god marginal är tillräckligt för att i 90 procent av alla förekommande väderfall undvika en ökad incidens av akuta dödsfall för både vuxna och barn för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system. Utrymning ut till cirka 5 km är också tillräckligt för att i knappt 90 procent av alla förekommande väderfall undvika en ökad incidens av allvarlig utvecklingsstörning hos foster. Utrymning ut till cirka 5 km är vidare tillräckligt för att i knappt 70 procent av alla förekommande väderfall undvika en ökad incidens av missbildningar hos ett embryo. Om ambitionsnivån ska vara att undvika en ökad incidens av missbildningar hos ett embryo i 90 procent av alla förekommande väderfall, krävs utrymning ut till drygt 10 km eller att utrymningen kombineras med andra skyddsåtgärden som inomhusvistelse.

SSM har uppskattat den kortast möjliga förvarningstiden till cirka fyra timmar för de dimensionerande händelserna. SSM anser därför att en rimlig målsättning i planeringen för utrymning av den inre beredskapszonen är att den ska kunna vara slutförd inom cirka 4 timmar efter beslut av räddningsledaren.

Vilken utsträckning den inre beredskapszonen ska ha är en avvägning mellan målet att möjliggöra att allvarliga deterministiska effekter kan undvikas och målet att möjliggöra effektiva insatser under en radiologisk nödsituation. SSM menar, med stöd av räddningsledare som deltagit i arbetet, att det är en stor utmaning att hinna utrymma ut till cirka 5 km på så pass kort tid som 4 timmar. Om ett ännu större område ska utrymmas ökar det risken att utrymningen tar mer än 4 timmar och dessutom kan det försvåra utrymningen av de som är närmast kärnkraftverket och därmed i störst behov av skydd.

SSM anser sammantaget att den inre beredskapszonen bör ha en utsträckning på cirka 5 km. SSM:s förslag ligger i linje med rekommendationer från IAEA som framhåller att utsträckningen av den inre beredskapszonen som längst bör vara cirka 5 km för att snabb utrymning ska vara möjlig [17].

Den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system påverkar inte utsträckningen av den inre beredskapszonen. Tröskeldosen för missbildningar på embryon överskrids inte på större avstånd än ett par kilometer, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Övriga tröskeldoser för allvarliga deterministiska effekter överskrids inte utanför kärnkraftverken, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

## 5.1.2. Utrymning

SSM:s förslag:

1. En yttre beredskapszon med en utsträckning på cirka 25 km inåt fastlandet bör inrättas.
2. Den del av norra Öland som ligger inom ett avstånd på cirka 30 km från kärnkraftverket i Oskarshamn bör ingå i den yttre beredskapszonen.
3. Den yttre beredskapszonen bör delas in i områden som möjliggör att olika sektorer och olika avstånd kan utrymmas beroende på händelsen och de rådande omständigheterna.
4. Om det finns tidig information om en störning på kärnkraftverket och förutsättningarna i övrigt medger att utrymning kan genomföras, bör planeringen möjliggöra att de områden som ligger i förväntad vindriktning ut till cirka 25 km kan utrymmas inom 12 timmar efter beslut från räddningsledaren.
5. Om dessa villkor inte är uppfyllda, bör planeringen istället möjliggöra att de områden som ligger i förväntad vindriktning ut till cirka 15 km kan utrymmas inom 12 timmar efter beslut från räddningsledaren, samtidigt som inomhusvistelse i kombination med intag av jodtabletter kan rekommenderas i de områden som ligger i förväntad vindriktning inom cirka 15 till 25 km.
6. Planeringen bör möjliggöra att barn och gravida kan prioriteras vid utrymning samt att sjuka i behov av vård och personer inom äldreomsorgen kan vara kvar i områden som utryms.

Syftet med den yttre beredskapszonen är att skapa förutsättningar för att nå det näst mest prioriterade målet för strålskyddet under en radiologisk nödsituation, nämligen att minska sannolikheten för stokastiska effekter så långt det är rimligt och möjligt. SSM:s beräkningar visar att den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system är dimensionerande med avseende på utsträckning av den yttre beredskapszonen, trots att referensnivån för denna händelse är fem gånger högre än för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system. Därför ligger doskriteriet 100 mSv effektiv dos under de sju första dyggen för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system till grund för förslaget till utsträckning av den yttre beredskapszonen.

Beräkningarna visar att utrymning ut till drygt 20 km är tillräckligt för att i 70 respektive 80 procent av alla förekommande väderfall underskrida en effektiv dos på 100 mSv för barn respektive vuxna för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system. Beräkningarna visar också att utrymning ut till cirka 30 km är tillräckligt för att i 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall underskrida en effektiv dos på 100 mSv för barn respektive vuxna. Ska även en effektiv dos på 100 mSv för barn underskridas i 90 procent av alla förekommande väderfall, krävs utrymning ut till cirka 40 km.



Tiden från haverilarm till utsläpp som motiverar att brådskande skyddsåtgärder för allmänheten vidtas är i storleksordningen 12 timmar enligt definitionen av haverilarm. SSM anser därför att en rimlig målsättning i planeringen för utrymning av den yttre beredskapszonen är att de områden som ligger i förväntad vindriktning ska kunna utrymmas inom cirka 12 timmar efter beslut av räddningsledaren. Visserligen startar utsläppen i de dimensionerande händelserna efter cirka fyra timmar från den inledande händelsen. SSM menar dock att förebyggande utrymning utanför inre beredskapszonen inte går att genomföra på så kort tid som fyra timmar. Finns ingen förhandsinformation om en störning på kärnkraftverket får omständigheterna under händelsen avgöra om det är bättre att rekommendera inomhusvistelse i kombination med intag av jodtabletter eller att utrymma under pågående utsläpp.

Vilken utsträckning den yttre beredskapszonen ska ha är en avvägning mellan målet att sannolikheten för stokastiska effekter ska minskas så långt möjligt, målet att möjliggöra effektiva insatser och målet att underlätta återgången till en normal tillvaro.

Målet angående effektiva insatser under en radiologisk nödsituation är kopplat till möjligheterna att inom 12 timmar genomföra en framgångsrik utrymning av den del av yttre beredskapszonen som ligger i förväntad vindriktning. Att skyndsamt utrymma stora områden, och i synnerhet större tätorter, utgör en betydande utmaning. Det kan inte uteslutas att utrymningen tar så pass lång tid att genomföra att många antingen inte hinner utrymma innan ett utsläpp sker eller håller på att utrymma samtidigt som ett större utsläpp sker. Ett alternativ som kan erbjuda bättre skydd i en sådan situation är inomhusvistelse i kombination med intag av jodtabletter under utsläppet, för att sedan genomföra utrymning baserat på markbeläggningen om det visar sig nödvändigt efter att utsläpp av betydelse ur strålskyddssynpunkt upphört. Detta gäller i synnerhet större tätorter om planeringen för inomhusvistelse tar hänsyn till de möjligheter till bättre skydd som erbjuds i form av byggnader med tjocka väggar, källarutrymmen och skyddsrum.

SSM anser av dessa skäl att den yttre beredskapszonen bör delas in i områden som möjliggör att olika sektorer och olika avstånd kan utrymmas beroende på händelsen och de rådande omständigheterna. De 30-graderssektorer som tillämpas idag bör sålunda finnas kvar. Den yttre beredskapszonen bör även kunna utrymmas i olika steg med avseende på avstånd från kärnkraftverket där omständigheterna avgör om det är bättre att rekommendera inomhusvistelse i kombination med jodtabletter istället för att utrymma. SSM anser att det är lämpligt att planeringen sker på ett sådant sätt att ett avstånd som motsvarar drygt halva utsträckningen av yttre beredskapszonen kan utrymmas separat.

Målet angående återgång till en normal tillvaro är kopplat till att det är svårare att återgå till en normal tillvaro efter att ha utrymt jämfört med efter att ha vistats inomhus under en begränsad tidsperiod. Sker inget utsläpp är det troligen lätt att återvända efter en utrymning. Om däremot utsläpp sker, visar erfarenheterna från olyckan i Fukushima Daiichi att det kan ta mycket lång

tid innan de som utrymt tillåts återvända, även till områden som inte påverkats eller endast påverkats i liten utsträckning av ett nedfall.

Sammantaget anser SSM att den yttre beredskapszonen bör ha en utsträckning på cirka 25 km. Om det finns tidig information om en störning på kärnkraftverket som innebär att förberedelser för utrymning kan vidtas samtidigt som förutsättningarna i övrigt medger att utrymning kan genomföras, anser SSM att de områden som ligger i förväntad vindriktning ut till cirka 25 km ska kunna utrymmas inom 12 timmar efter beslut. Om dessa villkor inte är uppfyllda anser SSM att förebyggande utrymning på större avstånd än cirka 15-20 km kring de svenska kärnkraftverken inte utgör ett bra alternativ. Skälet till SSM:s ställningstagande är att det ligger ett antal större samhällen kring kärnkraftverken på ungefär dessa avstånd. Utan tid för förberedelser eller om det finns försvårande omständigheter anser SSM att möjligheterna att genomföra en framgångsrik utrymning av dessa samhällen inom 12 timmar är små. Ett bättre alternativ är istället inomhusvistelse i kombination med intag av jodtabletter i de områden som ligger i förväntad vindriktning från cirka 15 km ut till cirka 25 km. Ska detta alternativ kunna genomföras bör de boende i berörda områden ha tillgång till både förhandsutdelade jodtabletter och förhandsinformation om skyddsåtgärder. SSM:s förslag till ungefärlig utsträckning av yttre beredskapszonen ligger i linje med rekommendationer från IAEA att utsträckningen av yttre beredskapszonen bör vara mellan 15-30 km [18].

SSM anser vidare att en större del av norra Öland bör ingå i den yttre beredskapszonen kring kärnkraftverket i Oskarshamn, även på större avstånd än 25 km. Spridning över havet kan ge högre stråldoser på motsvarande avstånd jämfört med spridning inåt fastlandet. Med motsvarande ambitionsnivå som inåt landet visar SSM:s beräkningar att en ungefärlig utsträckning på 30 km bör ligga till grund för hur stor del av norra Öland som ska ingå i den yttre beredskapszonen kring kärnkraftverket i Oskarshamn.

Erfarenheter från utrymning i samband med kärnkraftsolyckorna i Tjernobyl och Fukushima Daiichi visar att det krävs särskild planering för vissa grupper [19]. SSM anser därför att grupper som är mer sårbara för exponering för joniserande strålning, t.ex. barn och gravida, liksom grupper med särskilda behov, t.ex. sjuka och personer inom äldreomsorgen, bör identifieras i planeringsskedet. Beredskapsplaneringen bör möjliggöra att sårbara grupper kan prioriteras vid en utrymning. Planeringen bör också beakta möjligheten att grupper med särskilda behov kan vara kvar trots beslut om utrymning. Ska det vara möjligt krävs en detaljerad planering för inomhusvistelse för berörda verksamheter i yttre beredskapszonen, se vidare avsnitt 5.1.4.

Den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system påverkar inte utsträckningen av den yttre beredskapszonen. Det lägre doskriteriet för utrymning på 20 mSv effektiv dos överskrids inte på större avstånd än cirka 10 km, varken för vuxna eller barn, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas för denna händelse.

### 5.1.3. Utrymning på grund av markbeläggning

SSM:s förslag:

1. Ett planeringsavstånd med en utsträckning på 100 km bör inrättas.
2. Förmågan till strålningsmätningar bör dimensioneras så att det är möjligt att genomföra strålningsmätningar med en tillräcklig geografisk upplösning över hela ytan som definieras av planeringsavståndet inom cirka en vecka från det att utsläppet upphört.
3. Strålningsmätningar bör genomföras med en flexibel metod som tillåter att området som ska mätas definieras under händelsen, inklusive områden på större avstånd än 100 km.
4. Planeringen bör möjliggöra att beslut om utrymning baserat på resultat från strålningsmätningar kan fattas skyndsamt.

Det viktigaste syftet med planeringsavståndet är att skapa förutsättningar för att kunna minska sannolikheten för stokastiska effekter så långt det är rimligt och möjligt genom att besluta om utrymning baserat på markbeläggning, vilken uppskattas genom strålningsmätningar. Därför ligger åtgärdsnivån 2 000 kBq/m<sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 till grund för förslaget till utsträckning av planeringsavståndet kring kärnkraftverken. Denna markbeläggning ger en tillskottsdos på cirka 20 mSv effektiv dos under det första året med de antaganden om nedträngning, skyddsfaktor och genomsnittlig tid för inomhusvistelse som SSM gjort. SSM anser att områden med en så pass hög markbeläggning bör identifieras och utrymmas innan den radiologiska nödsituationen, och därmed räddningstjänst, kan avslutas.

Beräkningarna visar att en markbeläggning som motiverar utrymning kan uppstå ut till cirka 120, 170 eller 260 km i 70, 80 respektive 90 procent av förekommande väderfall för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system.

Eftersom resultatet från strålningsmätningar ska ligga till grund för beslut om utrymning som krävs innan räddningstjänst kan avslutas, anser SSM att de ska kunna genomföras skyndsamt. SSM anser därför att förmågan till strålningsmätningar bör dimensioneras så att det är möjligt att genomföra dessa med en tillräcklig geografisk upplösning över hela ytan som definieras av planeringsavståndet inom cirka en vecka från det att utsläppet upphört.

SSM anser att en utsträckning av planeringsavståndet på 100 km, vilket omfattar knappt 70 procent av alla förekommande väderfall, är rimlig. Skälet till SSM:s ställningstagande är att det är osannolikt att hela ytan i den halvcirkel som definieras på detta sätt påverkas av nedfall som ger hög markbeläggning även för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system. Om förmågan till strålningsmätning dimensioneras för att täcka detta område bör mätresurserna vara tillräckliga för att också kunna användas utanför planeringsavståndet vid behov, dvs. på större avstånd än 100 km från kärnkraftverken. En förutsättning för att SSM:s förslag ska leda till önskad förmåga är att strålningsmätning kan genomföras med en flexibel metod som

tillåter att området som behöver mätas kan definieras under händelsen. SSM:s förslag på utsträckning ligger i linje med rekommendationer från IAEA att utsträckningen av planeringsavståndet bör vara 100 km [18].

Den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system påverkar inte utsträckningen av planeringsavståndet. Åtgärdsnivån för utrymning på grund av markbeläggning överskrider inte på större avstånd än cirka 2 km, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

#### 5.1.4. Inomhusvistelse

SSM:s förslag:

1. En detaljerad plan för inomhusvistelse bör finnas i inre och yttre beredskapszonen.
2. En planering för inomhusvistelse i begränsade områden inom planeringsavståndet bör finnas.
3. På större avstånd än planeringsavståndet är planeringen för inomhusvistelse vid VMA tillräcklig.

Inomhusvistelse är en förhållandevis enkel skyddsåtgärd som inte kräver lika mycket förberedelser som utrymning eller intag av jodtabletter. Däremot krävs en plan för när en rekommendation om inomhusvistelse kan övervägas samt hur inomhusvistelse som riskerar att dra ut på tiden ska hanteras. Eftersom inomhusvistelse åtminstone på kort sikt inte innebär allvarliga negativa konsekvenser, anser SSM att det är rimligt att använda samma doskriterium för båda händelserna med och utan fungerande konsekvenslindrande system, nämligen 10 mSv effektiv dos.

Beräkningarna visar att inomhusvistelse för barn kan vara motiverat ut till cirka 120, 150 och 200 km om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system. För vuxna visar beräkningarna att motsvarande avstånd är cirka 100, 130 och 180 km.

SSM anser att en detaljerad plan för inomhusvistelse bör finnas inom beredskapszonerna eftersom inomhusvistelse i kombination med jodtabletter kan utgöra ett alternativ till utrymning inom dessa zoner. Även i inre beredskapszonen anser sålunda SSM att det bör finnas en detaljerad plan för inomhusvistelse. Visserligen är utrymning förstahandsalternativet i inre beredskapszonen, men omständigheterna kan vara sådana att utrymning inte går att genomföra. I sådana situationer är inomhusvistelse bättre än ingen åtgärd alls.

En detaljerad planering för inomhusvistelse bör behandla förhandsinformation till boende om inomhusvistelse, utrymning om inomhusvistelsen skulle dra ut på tiden, vilka verksamheter som måste fortgå vid inomhusvistelse, information i förväg till dessa verksamheter samt utbildning av räddningspersonal som kan komma att verka inom ett område där inomhusvistelse rekommenderats. Utrymning i de fall inomhusvistelsen

skulle dra ut på tiden är inte lika brådskande som den förebyggande utrymningen som ska genomföras i inre beredskapszonen och om möjligt i yttre beredskapszonen, men kan bli nödvändig efter ett par dygn vid ett utdraget förlopp. Erfarenheterna från olyckan i Fukushima Daiichi visar att den inomhusvistelse som rekommenderades i området mellan 20 och 30 km från kärnkraftverket, och som varade i tio dygn innan ett beslut om frivillig utrymning fattades, ledde till stora problem för de som berördes [3].

SSM anser vidare att det även inom planeringsavståndet bör finnas en planering för inomhusvistelse i begränsade områden och som i första hand behandlar behov av utrymning om inomhusvistelsen skulle dra ut på tiden. Utanför planeringsavståndet anser SSM att den planering som finns för inomhusvistelse vid *Viktigt Meddelande till Allmänheten* (VMA) är tillräcklig.

Den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system påverkar inte förslaget på planering för inomhusvistelse. Doskriteriet för inomhusvistelse överskrids inte på större avstånd än drygt 15 km, varken för vuxna eller barn, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas för denna händelse.

#### 5.1.5. Jodtabletter

SSM:s förslag:

1. Jodtabletter bör förhandsutdelas i både inre och yttre beredskapszonen.
2. Extrautdelning av jodtabletter inom något dygn bör vara möjlig i begränsade områden inom planeringsavståndet.
3. Rekommendation om intag av förhandsutdelade jodtabletter bör inte ske med automatik vid kärnkraftverkens larmnivåer eller vid beslut om skyddsåtgärder utan alltid föregås av en bedömning av sannolikhet och tid för utsläpp.
4. Ansvar för upphandling, lagerhållning, kompletterings- och extrautdelning samt rätten att rekommendera intag av jodtabletter bör utredas. Även möjligheterna att tillhandahålla jodtabletter till barn och gravida i hela Sverige bör utredas.

Intag av jodtabletter är en skyddsåtgärd som kräver omfattande planering om den ska kunna genomföras i praktiken, antingen genom att jodtabletter förhandsutdelas eller genom att jodtabletter delas ut vid behov under den radiologiska nödsituationen. SSM använder samma doskriterium, 50 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln, som utgångspunkt till förslaget på planeringen för jodtabletter för båda de dimensionerande händelserna, med och utan fungerande konsekvenslindrande system.

Beräkningarna visar att förberedelser för jodtabletter kan vara motiverade för barn ut till cirka 150, 190 och 260 km om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system. För vuxna visar beräkningarna att motsvarande avstånd är cirka 100, 120 och 160 km.

SSM anser att det är rimligt att förhandsutdela jodtabletter inom inre och yttre beredskapszonen, vilket är i linje med rekommendationer från IAEA [18]. SSM anser däremot inte att jodtabletter bör förhandsutdelas på större avstånd från kärnkraftverken. Skälet till SSM:s ställningstagande att inte föreslå att jodtabletter förhandsutdelas även inom planeringsavståndet är att förhandsutdelning är förknippat med stora kostnader samtidigt som det är mindre sannolikt att hela ytan som definieras av planeringsavståndet kommer beröras av ett utsläpp som motiverar intag av jodtabletter. Det innebär att förhandsutdelning inom planeringsavståndet skulle ge en förhållandevis liten nytta i förhållande till kostnaden.

SSM anser trots detta att jodtabletter bör lagerhållas regionalt så att extrautdelning kan ske inom något dygn i begränsade områden inom planeringsavståndet om förhållandena under händelsen så medger. Detta alternativ är mindre kostsamt jämfört med förhandsutdelning. De jodtabletter som lagerhålls för extrautdelning kommer endast att vara till nytta vid långsamma händelseförlopp. Vid snabbare förlopp kommer troligen inomhusvistelse i dessa områden rekommenderas, vilket svårligen kan kombineras med extrautdelning av jodtabletter.

SSM anser att förhandsutdelade jodtabletter inte ska intas med automatik vid larmnivåerna höjd beredskap eller haverilarm, eller vid beslut om vissa skyddsåtgärder såsom inomhusvistelse och utrymning. Beslut om att rekommendera intag av jodtabletter bör alltid föregås av en bedömning om sannolikhet och tid för utsläpp som motiverar intag av jodtabletter. En sådan bedömning kan enligt SSM ske enligt enkla kriterier och förutbestämda beslutsmallar. Utan en sådan bedömning finns risk för att intag av jodtabletter sker vid fel tidpunkt och därmed får försämrade effekt. Dessutom ökar sannolikheten för att rekommendationer om intag av ytterligare jodtabletter måste utfärdas, vilket är i strid med rekommendationer från IAEA [18]. För situationer där upprepade intag av jodtabletter kan förutses bör istället utrymning övervägas.

Den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system påverkar inte förslaget på planering för jodtabletter. Doskriteriet för jodtabletter överskrids inte på större avstånd än cirka 10 km, varken för vuxna eller barn, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas för denna händelse.

SSM anser att ansvaret för upphandling, lagerhållning, kompletterings- och extrautdelning samt rätten att rekommendera intag av jodtabletter bör utredas. Idag står SSM för upphandling och nationell lagerhållning, Länsstyrelserna och MSB för förhandsutdelning och Länsstyrelserna för regional lagerhållning samt kompletterings- och extrautdelning av jodtabletter, trots att ingen av dessa myndigheter har rätt att hantera läkemedel enligt läkemedelslagstiftningen. Dessutom ansvarar Länsstyrelserna och SSM idag för att rekommendera intag av jodtabletter om det skulle behövas i en radiologisk nödsituation, också det i strid med

läkemedelslagstiftningen. SSM anser vidare att möjligheterna att tillhandahålla jodtabletter för barn och gravida i hela Sverige också bör utredas.

### 5.1.6. Varning och förhandsutdelad information

SSM:s förslag:

1. Varning bör förberedas i inre och yttre beredskapszonen.
2. System för varning av allmänheten i inre och yttre beredskapszonen bör utredas innan ny upphandling och utdelning av RDS-mottagare genomförs.
3. Förhandsutdelad information om åtgärder vid larm från kärnkraftverket samt strålskydd vid kärnkraftsolyckor bör regelbundet skickas ut till boende i inre och yttre beredskapszonen.
4. Broschyren om åtgärder vid larm från kärnkraftverket bör uppdateras och kompletteras med information om tidig förebyggande utrymning i inre beredskapszonen.
5. Larmnivåerna höjd beredskap och haverilarm på kärnkraftverken bör ses över.

SSM anser att samma krav på varning och förhandsutdelad information som idag gäller ut till 12-15 km från kärnkraftverken ska gälla i både inre och yttre beredskapszonen. Idag finns system för utomhusvarning i form av tyfoner och system för inomhusvarning i form av RDS<sup>4</sup> i området ut till 12-15 km från kärnkraftverken.

I samma område skickas också två informationsbroschyrier ut vart femte år i samband med att förhandsutdelade jodtabletter ersätts med nya. Broschyterna ger information om åtgärder vid larm från kärnkraftverket samt strålskydd vid en kärnkraftsolycka. SSM anser att den broschyr som idag skickas ut om åtgärder vid larm från kärnkraftverket bör uppdateras och kompletteras med information om att förebyggande utrymning av inre beredskapszonen kan komma att genomföras tidigt i en händelse efter att larmnivån höjd beredskap utlysts och senast vid haverilarm.

I beräkningen av ekonomiska konsekvenser redovisar SSM en kostnad som inkluderar att RDS-mottagare delas ut till alla hushåll i inre och yttre beredskapszonen, dvs. ut till cirka 25 km. SSM anser dock att systemen för att varna allmänheten i inre och yttre beredskapszonen bör ses över i ljuset av nya tekniska möjligheter för varning av allmänheten innan upphandling och utdelning av nya RDS-mottagare genomförs.

Larmnivån höjd beredskap ska utlysas om en händelse eller störning har inträffat på kärnkraftverket som hotar säkerheten [20]. Haverilarm ska utlysas om en händelse eller störning har inträffat på kärnkraftverket där utsläpp pågår eller inte kan uteslutas inom storleksordningen 12 timmar och där

---

<sup>4</sup> RDS står för Radio Data System. En RDS-mottagare är en särskild radiomottagare som är avsedd för varningsmeddelanden.

skyddsåtgärder för allmänheten är nödvändiga [20]. SSM anser att det finns skäl att se över om larmnivåerna är ändamålsenliga för larmning av myndigheter, varning av allmänheten och som underlag till beslut om skyddsåtgärder för allmänheten.

## 5.2. Beredskapszoner kring kärnkraftverken

Länsstyrelserna i Uppsala, Kalmar och Hallands län har tagit fram förslag på utformningen av de inre och yttre beredskapszonerna kring kärnkraftverken i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals. Förslagen utgår från en ungefärlig utsträckning av den inre beredskapszonen på cirka 5 km och en ungefärlig utsträckning av den yttre beredskapszonen på cirka 25 km. Förslagen är framtagna i samråd med SSM, MSB och berörda regionala aktörer såsom polis, räddningsledare och kommuner.

Förslagen på beredskapszoner ligger i linje med den ändring av förordningen (2003:789) om skydd mot olyckor som SSM föreslår. En viktig ändring är att endast dimensioneringen av beredskapszoner framgår av förordningen, medan utformningen ska fastställas av berörda länsstyrelser. Det innebär att utformningen av beredskapszonerna regelbundet kan ses över och ändras om förhållandena kring kärnkraftverken förändras på ett sätt som påverkar utformningen. De förslag till utformning av beredskapszoner som redovisas i denna rapport är anpassade till de förhållanden som råder kring kärnkraftverken idag.

I förslagen till utformning av beredskapszonerna har naturliga gränser i form av järnvägar eller vägar använts. Skälet till detta är dels att de som berörs enkelt ska kunna veta om de befinner sig i en beredskapszon eller ej och dels att sådana gränser underlättar det operativa arbetet för räddningstjänst och polis, t.ex. vid upprättandet av vägspärrar.

I förslagen till utformning av beredskapszoner har effektivitet varit en viktig faktor. Det innebär i praktiken att i vissa fall är avståndet till kärnkraftverket kortare än den föreslagna utsträckningen och i vissa fall tvärtom. Detta kan t.ex. bero på var det gått att identifiera lämpliga gränser enligt ovan. Hänsyn har också tagits till att de föreslagna åtgärderna, och då i synnerhet utrymning, ska gå att genomföra inom det avgivna tidskravet för respektive beredskapszon.

### 5.2.1. Kärnkraftverket i Forsmark

Gränsen för inre beredskapszonen följer vägar där utgångspunkten är att boende på båda sidor om vägarna omfattas av samma beslut om skyddsåtgärder. Gränsdragningen ger möjlighet att spärra av den inre beredskapszonen på olika platser. Av särskild betydelse är att väg 76, som är den viktigaste transportleden i denna del av Uppsala län, kan hållas öppen om omständigheterna är sådana att det är lämpligt. Öarna utanför kustlinjen som definieras av inre beredskapszonen på fastlandet ingår också i zonen. Gräsö ingår inte i inre beredskapszonen.



Gränsen för yttre beredskapszonen följer också vägar. Utgångspunkten är att samhällen som ligger utmed vägarna ingår i zonen oavsett vilken sida om vägarna som samhällena är belägna. Öarna utanför kustlinjen som definieras av yttre beredskapszonen på fastlandet ingår också i yttre beredskapszonen. Inom yttre beredskapszonen finns samhällsviktig verksamhet för vilken särskild planläggning krävs vid beslut om skyddsåtgärder, t.ex. sjukhuset i Östhammar och den kommunala servicen i Östhammar, Gimo, Österbybruk och Öregrund.

Förslaget till inre och yttre beredskapszon kring kärnkraftverket i Forsmark redovisas i Figur 3.



**Figur 3.** Förslag på inre och yttre beredskapszon kring kärnkraftverket i Forsmark.

### 5.2.2. Kärnkraftverket i Oskarshamn

Gränsen för inre beredskapszonen följer vägar där utgångspunkten är att boende på båda sidor om vägarna omfattas av samma beslut om skyddsåtgärder. I syfte att hitta lämpliga vägar är avståndet i vissa riktningar något längre än 5 km. Öarna utanför kustlinjen som definieras av inre beredskapszonen på fastlandet ingår också i zonen. Både Clab och Äspölaboratoriet ligger i inre beredskapszonen. För dessa verksamheter krävs särskilda planer så att viss verksamhet kan fortgå vid beslut om förebyggande utrymning av inre beredskapszonen.

Gränsen för yttre beredskapszonen följer också vägar. Utgångspunkten är att samhällen som ligger utmed vägarna ingår i zonen oavsett vilken sida om vägarna som samhällena är belägna. Den del av norra Öland som ligger inom ett avstånd om cirka 30 km från kärnkraftverket ingår också i yttre beredskapszonen. Öarna utanför kustlinjen som definieras av yttre beredskapszonen på fastlandet och norra Öland ingår också i zonen. Inom yttre beredskapszonen finns samhällsviktig verksamhet för vilken särskild planläggning krävs vid beslut om skyddsåtgärder, t.ex. sjukhuset och den kommunala servicen i Oskarshamn.

Förslaget till inre och yttre beredskapszon kring kärnkraftverket i Oskarshamn redovisas i Figur 4.



**Figur 4.** Förslag på inre och yttre beredskapszon kring kärnkraftverket i Oskarshamn.

### 5.2.3. Kärnkraftverket i Ringhals

Gränsen för inre beredskapszonen följer i huvudsak Väst kustbanan förbi Ringhals, vilket innebär att hela Väröhalvön omfattas. Järnvägen utgör en naturlig avgränsning som är lätt att både identifiera och kontrollera. Öarna utanför kustlinjen som definieras av inre beredskapszonen på fastlandet ingår också i zonen. Inom den inre beredskapszonen finns två verksamheter som särskilt måste beaktas vid beslut om förebyggande utrymning: en massindustri och en nätstation. Nätstationen kan fjärrstyras vid behov.

Företaget som driver massindustrin har beredskapsplaner som möjliggör grunddrift där endast en mindre del av personalstyrkan är kvar på anläggningen i skyddade utrymmen.

Gränsen för yttre beredskapszonen följer vägar. Utgångspunkten är att samhällen som ligger utmed vägarna ingår i zonen oavsett vilken sida om vägarna som samhällena är belägna. Öarna som ligger utanför kustlinjen som definieras av yttre beredskapszonen på fastlandet ingår också i zonen. Inom yttre beredskapszonen finns samhällsviktig verksamhet för vilken särskild planläggning krävs vid beslut om skyddsåtgärder, t.ex. sjukhusen i Varberg och Kungsbacka samt kommunal service i ett flertal samhällen. Yttre beredskapszonen kring kärnkraftverket i Ringhals berör två län, Hallands och Västra Götalands län. Detta kräver samverkan vid beslut om skyddsåtgärder så att inte länsgränsen i sig påverkar vilka skyddsåtgärder som vidtas för allmänheten.

Förslaget till inre och yttre beredskapszon kring kärnkraftverket i Ringhals redovisas i Figur 5.



**Figur 5.** Förslag på inre och yttre beredskapszon kring kärnkraftverket i Ringhals.

### **5.3. Planeringsavstånd kring kärnkraftverken**

Kring kärnkraftverken i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals föreslår SSM att ett planeringsavstånd med en utsträckning på 100 km ska inrättas. Kring kärnkraftverket i Forsmark berörs Uppsala, Stockholms, Gävleborgs och Västmanlands län. Kring kärnkraftverket i Oskarshamn berörs Kalmar, Östergötlands, Jönköpings, Kronobergs och Gotlands län. Kring kärnkraftverket i Ringhals berörs Hallands, Västra Götalands, Jönköpings och Kronobergs län. Kring kärnkraftverken i Forsmark och Ringhals berörs även mindre delar av Dalarnas respektive Skåne län. SSM menar dock att de delar av dessa län som berörs är så pass små att det inte motiverar en planering för utrymning som bygger på underlag från strålningsmätning av markbeläggningen, förberedelser för extrautdelning av jodtabletter eller en förstärkt planering för utdragen inomhusvistelse.

### **5.4. Avspärning till sjöss**

SSM har inte beräknat avstånd där tröskeldoser, doskriterier eller åtgärdsnivåer överskrids över vatten. Följaktligen föreslår inte SSM någon ungefärlig utsträckning av beredskapszonerna som gäller för öppet vatten. SSM anser istället att avspärning av vattenområden norr och söder om kärnkraftverken enligt samma principer som i nuvarande beredskapsplaner ska tillämpas även i fortsättningen. Hur stort område till sjöss som spärras av bör anpassas till geografin, till de skyddsåtgärder som beslutas för fastlandet och de öar som ingår i beredskapszonerna samt till omständigheterna under händelsen.

## 6. Känslighetsanalyser

SSM har genomfört känslighetsanalyser i syfte att undersöka hur väl förslagen på beredskapszoner och planeringsavstånd kring kärnkraftverken fungerar för händelser som avviker från de dimensionerande händelserna som SSM fastställt. SSM redovisar i detta kapitel resultat från analyser av händelser med andra utsläppsförlopp, händelser som påverkar bränslebassängerna, händelser med samtidig utsläpp från flera reaktorer på samma kärnkraftverk samt händelser med väl fungerande konsekvenslindrande system.

### 6.1. Händelser med andra utsläppsförlopp

#### 6.1.1. Händelser med kort förvarningstid

Tiden från larm om en störning på kärnkraftverket till utsläpp som föranleder att skyddsåtgärder för allmänheten måste övervägas kallas förvarningstid. Förvarningstiden har en avgörande betydelse för möjligheten att hinna vidta skyddsåtgärder. Om förvarningstiden är kortare än några timmar blir t.ex. utrymning, även inom ett begränsat område nära kärnkraftverket, svår eller omöjlig att hinna genomföra i tid. Den dimensionerande händelsen utan konsekvenslindrande system motsvarar ett tänkt värsta fall med avseende på utsläppets storlek, men inte avseende förvarningstid. Det finns möjliga händelser med kortare förvarningstid. Sådana händelser påverkar dock inte dimensioneringen av beredskapszoner och planeringsavståndet eller de skyddsåtgärder som ska förberedas. Inträffar en sådan händelse måste istället en snabbare skyddsåtgärd med sämre effekt väljas istället för en långsammare skyddsåtgärd med bättre effekt, t.ex. inomhusvistelse istället för utrymning.

#### 6.1.2. Händelser med utdragna utsläppsförlopp

Varaktigheten i utsläppen för de dimensionerande händelserna som SSM fastställt är två dygn. Både Tjernobyli och Fukushima Daiichi visade att utsläppsförlopp kan bli betydligt mer långvariga. Sådana utsläppsförlopp blir dock inte gränssättande för utsträckningen av beredskapszoner eller planeringsavstånd, eftersom längre utsläppsförlopp betyder lägre utsläpp per tidsenhet givet att samma totala mängd radioaktiva ämnen släpps ut, vilket i sin tur leder till lägre doser. Utdragna utsläppsförlopp kan dock föranleda att skyddsåtgärden inomhusvistelse kan behöva avbrytas och ersättas med utrymning.

Vid ett utsläpp av radioaktiva ämnen från en kärnkraftsolycka är dosen till personer i omkringliggande områden beroende av den tid det tar innan frigjorda radioaktiva ämnen släpps ut (innehållstiden) och utsläppets förlopp, främst dess varaktighet. Tre olika mekanismer bidrar till att minska erhållna doser: de radioaktiva ämnenas avklingning före frisläppandet till omgivningen; avklingningen under ett utdraget utsläppsförlopp; fördelning av frisläppta radioaktiva ämnen över större områden till följd av variationer i vindriktningen. Den sistnämnda mekanismen kan dock leda till att fler personer påverkas av utsläppet.

Vid ett utsläpp från en kärnkraftreaktor frigörs en blandning av ett stort antal olika radioaktiva ämnen med halveringstider som varierar från mindre än en minut till många tiotals år eller mer. Stora delar av de mest kortlivade nukliderna försvinner innan utsläppet når omgivningen också vid förhållandevis korta innehållstider, några timmar eller mindre. Ju längre innehållstider som kan uppnås, desto mer minskar utsläppet av även de mer långlivade nukliderna. Vinsten avtar dock med allt längre innehållstider, men kan vara betydande i upp till ett antal veckor om detta skulle vara tekniskt möjligt.

Om utsläppet är kortvarigt kommer de radioaktiva ämnena i utsläppet att röra sig relativt väl sammanhållet. Om utsläppet i stället sker under en längre tid kommer de radioaktiva ämnena att fördelas över ett område som bestäms av hur vindriktning och vindstyrka varierar under just denna tid. Det går inte att generellt beräkna hur stor dosreduktion vindförändringar medför för en viss utsläppstid. Däremot gäller att längre utsläppstid genomsnittligt ger större utspridning på grund av vindvariationer för utsläpp som pågår upp till några veckor. För längre tider än så blir skillnaderna små.

Om utsläppet sker under en längre period samverkar vindens variationer och avklingningen under utsläppstiden till att minska persondoserna i omgivningen. Dosreduktionen blir större ju längre utsläppet pågår, men vinsten med att förlänga utsläppstiden utöver två till tre veckor är relativt liten.

## **6.2. Händelser som påverkar bränslebassängerna**

Kärnkraftsolyckan i Fukushima Daiichi var en påminnelse om att även bränslebassänger kan påverkas vid olyckor. Under haveriförloppet fanns en osäkerhet om tillståndet för bränslebassängen i reaktor nummer fyra och det rådde under ett tag en farhåga att det använda bränslet som förvarades där inte var täckt av vatten. SSM har därför genomfört en känslighetsanalys med utsläpp från bränslebassängerna. Eftersom bränslebassängerna, för både kok- och tryckvattenreaktorer, är placerade utanför reaktorinneslutningen kan händelser där kylningen av bränslebassängerna slås ut potentiellt leda till mycket omfattande utsläpp.

SSM har genomfört spridnings- och dosberäkningar för en händelse med förlust av kylning som leder till utsläpp från bränslebassängerna för de tre kärnkraftverken i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals. Med utgångspunkt från beräkningsresultaten har SSM analyserat behov av olika skyddsåtgärder för händelsen med förlust av kylning av bränslebassängerna samt bedömt hur väl förslagen på beredskapszoner och planeringsavstånd kan möta dessa behov.

### 6.2.1. Händelse

En händelse har beaktats i känslighetsanalysen med utsläpp från bränslebassängerna:

- **Händelse med förlust av kylning till bränslebassänger.** En händelse där vattnet i bränslebassängerna inte kan kylas vilket leder till att vattnet upphettas och kokar bort varefter bränslet upphettas.

Under normal drift och för de störningar som bränslebassängerna är konstruerade att hantera finns ett flertal system för kylning av bränslet. Skulle kylningen utebli och inga ytterligare förebyggande eller konsekvenslindrande åtgärder finnas tillgängliga leder bränslets resteffekt oundvikligen till att bränslet överhettas, skadas och slutligen smälter.

SSM har i detta arbete inte inkluderat övriga händelser som redovisas i säkerhetsredovisningen från tillståndshavarna. De konstruktionsgrundande händelserna, exempelvis bränslehanteringsmissöde, som ingår i säkerhetsredovisningen leder till små utsläpp och är inte relevanta att beakta ur beredskapssynpunkt.

### 6.2.2. Representativ källterm

SSM har baserat den representativa källtermen på uppgifter för reaktor 3 i Oskarshamns kärnkraftverk. Denna kärnkraftsreaktor har valts ut eftersom den har den högsta termiska effekten bland de svenska reaktorerna. SSM har utgått från det maximala antal bränsleelement som kan förvaras i bränslebassängen (egentligen flera bassänger), vilket motsvarar situationen vid en tankinspektion. Detta kan jämföras med vanliga bränslebyten då endast cirka en tredjedel av den maximala kapaciteten i bränslebassängerna utnyttjas. SSM har vidare utgått från att händelsen inleds direkt efter att urladdningen av samtliga bränsleelement vid en tankinspektion är färdig, drygt sex dygn efter reaktoravställning.

I Tabell 22 redovisas nuklider och totalt utsläppt aktivitet till atmosfären efter cirka tre dygn och i Tabell 23 ges en sammanfattning av tidsförloppet avseende begynnande bränsleskador och frigörelse av radioaktiva ämnen.

**Tabell 22.** Nuklider och totalt utsläppt aktivitet till atmosfären efter cirka tre dygn för händelsen med förlust av kylning till bränslebassängerna.

Utsläppsgrupp	Nuklid	Totalt utsläpp (Bq)
Ädelgaser	Kr-85	3,0E+16
	Xe-131m	3,0E+16
	Xe-133	2,0E+18
	Xe-133m	1,5E+16
	Xe-135	6,1E+11
Halogener	I-129	1,0E+11
	I-130	2,0E+11
	I-131	1,3E+18
	I-132	5,5E+17
	I-133	3,3E+15
Alkalimetaller	Rb-86	3,3E+15
	Cs-134	5,1E+17
	Cs-136	7,9E+16
	Cs-137	3,7E+17
Tellurgruppen	Te-125m	4,2E+15
	Te-127	6,1E+16
	Te-127m	2,9E+16
	Te-129	7,3E+16
	Te-129m	1,1E+17
	Te-131	5,4E+14
	Te-131m	2,4E+15
	Te-132	4,4E+17
Rutenium	Mo-99	5,0E+17
	Rh-103m	4,6E+12
	Rh-105	4,4E+10
	Ru-103	4,6E+12
	Ru-106	1,9E+12
	Tc-99m	4,9E+17

**Tabell 23.** Tidsförlopp avseende begynnande bränsleskador och frigörelse av radioaktiva ämnen för händelsen med förlust av kylning till bränslebassängerna.

Händelse	Tidsförlopp (timmar)
Bränslet börjar vattenavtäckas	~42
Initial vätgasproduktion	~55
Utsläpp startar	~56



### 6.2.3. Spridnings- och dosberäkningar

I detta avsnitt redovisas tabeller med de största avstånden där doskriterier och åtgärdsnivåer för olika skyddsåtgärder överskrids om 70, 80 och 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. I tabellerna anges också ett medelvärde för resultaten från de tre kärnkraftverken för respektive percentil. Alla resultat anges med två värdesiffror.

SSM har inte beräknat avstånd där tröskeldoser för allvarliga deterministiska effekter överskrids för händelserna med utsläpp från bränslebassängerna. Däremot har beräkningar genomförts för avstånd där 1 000 mSv effektiv dos överskrids. SSM vill understryka att de avstånd som beräknas på detta sätt både kan överskatta och underskatta avstånd där olika allvarliga deterministiska effekter kan förekomma. Dessa beräkningsresultat kan därför endast ge en indikation på inom vilka avstånd allvarliga deterministiska effekter kan förekomma [21]. I Tabell 24 redovisas resultat för händelsen med förlust av kylning.

**Tabell 24.** Största avstånd där 1 000 mSv effektiv dos överskrids för händelsen med förlust av kylning till bränslebassängerna om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	6,3	3,3	12	7,1
80	14	6,1	17	12
90	22	17	24	21
Barn				
70	13	3,3	15	11
80	17	12	20	16
90	24	20	29	24

SSM har använt doskriterierna 20 mSv respektive 100 mSv effektiv dos i syfte att definiera ungefärliga avstånd där utrymning bör förberedas. I Tabell 25 redovisas resultat för händelsen med förlust av kylning för doskriteriet 100 mSv effektiv dos. Doskriteriet 20 mSv effektiv dos överskrids på större avstånd än 500 km, dvs. det maximala avståndet i beräkningarna, även om endast 70 procent av alla förekommande väderfall beaktas, varför inga resultat redovisas för detta doskriterium.

**Tabell 25.** Största avstånd där doskriteriet 100 mSv effektiv dos överskrids för händelsen med förlust av kylning till bränslebassängerna om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	85	100	100	100
80	120	130	130	130
90	200	190	170	190
Barn				
70	100	120	120	110
80	140	150	140	140
90	220	200	190	200

SSM har använt doskriteriet 10 mSv effektiv dos i syfte att definiera ungefärliga avstånd där inomhusvistelse bör förberedas. Doskriteriet överskrids på större avstånd än 500 km, dvs. det maximala avståndet i beräkningarna, även om endast 70 procent av alla förekommande väderfall beaktas, varför inga resultat redovisas för detta doskriterium.

SSM har använt doskriteriet 50 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln i syfte att definiera ungefärliga avstånd där jodtabletter kan vara motiverade. Doskriteriet överskrids på större avstånd än 500 km, dvs. det maximala avståndet i beräkningarna, även om endast 70 procent av alla förekommande väderfall beaktas, varför inga resultat redovisas för detta doskriterium.

SSM har använt åtgärdsnivån 2 000 kBq/m<sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 i syfte att definiera ungefärliga avstånd där utrymning på grund av markbeläggning bör förberedas. Åtgärdsnivån överskrids på större avstånd än 500 km, dvs. det maximala avståndet i beräkningarna, även om endast 70 procent av alla förekommande väderfall beaktas, varför inga resultat redovisas för detta doskriterium.

I analyserna av utsläpp från bränslebassängerna har en ytterligare åtgärdsnivå på 10 000 kBq/m<sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 lagts till. Detta motsvarar en tillskottsdos på 100 mSv effektiv dos under ett år från markbeläggningen. I Tabell 26 redovisas de största avstånden där åtgärdsnivån för händelsen med förlust av kylning till bränslebassängerna överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

**Tabell 26.** Största avstånd där åtgärdsnivån 10 000 kBq/m<sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 överskrids för händelsen med förlust av kylning om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
70	360	130	290	260
80	440	230	370	350
90	>500	350	463	- <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eftersom beräkningsområdet överskridits för Forsmark kan inget medelvärde beräknas.

#### 6.2.4. Analys

För händelsen med förlust av kylning till bränslebassängerna skulle en förebyggande utrymning i förväntad vindriktning ut till cirka 25 km vara tillräcklig för att kraftigt minska sannolikheten för allvarliga deterministiska effekter. För denna händelse startar utsläppet efter 56 timmar, varför de delar av yttre beredskapszonen som ligger i förväntad vindriktning bör kunna utrymmas innan utsläppet startar. Det är därför rimligt att anta att allvarliga deterministiska effekter kan undvikas med den av SSM föreslagna beredskapsplaneringen.

För händelsen med förlust av kylning till bränslebassängerna skulle en utrymning i förväntad vindriktning på avstånd större än 100 km kunna vara motiverad i syfte att utesluta effektiva doser över 100 mSv. SSM menar trots detta att en detaljerad utrymningsplanering utanför yttre beredskapszonen inte är rimlig. Dels är det svårt att förutsäga vilka områden som kan komma att påverkas på större avstånd och dels är det praktiskt svårt, även under goda yttre omständigheter, att genomföra utrymning av så pass stora områden. Ju större områden som ska utrymmas desto mer ökar risken för negativa konsekvenser till följd av utrymningen. Ett bättre alternativ är då inomhusvistelse, vilket SSM menar är genomförbart både på stora avstånd och i stora områden. För händelsen med förlust av kylning till bränslebassängerna finns dessutom tid att genomföra inomhusvistelse i lokaler som erbjuder bättre skydd än i ett småhus även på större avstånd, vilket kraftigt skulle minska sannolikheten för effektiva doser över 100 mSv. En förstärkt planering för utrymning före ett utsläpp, utanför yttre beredskapszonen, ger därför endast en begränsad förmågeökning i förhållande till kostnaderna att upprätthålla planeringen och möjligheterna att genomföra en sådan utrymning.

För händelsen med förlust av kylning till bränslebassängerna skulle utrymning på grund av markbeläggningen kunna vara motiverad på avstånd större än 500 km. Enligt SSM:s förslag ska utrymning på grund av markbeläggning, och tillhörande strålningsmätning, förberedas inom planeringsavståndet, dvs. ut till 100 km. SSM menar dock att den föreslagna dimensioneringen av förmågan till strålningsmätning är tillräcklig. Dels ska de mätresurser som SSM föreslår kunna användas på större avstånd än planeringsavståndet och dels kan mätresurser från övriga kärnkraftslän användas i berörda områden på större avstånd. Detta gäller i synnerhet som SSM också föreslår att

strålningsmätning ska ske med en mer flexibel metod jämfört med idag där den nya metoden medger att områdena som ska mätas definieras under händelsen.

För händelsen med förlust av kylning till bränslebassängerna skulle inomhusvistelse kunna vara motiverad på avstånd större än 500 km. Eftersom det är svårt att förutsäga vilka områden som kan komma att påverkas på stora avstånd ger en förstärkt planering för hantering av utdragen inomhusvistelse utanför planeringsavståndet endast en liten förmågeökning i förhållande till kostnaderna att upprätthålla en sådan planering. SSM menar därför att den ordinarie planeringen för inomhusvistelse via VMA är godtagbar utanför planeringsavståndet.

För händelsen med förlust av kylning till bränslebassängerna skulle jodtabletter kunna vara motiverade på avstånd större än 500 km. Eftersom det är svårt att förutsäga vilka områden som kan komma att påverkas på stora avstånd ger en förstärkt planering för jodtabletter utanför planeringsavståndet endast en liten förmågeökning i förhållande till kostnaderna att upprätthålla en sådan planering. SSM menar därför att den föreslagna planeringen för jodtabletter är godtagbar.

Händelsen med förlust av kylning till bränslebassängerna i känslighetsanalysen motsvarar ett tänkt värsta fall med avseende på utsläppets storlek, men inte avseende förvarningstid. Det finns möjliga händelser med utsläpp från bränslebassängerna som har kortare förvarningstid. Sådana händelser påverkar dock inte heller utformningen av beredskapszoner eller planeringsavstånd eftersom det är samma skyddsåtgärder som ska förberedas. Inträffar en sådan händelse måste istället en snabbare skyddsåtgärd med sämre effekt väljas istället för en långsammare skyddsåtgärd med bättre effekt, t.ex. inomhusvistelse istället för utrymning.

### **Slutsats**

SSM menar sammanfattningsvis att förslagen på utsträckning av inre beredskapszonen på cirka 5 km, yttre beredskapszonen på cirka 25 km och planeringsavståndet på 100 km samt förberedelserna för inomhusvistelse och jodtabletter är rimliga även om händelsen med förlust av kylning av bränslebassängerna beaktas. Skälet till ställningstagandet är att förslagen redan tar höjd för att utökade skyddsåtgärder ska kunna vidtas så långt det är möjligt.

## **6.3. Händelser med samtidiga utsläpp från flera reaktorer**

Kärnkraftsolyckan i Fukushima Daiichi var en påminnelse om att flera reaktorer på ett kärnkraftverk kan drabbas av ett svårt haveri samtidigt. SSM anser därför att det finns anledning att genomföra en känslighetsanalys där det totala utsläppet från de olika representativa källtermerna skalas beroende på antal reaktorer på kärnkraftverket. Sker utsläppen i stort sett samtidigt från flera reaktorer påverkas både avståndet där skyddsåtgärder kan behöva vidtas

i samband med utsläppet och storleken på områden där skyddsåtgärder kan behöva vidtas på grund av den markbeläggning som nedfallet ger upphov till. Sker utsläppen däremot vid olika tidpunkter påverkas i första hand storleken på områden där skyddsåtgärder kan behöva vidtas på grund av den markbeläggning som nedfallet ger upphov till.

SSM har genomfört spridnings- och dosberäkningar för de tre kärnkraftverken i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals där utsläpp sker samtidigt från en, två eller tre reaktorer för de dimensionerande händelserna med och utan fungerande konsekvenslindrande system. Skälet till att SSM inte tagit fram resultat för simultana utsläpp från fyra reaktorer är att när förslagen på beredskapszoner och ett planeringsavstånd tidigast kan träda i kraft, kommer det inte finnas något kärnkraftverk med fler än tre reaktorer i drift i Sverige. Med utgångspunkt från beräkningsresultaten har SSM analyserat behov av olika skyddsåtgärder vid samtidigt utsläpp från flera reaktorer samt bedömt hur väl förslagen på beredskapszoner och planeringsavstånd kan möta dessa behov.

### 6.3.1. Händelser och representativa källtermer

SSM har genomfört känslighetsstudien där utsläpp sker samtidigt från flera reaktorer på ett kärnkraftverk genom att dela doskriterierna för olika skyddsåtgärder med två respektive tre. De största avstånden för olika skyddsåtgärder som beräknas på detta sätt kommer att gälla för utsläpp som är två respektive tre gånger större jämfört med utsläppet från en kärnkraftsreaktor eftersom stråldosen i en viss punkt är proportionell mot storleken på utsläppet. Detta innebär att varken nya händelser eller nya representativa källtermer har behövt tas fram för att kunna genomföra känslighetsanalysen.

### 6.3.2. Spridnings- och dosberäkningar

I detta avsnitt redovisas tabeller med de största avstånden där doskriterier och åtgärdsnivåer för olika skyddsåtgärder överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. I tabellerna anges också ett medelvärde för resultaten från de tre kärnkraftverken för respektive percentil. Alla resultat anges med två värdesiffror.

SSM har inte beräknat avstånd där tröskeldoser för allvarliga deterministiska effekter överskrids för händelserna med simultana utsläpp från en, två och tre reaktorer. Däremot har beräkningar genomförts för avstånd där 1 000 mSv effektiv dos överskrids. SSM vill understryka att de avstånd som beräknas på detta sätt både kan överskatta och underskatta avstånd där olika allvarliga deterministiska effekter kan förekomma. Dessa beräkningsresultat kan därför endast ge en indikation på inom vilka avstånd allvarliga deterministiska effekter kan förekomma [21]. I Tabell 27 redovisas resultat vid utsläpp från en, två och tre reaktorer för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system och i Tabell 28 redovisas motsvarande resultat för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system.

**Tabell 27.** Största avstånd där 1 000 mSv effektiv dos överskrids för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	1 reaktor (km)	2 reaktorer (km)	3 reaktorer (km)
Vuxna			
70	2,0	3,3	4,6
80	2,6	4,4	7,0
90	4,0	7,3	11
Barn			
70	3,1	4,8	7,4
80	4,2	6,7	10
90	6,0	11	16

**Tabell 28.** Största avstånd där 1 000 mSv effektiv dos överskrids för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	1 reaktor (km)	2 reaktorer (km)	3 reaktorer (km)
Vuxna			
70	0,1	0,3	0,6
80	0,2	0,4	0,6
90	0,3	0,5	0,8
Barn			
70	0,1	0,4	0,6
80	0,2	0,4	0,6
90	0,3	0,6	0,8

SSM har använt doskriterierna 20 mSv respektive 100 mSv effektiv dos i syfte att definiera ungefärliga avstånd där utrymning bör förberedas. I Tabell 29 respektive Tabell 30 redovisas resultat vid utsläpp från en, två och tre reaktorer för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system för doskriteriet 100 mSv respektive 20 mSv effektiv dos. I Tabell 31 respektive Tabell 32 redovisas motsvarande resultat för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system.

**Tabell 29.** Största avstånd där doskriteriet 100 mSv effektiv dos överskrids för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	1 reaktor (km)	2 reaktorer (km)	3 reaktorer (km)
Vuxna			
70	17	23	33
80	22	33	43
90	32	45	67
Barn			
70	22	33	45
80	29	43	59
90	40	60	84

**Tabell 30.** Största avstånd där doskriteriet 20 mSv effektiv dos överskrids för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	1 reaktor (km)	2 reaktorer (km)	3 reaktorer (km)
Vuxna			
70	54	100	130
80	75	130	160
90	100	180	240
Barn			
70	75	120	150
80	94	150	190
90	120	200	270

**Tabell 31.** Största avstånd där doskriteriet 100 mSv effektiv dos överskrids för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	1 reaktor (km)	2 reaktorer (km)	3 reaktorer (km)
Vuxna			
70	1,4	2,3	2,7
80	1,7	2,7	3,5
90	2,1	3,9	4,9
Barn			
70	1,5	2,4	2,9
80	1,8	2,9	3,7
90	2,2	4,1	5,3

**Tabell 32.** Största avstånd där doskriteriet 20 mSv effektiv dos överskrids för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	1 reaktor (km)	2 reaktorer (km)	3 reaktorer (km)
Vuxna			
70	4,3	6,7	10
80	5,4	9,2	13
90	7,9	15	20
Barn			
70	4,5	7,3	10
80	5,6	9,6	14
90	8,5	16	21

SSM har använt doskriteriet 10 mSv effektiv dos i syfte att definiera ungefärliga avstånd där inomhusvistelse bör förberedas. I Tabell 33 respektive Tabell 34 redovisas resultat vid utsläpp från en, två och tre reaktorer för de dimensionerande händelserna utan respektive med fungerande konsekvenslindrande system.

**Tabell 33.** Största avstånd där doskriteriet 10 mSv effektiv dos överskrids för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	1 reaktor (km)	2 reaktorer (km)	3 reaktorer (km)
Vuxna			
70	100	150	200
80	130	200	260
90	180	280	340
Barn			
70	120	180	230
80	150	240	290
90	200	310	360



**Tabell 34.** Största avstånd där doskriteriet 10 mSv effektiv dos överskrids för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	1 reaktor (km)	2 reaktorer (km)	3 reaktorer (km)
Vuxna			
70	6,7	13	18
80	9,2	17	22
90	15	24	32
Barn			
70	7,3	13	18
80	9,6	18	24
90	16	25	33

### 6.3.3. Analys

#### **Analys för utsläpp vid samtida händelser utan fungerande konsekvenslindrande system**

Vid ett samtidigt utsläpp från tre reaktorer utan fungerande konsekvenslindrande system är en förebyggande utrymning av drygt halva yttre beredskapszonen i förväntad vindriktning tillräcklig för att kraftigt minska sannolikheten för allvarliga deterministiska effekter. SSM anser därför att den utrymningsplanering som SSM föreslagit, där utrymning av yttre beredskapszonen bör kunna ske i flera steg, ger rimliga möjligheter till att allvarliga deterministiska effekter kan undvikas även vid samtida utsläpp från tre reaktorer utan fungerande konsekvenslindrande system.

Vid samtida utsläpp från tre reaktorer utan fungerande konsekvenslindrande system skulle en utrymning i förväntad vindriktning kunna vara motiverad ut till drygt 80 km i syfte att undvika doser över 100 mSv effektiv dos. SSM menar trots detta att en detaljerad utrymningsplanering utanför yttre beredskapszonen inte är rimlig. Dels är det svårt att förutsäga vilka områden som kan komma att påverkas på större avstånd och dels är det praktiskt svårt, även under goda yttre omständigheter, att genomföra utrymning av så pass stora områden. Ju större områden som ska utrymmas desto mer ökar risken för negativa konsekvenser till följd av utrymningen. Ett bättre alternativ är då inomhusvistelse, vilket SSM menar är genomförbart både på stora avstånd och i stora områden. En förstärkt planering för utrymning före ett utsläpp, utanför yttre beredskapszonen, ger därför endast en begränsad förmågeökning i förhållande till kostnaderna att upprätthålla planeringen och möjligheterna att genomföra en sådan utrymning.

Vid ett samtidigt utsläpp från tre reaktorer utan fungerande konsekvenslindrande system skulle inomhusvistelse kunna vara motiverad ut till 350 km. Eftersom det är svårt att förutsäga vilka områden som kan komma att påverkas på stora avstånd ger en förstärkt planering för att hantera en

utdragen inomhusvistelse utanför planeringsavståndet endast en liten förmågeökning i förhållande till kostnaderna att upprätthålla en sådan planering. SSM menar därför att den ordinarie planeringen för inomhusvistelse via VMA är tillräcklig utanför planeringsavståndet.

### **Analys för utsläpp vid samtida händelser med fungerande konsekvenslindrande system**

Vid ett samtidigt utsläpp från tre reaktorer med fungerande konsekvenslindrande system är en förebyggande utrymning av inre beredskapszonen med god marginal tillräcklig för att allvarliga deterministiska effekter ska kunna uteslutas. En förebyggande utrymning av inre beredskapszonen är också tillräcklig för att med stor sannolikhet utesluta effektiva doser över 100 mSv. En utrymning av yttre beredskapszonen skulle dessutom med god marginal vara tillräcklig för att kunna utesluta effektiva doser över 20 mSv. Inomhusvistelse i hela yttre beredskapszonen som berörs av utsläppet skulle vara motiverad, medan inomhusvistelse på större avstånd inom planeringsavståndet sannolikt inte är motiverad.

### **Slutsats**

SSM menar sammanfattningsvis att förslagen på utsträckning av inre beredskapszonen på cirka 5 km och yttre beredskapszonen på cirka 25 km samt förberedelserna för inomhusvistelse är rimliga även om samtida utsläpp från två eller tre reaktorer utan fungerande konsekvenslindrande system beaktas. Skälet till ställningstagandet är att förslagen redan tar höjd för att utökade skyddsåtgärder ska kunna vidtas så långt det är möjligt givet omständigheterna. Vid samtida utsläpp från två eller tre reaktorer med fungerande konsekvenslindrande system är förslagen på utsträckning av beredskapszonerna och förberedelserna för inomhusvistelse med god marginal tillräckliga.

## **6.4. Händelse med väl fungerande konsekvenslindrande system**

De konsekvenslindrande systemen fungerar enligt analyser från tillståndshavarna till de svenska kärnkraftverken betydligt bättre än kraven som fastställts av regeringen. SSM anser att det finns skäl att genomföra en känslighetsanalys där de konsekvenslindrande systemen antas fungera väl, eftersom utsläppen då blir lägre än de som redovisas för den dimensionerade händelsen med fungerande konsekvenslindrande system. SSM bedömer att det tidigt i en händelse bör gå att avgöra om de konsekvenslindrande systemen fungerar väl, och att denna information är viktig för räddningsledaren inför beslut om lämpliga skyddsåtgärder.

SSM har fastställt en händelse och en representativ källterm enligt samma metod som för de dimensionerande händelserna. SSM har därefter genomfört spridnings- och dosberäkningar för de tre kärnkraftverken Forsmark, Oskarshamn och Ringhals. Med utgångspunkt från beräkningsresultaten har SSM analyserat behov av olika skyddsåtgärder för händelsen med väl

fungerande konsekvenslindrande system samt bedömt hur väl förslagen på beredskapszoner och planeringsavstånd kan möta dessa behov.

#### 6.4.1. Händelse

En händelse med väl fungerande konsekvenslindrande system har beaktats i känslighetsanalysen:

- **Händelse med väl fungerande konsekvenslindrande system.**  
En händelse som representerar ett svårt haveri med härdsälta, tankgenomsmltning och utsläpp via haverifilter där de konsekvenslindrande systemen fungerar full ut.

Händelsen utgår, liksom de dimensionerande händelserna, från den postulerade händelsen för designsekvensen i Säkerhetsredovisningen (SAR) från kärnkraftverken [1]. Sprinkling får dock tillgodoräknas efter en realistisk tid samtidigt som haverifiltret antas fungera enligt validerande experiment. Även andra realistiska antaganden har tillgodoräknats, exempelvis kring resteffekt.

#### 6.4.2. Representativ källterm

Den representativa källtermen för händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system har tagits fram enligt samma metod som de representativa källtermerna till de två dimensionerande händelserna, se kapitel 3. På samma sätt som för dimensionerande händelserna antar SSM att utsläppet pågår i 48 timmar för händelsen med väl fungerande utsläpps begränsande system. I Tabell 35 redovisas totalt utsläppt aktivitet till atmosfären per nuklid för händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system. Som jämförelse redovisas också totalt utsläppt aktivitet till atmosfären per nuklid för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system.

SSM har använt samma resonemang angående fördelningen av jodformer i utsläppet för händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system som för de två dimensionerande händelserna, se avsnitt 3.3.2. För denna händelse utgår dock SSM från att fördelningen av jodformer i reaktorinneslutningen motsvarar det realistiska scenariot i rapporten från Vattenfall AB [14]. Detta innebär att fördelning av jodformer i de representativa källtermerna ansätts enligt Tabell 36.

SSM har i beräkningarna för känslighetsanalysen med väl fungerande konsekvenslindrande system antagit att utsläppshöjden motsvarar höjden på skorstenen till haverifiltret, dvs. 27 m för kärnkraftverken i Oskarshamn och Forsmark samt 48 m för kärnkraftverket i Ringhals. SSM har vidare, på samma sätt som för de båda dimensionerande händelserna, satt värmeinnehållet i utsläppet till noll. SSM har slutligen satt den kortast möjliga förvarningstiden till 27 timmar baserat på resultat från beräkningar av utsläppsförlopp med MELCOR för reaktor 4 på Ringhals kärnkraftverk.

**Tabell 35.** Totalt utsläppt aktivitet till atmosfären per nuklid för händelserna med väl fungerande och fungerande konsekvenslindrande system.

<b>Utsläppsgrupp</b>	<b>Nuklid</b>	<b>Väl fungerande konsekvenslindrande system (Bq)</b>	<b>Fungerande konsekvenslindrande system (Bq)</b>
Ädelgaser	Kr-85m	6,6E+15	1,7E+17
	Kr-87	2,0E+11	2,2E+16
	Kr-88	1,4E+15	2,4E+17
	Xe-133	5,1E+18	5,4E+18
	Xe-133m	1,5E+17	1,7E+17
	Xe-135	9,5E+17	2,2E+18
	Xe-135m	3,8E+16	3,4E+17
Halogener	I-130	1,8E+12	1,2E+13
	I-131	4,4E+14	1,2E+15
	I-132	5,4E+14	1,6E+15
	I-133	3,6E+14	1,6E+15
	I-134	6,5E+05	5,7E+12
	I-135	3,7E+13	6,1E+14
Alkalimetaller	Rb-88	1,1E+09	2,9E+13
	Cs-134	7,8E+12	1,1E+14
	Cs-136	1,7E+12	2,4E+13
	Cs-137	5,6E+12	7,8E+13
Tellurgruppen	Sb-127	1,3E+09	1,4E+12
	Te-127m	1,0E+10	5,5E+12
	Te-129m	4,6E+10	2,5E+13
	Te-131m	7,0E+10	6,2E+13
	Te-132	8,2E+11	5,3E+14
Ba och Sr	Sr-89	2,2E+09	1,9E+12
	Sr-90	2,2E+08	1,8E+11
	Ba-140	3,9E+09	3,4E+12
Ädelmetaller	Mo-99	9,6E+03	4,2E+12
	Tc-99m	9,3E+03	4,0E+12
Lantanider	Cm-242	2,0E+05	3,5E+08
	Cm-244	2,6E+04	4,6E+07

**Tabell 36.** Fördelning av jodformer i reaktorinneslutning och utsläpp för händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system (med DF avses dekontaminationsfaktor).

Jodformer	Reaktorinneslutning (%)	Utsläpp (%)
Väl fungerande konsekvenslindrande system (Oskarshamn och Forsmark, DF500)		
Organisk	0,01	4,76
Elementär	4,99	4,76
Partikulär	95	90,48
Väl fungerande konsekvenslindrande system (Ringhals, DF1500)		
Organisk	0,01	13,04
Elementär	4,99	4,34
Partikulär	95	82,62

### 6.4.3. Spridnings- och dosberäkningar

I detta avsnitt redovisas tabeller med de största avstånden där doskriterier och åtgärdsnivåer för olika skyddsåtgärder överskrids om 70, 80 och 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. I tabellerna anges också ett medelvärde för resultaten från de tre kärnkraftverken för respektive percentil. Alla resultat anges med två värdesiffror.

SSM har inte beräknat avstånd där tröskeldoser för allvarliga deterministiska effekter överskrids för händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system. SSM har däremot beräknat avstånd där 1 000 mSv effektiv dos överskrids. SSM vill understryka att de avstånd som beräknas på detta sätt kan både överskatta och underskatta avstånd där olika allvarliga deterministiska effekter kan förekomma. Dessa beräkningsresultat kan därför endast ge en indikation på inom vilka avstånd allvarliga deterministiska effekter kan förekomma [21]. Resultaten visar att 1 000 mSv effektiv dos inte överskrids utanför staketgränsen kring kärnkraftverken (dvs. 500 m från utsläppspunkten) varken för vuxna eller barn, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

SSM har använt doskriterierna 20 mSv respektive 100 mSv effektiv dos i syfte att definiera ungefärliga avstånd där utrymning bör förberedas. I Tabell 37 och Tabell 38 redovisas resultat för dessa doskriterier för händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system.

**Tabell 37.** Största avstånd där doskriteriet 20 mSv effektiv dos överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	2,5	1,9	1,8	2,1
80	2,8	2,3	2,2	2,4
90	3,8	3,2	2,9	3,3
Barn				
70	2,5	2,0	1,8	2,1
80	2,9	2,5	2,3	2,6
90	4,0	3,5	3,1	3,5

**Tabell 38.** Största avstånd där doskriteriet 100 mSv effektiv dos överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	0,7	0,5	0,5	0,6
80	0,8	0,7	0,7	0,7
90	1,1	0,7	0,8	0,9
Barn				
70	0,8	0,5	0,6	0,6
80	0,8	0,7	0,7	0,7
90	1,2	0,7	0,8	0,9

SSM har använt åtgärdsnivån på 2 000 kBq/m<sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 i syfte att definiera ungefärliga avstånd där utrymning på grund av markbeläggningen bör förberedas. För händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system överskrids inte denna åtgärdsnivå, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

SSM har använt doskriteriet 10 mSv effektiv dos i syfte att definiera ungefärliga avstånd där inomhusvistelse bör förberedas. I Tabell 39 redovisas resultat för detta doskriterium för händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system.

**Tabell 39.** Största avstånd där doskriteriet 10 mSv effektiv dos överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	3,2	3,0	2,7	3,0
80	4,2	3,7	3,5	3,8
90	6,4	4,9	5,1	5,5
Barn				
70	3,3	3,3	2,9	3,2
80	4,4	4,0	3,7	4,0
90	6,8	5,0	5,3	5,7

SSM har använt doskriteriet 50 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln i syfte att definiera ungefärliga avstånd där jodtabletter kan vara motiverade. I Tabell 40 redovisas resultat för detta doskriterium för händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system. SSM redovisar dessutom resultat för doskriteriet 10 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln för barn och gravida, eftersom detta kan ge information om inom vilka avstånd förhandsutdelade jodtabletter bör intas, se Tabell 41.

**Tabell 40.** Största avstånd där doskriteriet 50 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	1,7	1,0	1,0	1,2
80	2,3	1,2	1,2	1,6
90	2,5	1,6	1,3	1,8
Barn				
70	2,5	2,0	1,8	2,1
80	3,0	2,5	2,2	2,6
90	4,5	3,8	2,9	3,7

**Tabell 41.** Största avstånd där doskriteriet 10 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln för barn överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Barn				
70	6,7	5,0	6,7	6,1
80	8,6	6,7	9,8	8,4
90	17	12	15	15

För händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system har SSM också beräknat de största avstånden där dosgränsen för allmänheten på 1 mSv effektiv dos överskrids, se Tabell 42.

**Tabell 42.** Största avstånd där dosgränsen för allmänheten på 1 mSv effektiv dos överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	Forsmark (km)	Oskarshamn (km)	Ringhals (km)	Medelvärde (km)
Vuxna				
70	19	15	20	18
80	24	22	25	23
90	34	34	38	35
Barn				
70	20	17	21	19
80	25	23	26	25
90	36	36	40	37

#### 6.4.4. Analys

SSM menar att förebyggande utrymning av inre beredskapszonen ska genomföras även om de konsekvenslindrande systemen kan antas fungera väl. Skälet till detta ställningstagande är att allvarliga olyckor ofta präglas av stora osäkerheter och att förebyggande utrymning av inre beredskapszonen fortfarande är en rimlig försiktighetsåtgärd, för den händelse att situationen snabbt skulle förvärras. Någon ytterligare utrymning är dock inte motiverad om de konsekvenslindrande systemen kan antas fungera väl. Däremot kan inomhusvistelse vara motiverad i de delar av yttre beredskapszonen som kan förväntas beröras av utsläppet. Intag av jodtabletter kan också vara motiverat ut till cirka halva utsträckning av yttre beredskapszonen i de delar som kan förväntas beröras av utsläppet. Någon markbeläggning som medför att de som utrymmer från inre beredskapszonen är förhindrade att återvända när utsläppet upphört uppstår inte. Utanför yttre beredskapszonen är det mycket osannolikt att skyddsåtgärder för allmänheten skulle vara berättigade.



SSM:s förslag på utsträckning av inre beredskapszonen på cirka 5 km och yttre beredskapszonen på cirka 25 km är med god marginal tillräckliga för händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system.

## 7. Dos efter skyddsåtgärder

SSM har beräknat de högsta stråldoserna som allmänheten kan erhålla under förutsättning att de skyddsåtgärder som SSM föreslår ska förberedas inom beredskapszoner och planeringsavstånd kan genomföras. Syftet med beräkningarna är att visa om förslagen på förberedda skyddsåtgärder möjliggör att allvarliga deterministiska effekter kan undvikas och att valda referensnivåer kan underskridas. SSM redovisar i detta kapitel resultat för de dimensionerande händelserna med och utan fungerande konsekvenslindrande system. Som jämförelse redovisar SSM också resultat för händelsen i känslighetsanalysen med väl fungerande konsekvenslindrande system.

### 7.1. Beräkning av dos efter skyddsåtgärder

SSM använder referensnivån 100 mSv effektiv dos för den dimensionerande händelsen utan fungerade konsekvenslindrande system och referensnivån 20 mSv effektiv dos för den dimensionerade händelsen med fungerande konsekvenslindrande system som utgångspunkt för förslaget till utsträckning av beredskapszonerna och planeringsavståndet. Referensnivåerna anger en målsättning för den högsta dos som en representativ person ska erhålla givet att planerade skyddsåtgärder kan genomföras. Vilka skyddsåtgärder som faktiskt kan vidtas i en radiologisk nödsituation beror på omständigheterna under händelsen. Planering för skyddsåtgärder ska dock möjliggöra att valda referensnivåer kan underskridas.

Referensnivåer kan inte användas direkt i beredskapsplaneringen. SSM har därför fastställt doskriterier för respektive skyddsåtgärd och använt dessa i spridnings- och dosberäkningarna. Doskriterierna gäller för en oskyddad person under sju dygn och är fastställda för båda referensnivåerna på 20 och 100 mSv effektiv dos. Att beräkna dosen till en oskyddad person som vistas utomhus under de första sju dyggen efter utsläppets start är ett konservativt antagande, men syftet är att omfatta också de personer som råkar befinna sig utomhus när det radioaktiva molnet passerar eftersom en betydande del av dosen då kan erhållas. Avståndsfordelningar framtagna med respektive doskriterium ligger till grund för SSM:s resonemang om på vilka avstånd olika skyddsåtgärder bör förberedas.

För att kontrollera om den planering som SSM föreslår möjliggör att valda referensnivåer kan underskridas, har SSM genomfört beräkningar av stråldoser givet att olika kombinationer av skyddsåtgärder vidtas. För områden som utryms antar SSM att den effektiva dosen efter vidtagna skyddsåtgärder blir noll, vilket gäller om utrymningen genomförs innan utsläppet startat och om den sker till en plats som inte påverkas av utsläppet. SSM har antagit att detta gäller inom inre beredskapszonen, dvs. ut till cirka 5 km. SSM har vidare antagit att detta kan gälla för delar av yttre beredskapszonen om dessa utryms, dvs. ut till cirka 25 km beroende på omständigheterna under händelsen. I yttre beredskapszonen liksom inom planeringsavståndet har SSM slutligen antagit att inomhusvistelse alltid går att genomföra.

Inomhusvistelse erbjuder ett skydd för extern exponering från moln och mark liksom för intern exponering från inandning av radioaktiva ämnen. I ett småhus antar SSM att inomhusvistelse minskar stråldoserna till hälften jämfört med oskyddad vistelse utomhus. SSM har också undersökt effekterna av inomhusvistelse i lokaler som erbjuder bättre skydd, t.ex. källarplan i ett småhus eller flerbostadshus med filtrerad ventilation. Syftet är att ta reda på i vilken utsträckning inomhusvistelse i sådana lokaler kan utgöra ett alternativ till utrymning. SSM bedömer att inomhusvistelse i lokaler med bättre skydd kan minska stråldoserna till en tiondel.

SSM föreslår också ett antal övergripande mål som ska ligga till grund för förslaget på beredkapszoner. Det mest prioriterade målet av dessa är att allvarliga deterministiska effekter kan undvikas. SSM har därför definierat tröskeldoser för tre sådana effekter som SSM bedömt vara gränssättande, dvs. som inträffar vid lägst exponering. För att kontrollera om den planering som SSM föreslår möjliggör att dessa effekter kan undvikas, har SSM genomfört beräkningar av avstånd där tröskeldoser överskrids givet att olika kombinationer av skyddsåtgärder vidtas enligt samma metod som beskrivits ovan.

## **7.2. Spridnings- och dosberäkningar**

SSM redovisar i detta avsnitt tabeller med de största avstånden där tröskeldoser för allvarliga deterministiska effekter samt doskriterier för skyddsåtgärder överskrids om 70, 80 och 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas givet antagande om inomhusvistelse i lokaler som erbjuder olika grader av skydd (skyddsfaktorer). Resultaten redovisas i form av medelvärden för de tre kärnkraftverken Forsmark, Oskarshamn och Ringhals. Alla resultat anges med två värdesiffror.

### **7.2.1. Allvarliga deterministiska effekter**

I Tabell 43 redovisas avstånd där tröskeldoser för allvarliga deterministiska effekter överskrids efter sju dygn vid inomhusvistelse med skyddsfaktorn 0,5 för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system. I Tabell 44 redovisas motsvarande resultat för händelsen med fungerande konsekvenslindrande system. Tröskeldoserna överskrids inte för händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system, varför inga resultat presenteras för denna händelse.

**Tabell 43.** Största avstånd där tröskeldoser för allvarliga deterministiska effekter överskrids efter sju dygn vid inomhusvistelse med skyddsfaktorn 0,5 för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	1 000 mGy röd benmärg vuxna (km)	1 000 mGy röd benmärg barn (km)	100 mGy embryot (km)	300 mGy fostret (hjärna) (km)
70	0,9	0,7	3,8	1,5
80	1,1	0,8	5,0	1,9
90	1,4	1,1	7,4	2,9

**Tabell 44.** Största avstånd där tröskeldoser för allvarliga deterministiska effekter överskrids efter sju dygn vid inomhusvistelse med skyddsfaktorn 0,5 för händelsen med fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	1 000 mGy röd benmärg vuxna (km)	1 000 mGy röd benmärg barn (km)	100 mGy embryot (km)	300 mGy fostret (hjärna) (km)
70	-	-	0,6	-
80	-	-	0,7	0,3
90	-	-	1,0	0,4

### 7.2.2. Stokastiska effekter

I Tabell 45 redovisas avstånd där ett urval av olika effektiva doser överskrids efter sju dygn vid inomhusvistelse med skyddsfaktorn 0,5 för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system. I Tabell 46 redovisas motsvarande resultat för händelsen med fungerande konsekvenslindrande system och i Tabell 47 för händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system. I Tabell 48 redovisas dessutom avstånd där olika effektiva doser överskrids efter sju dygn vid inomhusvistelse med skyddsfaktorn 0,1 för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system. SSM har endast valt att genomföra dessa beräkningar för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system eftersom inomhusvistelse i lokaler som erbjuder bättre skydd än ett småhus har störst betydelse för denna händelse.

**Tabell 45.** Största avstånd där olika effektiva doser överskrids efter sju dygn vid inomhusvistelse med skyddsfaktorn 0,5 för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	500 mSv (km)	100 mSv (km)	50 mSv (km)
Vuxna			
70	2,0	8,6	17
80	2,6	12	22
90	4,0	17	32
Barn			
70	3,1	12	22
80	4,2	16	29
90	6,0	23	40

**Tabell 46.** Största avstånd där olika effektiva doser överskrids efter sju dygn vid inomhusvistelse med skyddsfaktorn 0,5 för händelsen med fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	20 mSv (km)	5 mSv (km)	2,5 mSv (km)
Vuxna			
70	2,4	6,7	13
80	2,9	9,2	17
90	4,1	15	24
Barn			
70	2,5	7,3	13
80	3,1	9,6	18
90	4,3	16	25

**Tabell 47.** Största avstånd där olika effektiva doser överskrids efter sju dygn vid inomhusvistelse med skyddsfaktorn 0,5 för händelsen i känslighetsanalysen med väl fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	5 mSv (km)	2,5 mSv (km)	0,5 mSv (km)
Vuxna			
70	3,0	4,9	18
80	3,8	6,1	23
90	5,5	10	35
Barn			
70	3,2	5,0	19
80	4,0	6,1	25
90	5,7	11	37

**Tabell 48.** Största avstånd där olika effektiva doser överskrids efter sju dygn vid inomhusvistelse med skyddsfaktorn 0,1 för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

Percentil	100 mSv (km)	20 mSv (km)	10 mSv (km)
Vuxna			
70	2,0	8,6	17
80	2,6	12	22
90	4,0	17	32
Barn			
70	3,1	12	22
80	4,2	16	29
90	6,0	23	40

## 7.3. Analys

### 7.3.1. Möjlighet att undvika allvarliga deterministiska effekter

För händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system är allvarliga deterministiska effekter osannolika om den inre beredskapszonen utryms före ett utsläpp samtidigt som inomhusvistelse rekommenderas (och genomförs) i de delar av yttre beredskapszonen som berörs av utsläppet. Dock kan det inte helt uteslutas att tröskeldosen 100 mGy för ett embryo överskrids.

För händelsen med fungerande konsekvenslindrande system kan allvarliga deterministiska effekter uteslutas om den inre beredskapszonen utryms före ett utsläpp.

### 7.3.2. Möjlighet att underskrida valda referensnivåer

#### **Analysen där inomhusvistelse minskar stråldoserna till hälften**

SSM har analyserat effekten av olika kombinationer av skyddsåtgärder för händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system och under förutsättning att inomhusvistelse minskar stråldoserna till hälften. Om inre beredskapszonen utryms och inomhusvistelse rekommenderas (och genomförs) innan utsläppet sker i de delar av yttre beredskapszonen och planeringsavståndet som kan komma att beröras, kommer personer som vistas inomhus i yttre beredskapszonen på cirka 5 km avstånd att kunna erhålla de högsta effektiva doserna, som mest upp till cirka 500 mSv om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Om också de delar av yttre beredskapszonen som kan komma att beröras av utsläppet utryms ut till drygt 15 km innan utsläppet sker, kommer de personer som vistas inomhus i yttre beredskapszonen just utanför det utrymda området att erhålla de högsta effektiva doserna, som mest upp till cirka 100 mSv om 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas för barn respektive vuxna. Om alla delar av yttre beredskapszonen som kan komma att beröras av utsläppet utryms, kommer de personer som vistas inomhus i planeringsavståndet på cirka 25 km avstånd att erhålla de högsta effektiva doserna, som mest upp till cirka 100 mSv om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.

SSM har vidare analyserat effekten av olika kombinationer av skyddsåtgärder för händelsen med fungerande konsekvenslindrande system och under förutsättning att inomhusvistelse minskar stråldoserna till hälften. Om inre beredskapszonen utryms och inomhusvistelse rekommenderas (och genomförs) i de delar av yttre beredskapszonen som kan komma att beröras av utsläppet innan det sker, kommer de personer som vistas inomhus i yttre beredskapszonen på cirka 5 km avstånd att erhålla de högsta effektiva doserna, som mest upp till cirka 20 mSv om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Om också de delar av yttre beredskapszonen som kan komma att beröras av utsläppet utryms ut till drygt 15 km innan utsläppet sker, kommer de personer som vistas inomhus just utanför det utrymda området att erhålla de högsta effektiva doserna, som mest upp till cirka 5 mSv om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Personer som vistas i de delar av planeringsavståndet som berörs av utsläppet på cirka 25 km avstånd kan också erhålla effektiva doser upp till 5 mSv om inomhusvistelse inte rekommenderas i detta område.

SSM har slutligen analyserat effekten av olika kombinationer av skyddsåtgärder för händelsen i känslighetsanalysen med väl fungerande konsekvenslindrande system och under förutsättning att inomhusvistelse minskar stråldoserna till hälften. Om inre beredskapszonen utryms och inomhusvistelse rekommenderas (och genomförs) innan utsläppet sker i de delar av yttre beredskapszonen som kan komma att beröras, kommer de personer som vistas inomhus i yttre beredskapszonen på cirka 5 km avstånd att erhålla de högsta effektiva doserna, som mest upp till drygt 5 mSv om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Om också de delar av yttre beredskapszonen som kan komma att beröras av utsläppet utryms ut till drygt

10 km innan utsläppet sker, kommer de personer som vistas inomhus just utanför det utrymda området att erhålla de högsta effektiva doserna, som mest upp till cirka 2,5 mSv om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Det är osannolikt att någon som vistas oskyddad i planeringsavståndet på cirka 25 km avstånd kommer erhålla en effektiv dos över 1 mSv.

En sammanfattning av resultaten för olika kombinationer av skyddsåtgärder för de analyserade händelserna där förebyggande utrymning leder till att stråldoserna blir noll och inomhusvistelse minskar stråldoserna till hälften redovisas i Tabell 49.

**Tabell 49.** Högsta effektiva dos efter skyddsåtgärder och avstånd där dessa erhålls (om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas) för olika kombinationer av möjliga utsläpp och skyddsåtgärder (utrymning antas leda till att stråldoserna blir noll och inomhusvistelse antas minska stråldoserna till hälften).

Skyddsåtgärder	Högsta dos efter skyddsåtgärder (mSv)	Avstånd (km)
Ej fungerande konsekvenslindrande system		
Utrymning: ~5 km Inomhusvistelse: ~100 km	500	~5
Utrymning: ~15 km Inomhusvistelse: ~100 km	100 <sup>1</sup>	~15
Utrymning: ~25 km Inomhusvistelse: ~100 km	100	~25
Fungerande konsekvenslindrande system		
Utrymning: ~5 km Inomhusvistelse: ~25 km	20	~5
Utrymning: ~15 km Inomhusvistelse: ~25 km	5	~15 och ~25
Väl fungerande konsekvenslindrande system		
Utrymning: ~5 km Inomhusvistelse: ~25 km	5	~5
Utrymning: ~10 km Inomhusvistelse: ~25 km	2,5	~10

<sup>1</sup> 80 respektive 90 procent av väderfallen för barn respektive vuxna.

### Analys där inomhusvistelse minskar stråldoserna till en tiondel

SSM har också analyserat effekten av olika kombinationer av skyddsåtgärder vid händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system och under förutsättning att inomhusvistelse minskar stråldoserna till en tiondel inom yttre beredskapszonen (på t.ex. ett sjukhus) och till hälften utanför yttre beredskapszonen. Om inre beredskapszonen utryms och inomhusvistelse rekommenderas (och genomförs) innan utsläppet sker i de delar av yttre beredskapszonen och planeringsavståndet som kan komma att beröras, kommer de personer som vistas inomhus i yttre beredskapszonen på cirka 5 km avstånd att erhålla de högsta effektiva doserna, som mest upp till cirka 100 mSv om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas.



Om de delar av yttre beredskapszonen som kan komma att beröras av utsläppet utryms ut till drygt 15 km innan utsläppet sker, kommer de personer som vistas inomhus inom planeringsavståndet på cirka 25 km avstånd att erhålla de högsta effektiva doserna, som mest upp till cirka 50 mSv om 70 respektive 80 procent av alla förekommande väderfall för barn respektive vuxna beaktas. Effektiva doser strax under 100 mSv för barn kan dock inte uteslutas inom planeringsavståndet på cirka 25 km avstånd om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Det är således bättre att vistas inomhus inom avståndet 15-25 km i yttre beredskapszonen jämfört med att vistas inomhus inom planeringsavståndet på avstånd som just överstiger 25 km på grund av den bättre skyddsfaktorn i yttre beredskapszonen.

Om de delar av yttre beredskapszonen som kan komma att beröras av utsläppet utryms ut till cirka 25 km innan utsläppet sker, kommer de personer som vistas inomhus inom planeringsavståndet på cirka 25 km avstånd att erhålla de högsta effektiva doserna, som mest upp till cirka 50 mSv om 70 respektive 80 procent av alla förekommande väderfall för barn respektive vuxna beaktas. Effektiva doser strax under 100 mSv för barn kan dock inte uteslutas inom planeringsavståndet på cirka 25 km avstånd vid inomhusvistelse.

En sammanfattning av resultaten för olika kombinationer av skyddsåtgärder för de analyserade händelserna där förebyggande utrymning leder till att stråldoserna blir noll och inomhusvistelse minskar stråldoserna till en tiondel i yttre beredskapszonen och till hälften inom planeringsavståndet redovisas i Tabell 50.

**Tabell 50.** Högsta effektiva dos efter skyddsåtgärder och avstånd där dessa erhålls (om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas) för olika kombinationer av möjliga utsläpp och skyddsåtgärder (utrymning antas leda till att stråldoserna blir noll och inomhusvistelse antas minska stråldoserna till en tiondel i yttre beredskapszonen och med hälften inom planeringsavståndet) för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system.

Skyddsåtgärder	Högsta dos efter skyddsåtgärder (mSv)	Avstånd (km)
Ej fungerande konsekvenslindrande system		
Utrymning: ~5 km Inomhusvistelse: ~100 km	100	~5 och ~25
Utrymning: ~15 km Inomhusvistelse: ~100 km	100	~25
Utrymning: ~25 km Inomhusvistelse: ~100 km	100	~25

### Slutsats

De förslag på utsträckning av beredskapszonerna och planeringsavståndet i kombination med de förberedelser som SSM föreslår i respektive beredskapszon och inom planeringsavståndet möjliggör att de valda referensnivåerna kan underskridas. Detta gäller både 100 mSv effektiv dos för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande

system och 20 mSv effektiv dos för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system.

För den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system kräver detta att de delar av yttre beredskapszonen som kan komma att beröras av utsläppet utryms innan det startar. Ett alternativ till att utrymma alla delar av yttre beredskapszonen som kan komma att beröras är att utrymma ut till cirka 15 km i kombination med att rekommendera inomhusvistelse i de resterande delar som ligger på avståndet 15-25 km. Detta alternativ är särskilt fördelaktigt om inomhusvistelse kan ske i lokaler som erbjuder ett bättre skydd än ett småhus.

Om ett utsläpp i samband med en olycka förväntas leda till långvarig exponering avser referensnivån den effektiva dosen under ett år från den inledande händelsen. De beräkningar av effektiv dos som genomförts givet olika kombinationer av skyddsåtgärder avser exponering under de första sju dygnet efter att utsläppet startat. Exponering från markbeläggning under de återstående 51 veckorna innan ett år från utsläppets start passerat skulle därför kunna motivera ytterligare skyddsåtgärder i syfte att underskrida den valda referensnivån. SSM anser dock att utsläppsfasen och fasen efter utsläppet upphört ska behandlas var för sig. För det första skulle det kunna leda till orimliga konsekvenser om utrymning skulle genomföras för att undvika en liten tillskottsdos från markbeläggningen i sådana fall där doser nära den valda referensnivån har erhållits under utsläppsfasen. För det andra kommer det i praktiken vara omöjligt att med tillräcklig precision avgöra vilka doser olika grupper erhållit under utsläppsfasen, vilket innebär att den sammanlagda dosen under ett år svårigen kan uppskattas. SSM anser därför att utrymning efter att utsläpp av betydelse ur strålskyddssynpunkt upphört endast bör avgöras genom att beakta exponeringen från den kvarvarande markbeläggningen.

## 8. Livsmedelsproduktion

SSM har genomfört spridningsberäkningar för att uppskatta på vilka avstånd åtgärder kopplade till livsmedelsproduktion kan behöva övervägas vid utsläpp från svenska kärnkraftverk i samband med olyckor. Beräkningarna utgår från de åtgärdsnivåer för livsmedelsproduktion som redovisas i bilaga 1 till huvudrapporten. Beräkningarna har genomförts för de två dimensionerande händelserna med och utan fungerande konsekvenslindrande system samt för händelsen i känslighetsanalysen med väl fungerande konsekvenslindrande system. SSM redovisar i detta kapitel tabeller med de största avstånden där olika åtgärdsnivåer för livsmedelsproduktion överskrids om 70, 80 och 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. I tabellerna anges ett medelvärde av resultaten från de tre kärnkraftverken för respektive percentil. Alla resultat anges med två värdesiffror. Med utgångspunkt från beräkningsresultaten har SSM analyserat behov av åtgärder för livsmedelsproduktion för utsläpp vid de tre händelserna.

### 8.1. Spridningsberäkningar

Resultat från spridningsberäkningarna för åtgärdsnivåer kopplade till dricksvatten från ytvattentäkter med liten utspädning (0,5 meters djup) respektive stor utspädning (10 m djup) redovisas i Tabell 51-52.

**Tabell 51.** Största avstånd där åtgärdsnivåer kopplade till dricksvatten från ytvattentäkter med liten utspädning (0,5 m djup) överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas (åtgärdsnivån överskrids ej om "-").

Percentil	Väl fungerande (km)	Fungerande (km)	Ej fungerande (km)
I-131: 100 kBq/m <sup>2</sup>			
70	21	17	>500
80	30	33	>500
90	44	60	>500
Cs-137: 100 kBq/m <sup>2</sup>			
70	0,5	3,3	>500
80	0,6	6,9	>500
90	0,8	14	>500
Sr-90: 10 kBq/m <sup>2</sup>			
70	-	-	84
80	-	-	130
90	-	-	230
Cm-242: 10 kBq/m <sup>2</sup>			
70	-	-	0,4
80	-	-	0,9
90	-	-	1,6

**Tabell 52.** Största avstånd där åtgärdsnivåer kopplade till dricksvatten från ytvattentäkter med stor utspädning (10 m djup) överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas (åtgärdsnivån överskrids ej om "-").

Percentil	Väl fungerande (km)	Fungerande (km)	Ej fungerande (km)
I-131: 1 000 kBq/m <sup>2</sup>			
70	2,0	3,7	>500
80	3,1	6,0	>500
90	5,6	11	>500
Cs-137: 1 000 kBq/m <sup>2</sup>			
70	-	0,6	100
80	-	0,8	140
90	-	1,3	230
Sr-90: 100 kBq/m <sup>2</sup>			
70	-	-	7,6
80	-	-	13
90	-	-	25
Cm-242: 100 kBq/m <sup>2</sup>			
70	-	-	0,4
80	-	-	0,9
90	-	-	1,6

Resultat från spridningsberäkningarna för åtgärdsnivåer kopplade till mjölkproduktion redovisas i Tabell 53.

**Tabell 53.** Största avstånd där åtgärdsnivåer kopplade till mjölkproduktion överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas (åtgärdsnivån överskrids ej om "-").

Percentil	Väl fungerande (km)	Fungerande (km)	Ej fungerande (km)
I-131: 5 kBq/m <sup>2</sup>			
70	180	220	>500
80	240	290	>500
90	320	360	>500
Cs-134+Cs-136+Cs-137: 10 kBq/m <sup>2</sup>			
70	7,4	110	>500
80	13	180	>500
90	24	280	>500
Sr-89+Sr-90: 10 kBq/m <sup>2</sup>			
70	-	1,6	>500
80	-	2,0	>500
90	-	3,0	>500

Resultat från spridningsberäkningarna för åtgärdsnivåer kopplade till produktion av nöt, lamm och ren, fläsk respektive vilt (älg och rådjur) redovisas i Tabell 54-56.

**Tabell 54.** Största avstånd där åtgärdsnivåer kopplade till produktion av nöt, lamm och ren överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas (åtgärdsnivån överskrids ej om "-").

Percentil	Väl fungerande (km)	Fungerande (km)	Ej fungerande (km)
Cs-134+Cs-136+Cs-137: 1 kBq/m <sup>2</sup> (bete och naturbete)			
70	80	>500	>500
80	120	>500	>500
90	210	>500	>500
Sr-89+Sr-90: 100 kBq/m <sup>2</sup> (bete)			
70	-	-	91
80	-	-	150
90	-	-	250
Sr-89+Sr-90: 10 kBq/m <sup>2</sup> (naturbete)			
70	-	1,6	>500
80	-	2,0	>500
90	-	3,0	>500

**Tabell 55.** Största avstånd där åtgärdsnivåer kopplade till produktion av fläsk överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas (åtgärdsnivån överskrids ej om "-").

Percentil	Väl fungerande (km)	Fungerande (km)	Ej fungerande (km)
Cs-134+Cs-136+Cs-137: 10 kBq/m <sup>2</sup>			
70	7,4	110	>500
80	13	180	>500
90	24	280	>500
Sr-89+Sr-90: 1 000 kBq/m <sup>2</sup>			
70	-	-	8,2
80	-	-	15
90	-	-	28

**Tabell 56.** Största avstånd där åtgärdsnivåer kopplade till vilt (älg och rådjur) överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas (åtgärdsnivån överskrids ej om "-").

Percentil	Väl fungerande (km)	Fungerande (km)	Ej fungerande (km)
Cs-134+Cs-136+Cs-137: 10 kBq/m <sup>2</sup>			
70	7,4	110	>500
80	13	180	>500
90	24	280	>500
Cs-134+Cs-136+Cs-137: 100 kBq/m <sup>2</sup>			
70	1,1	12	>500
80	1,4	21	>500
90	2,2	36	>500

Resultat från spridningsberäkningarna för åtgärdsnivåer kopplade till åtgärdsnivåer för spannmål, bladgrönsaker respektive potatis redovisas i Tabell 57-59.

**Tabell 57.** Största avstånd där åtgärdsnivåer kopplade till spannmål överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas (åtgärdsnivån överskrids ej om "-").

Percentil	Väl fungerande (km)	Fungerande (km)	Ej fungerande (km)
Cs-134+Cs-136+Cs-137: 10 kBq/m <sup>2</sup>			
70	7,4	110	>500
80	13	180	>500
90	24	280	>500
Sr-89+Sr-90: 10 kBq/m <sup>2</sup>			
70	-	1,6	>500
80	-	2,0	>500
90	-	3,0	>500

**Tabell 58.** Största avstånd där åtgärdsnivåer kopplade till bladgrönsaker överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas (åtgärdsnivån överskrids ej om "-").

Percentil	Väl fungerande (km)	Fungerande (km)	Ej fungerande (km)
Cs-134+Cs-136+Cs-137: 1 kBq/m <sup>2</sup>			
70	80	>500	>500
80	120	>500	>500
90	210	>500	>500
Sr-89+Sr-90: 1 kBq/m <sup>2</sup>			
70	-	12	>500
80	-	21	>500
90	-	35	>500

**Tabell 59.** Största avstånd där åtgärdsnivåer kopplade till potatis överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas (åtgärdsnivån överskrids ej om "-").

Percentil	Väl fungerande (km)	Fungerande (km)	Ej fungerande (km)
Cs-134+Cs-137: 1 000 kBq/m <sup>2</sup>			
70	-	1,5	190
80	-	1,8	270
90	-	2,8	360
Sr-89+Sr-90: 100 kBq/m <sup>2</sup>			
70	-	-	91
80	-	-	150
90	-	-	250

En sammanfattning av resultaten, i form av avrundade medelvärden för de tre kärnkraftverken, med avstånd där 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas för händelserna utan fungerande, med fungerande och med väl fungerande konsekvenslindrande system redovisas i Tabell 60.



**Tabell 60.** Sammanfattning av de största avstånden där åtgärdsnivåer för livsmedelsproduktion kan överskridas för olika händelser om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas ("-" innebär att åtgärdsnivån inte överskrids).

<b>Nuklidgrupp</b>	<b>Väl fungerande (km)</b>	<b>Fungerande (km)</b>	<b>Ej fungerande (km)</b>
Dricksvatten från ytvattentäkter med liten utspädning (0,5 m djup)			
Jod	~40	~60	>500
Cesium	~1	~15	>500
Strontium	-	-	~250
Transuraner	-	-	~2
Dricksvatten från ytvattentäkter med stor utspädning (10 m djup)			
Jod	~6	~10	>500
Cesium	-	~1	~250
Strontium	-	-	~25
Transuraner	-	-	-
Mjök			
Jod	~300	~350	>500
Cesium	~25	~300	>500
Strontium	-	~3	>500
Nöt, lamm och ren			
Cesium (bete)	~200	>500	>500
Strontium (bete)	-	-	~250
Cesium (naturbete)	~200	>500	>500
Strontium (naturbete)	-	~3	>500
Fläsk			
Cesium	~25	~300	>500
Strontium	-	-	~30
Vilt (älg och rådjur)			
Cesium (100 kBq/m <sup>2</sup> )	~2	~35	>500
Cesium (10 kBq/m <sup>2</sup> )	~25	~300	>500
Spannmål			
Cesium	~25	~300	>500
Strontium	-	~3	>500
Bladgrönsaker			
Cesium	~200	>500	>500
Strontium	-	~35	>500
Potatis			
Cesium	-	~3	~350
Strontium	-	-	~250

## 8.2. Analys

Åtgärdsnivåerna för livsmedelsproduktion bygger på en rad antaganden och präglas därför av stor osäkerhet. De avstånd som SSM redovisar där åtgärdsnivåerna kan komma att överskridas ska därför endast ses som indikativa. Resultaten ger dock en uppfattning om på vilka avstånd problem med livsmedelsproduktion kan förekomma, vilken typ av livsmedelsproduktion som är mest utsatt samt vilka nuklider som leder till störst problem för olika typer av livsmedelsproduktion. Vidare bör noteras att resultaten gäller ett största avstånd i någon riktning där åtgärdsnivån kan överskridas. Avstånden utgör således inget direkt mått på hur stora ytor som kan beröras av ett faktiskt nedfall.

SSM anser att det är rimligt att planeringen för åtgärder kopplade till livsmedelsproduktion omfattar alla områden som kan komma att beröras vid ett utsläpp, dvs. att avstånd som omfattar minst 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Skälet till SSM:s ställningstagande är att åtgärdsnivåerna är kopplade till överskridande av gränsvärden från EU som är tvingande för Sverige i händelse av en kärnkraftsolycka.

För händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system överskrids minst en åtgärdsnivå för samtliga livsmedel, med undantag av potatis, på större avstånd än det maximala avståndet i beräkningarna på 500 km. För händelsen med fungerande konsekvenslindrande system överskrids minst en åtgärdsnivå för några livsmedel på större avstånd än det maximala avståndet i beräkningarna på 500 km. För händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system överskrids åtgärdsnivåer för mjölk ut till cirka 300 km och åtgärdsnivåer för nöt, ren och bladgrönsaker ut till cirka 200 km.

IAEA rekommenderar att det ska finnas en planering för att vidta tidiga åtgärder kopplade till livsmedelsproduktion ut till ett avstånd på 300 km från ett kärnkraftverk. SSM:s beräkningar visar att detta avstånd endast är tillräckligt för händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system. Med stöd av beräkningarna anser SSM att det bör finnas en planering för att vidta tidiga åtgärder kopplade till livsmedelsproduktion i hela Sverige. Visserligen saknas resultat för större avstånd än 500 km, men erfarenheter från inträffade kärnkraftsolyckor visar att problem med viss livsmedelsproduktion kan uppkomma på mycket stora avstånd. Det gäller i synnerhet olyckan i Tjernobyli som påverkade bland annat ren- och fårnäringen på mer än 1 000 km avstånd.

SSM anser därför att berörda myndigheter med ansvar för åtgärder kopplade till livsmedelsproduktion bör se över befintliga beredskapsplaner med utgångspunkt i de beräkningar som SSM redovisar i denna rapport. Av särskild vikt är att beslut om åtgärder kopplade till livsmedelsproduktion och skydd av allmänheten från intag av kontaminerade livsmedel kan fattas tillräckligt snabbt, vilket för vissa livsmedel som t.ex. mjölk innebär under det första dygnet efter olyckans inledning. SSM vill också understryka vikten av att även avstånd till utländska kärnkraftverk beaktas i en sådan översyn.

## 9. Sanering

SSM har genomfört spridningsberäkningar för att uppskatta på vilka avstånd sanering kan behöva övervägas vid utsläpp från svenska kärnkraftverk. Beräkningarna utgår från de åtgärdsnivåer för sanering som redovisas i bilaga 1 till huvudrapporten. Beräkningarna har genomförts för de två dimensionerande händelserna med och utan fungerande konsekvenslindrande system samt för händelsen i känslighetsanalysen med väl fungerande konsekvenslindrande system. SSM redovisar i detta kapitel tabeller med de största avstånden där olika åtgärdsnivåer för sanering överskrids om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. I tabellerna anges också ett medelvärde av resultaten från de tre kärnkraftverken för respektive percentil. Alla resultat anges med två värdesiffror. Med utgångspunkt från beräkningsresultaten har SSM analyserat behov av sanering vid utsläpp för de tre händelserna.

### 9.1. Spridningsberäkningar

Resultaten från spridningsberäkningar redovisas i Tabell 61 för den dimensionerande händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system, i Tabell 62 för den dimensionerande händelsen med fungerande konsekvenslindrande system och i Tabell 63 för händelsen i känslighetsanalysen med väl fungerande konsekvenslindrande system.

**Tabell 61.** Största avstånd där åtgärdsnivåer för sanering överskrids för den dimensionerade händelsen utan fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas ("-" innebär att åtgärdsnivån inte överskrids). Doserna i tabellen avser tillskott i effektiv dos från markbeläggningen under första året.

<b>Percentil</b>	<b>Forsmark (km)</b>	<b>Oskarshamn (km)</b>	<b>Ringhals (km)</b>	<b>Medelvärde (km)</b>
100 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 1 mSv)				
70	>500	>500	>500	>500
80	>500	>500	>500	>500
90	>500	>500	>500	>500
500 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 5 mSv)				
70	350	150	280	260
80	430	240	350	340
90	470	350	450	420
1 000 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 10 mSv)				
70	240	140	200	190
80	330	210	260	270
90	430	300	350	360
2 000 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 20 mSv)				
70	110	100	130	120
80	180	150	170	170
90	300	240	250	260
5 000 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 50 mSv)				
70	33	33	53	39
80	60	61	83	68
90	110	110	120	110

**Tabell 62.** Största avstånd där åtgärdsnivåer för sanering överskrids för den dimensionerade händelsen med fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas ("-" innebär att åtgärdsnivån inte överskrids). Dosererna i tabellen avser tillskott i effektiv dos från markbeläggningen under första året.

<b>Percentil</b>	<b>Forsmark (km)</b>	<b>Oskarshamn (km)</b>	<b>Ringhals (km)</b>	<b>Medelvärde (km)</b>
100 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 1 mSv)				
70	9,6	6,6	15	10
80	19	13	25	19
90	30	27	41	33
500 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 5 mSv)				
70	2,5	1,9	1,8	2,1
80	3,4	3,0	2,7	3,0
90	6,2	4,8	7,9	6,3
1 000 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 10 mSv)				
70	2,0	1,2	1,2	1,5
80	2,4	1,6	1,5	1,8
90	3,4	2,6	2,5	2,8
2 000 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 20 mSv)				
70	0,8	0,7	0,5	0,7
80	1,3	0,8	0,8	1,0
90	2,1	1,2	1,4	1,6
5 000 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 50 mSv)				
70	-	-	-	-
80	-	-	-	-
90	-	-	-	-

**Tabell 63.** Största avstånd där åtgärdsnivåer för sanering överskrids för den händelsen i känslighetsanalysen med väl fungerande konsekvenslindrande system om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas ("-" innebär att åtgärdsnivån inte överskrids). Doser i tabellen avser tillskott i effektiv dos från markbeläggningen under första året.

<b>Percentil</b>	<b>Forsmark (km)</b>	<b>Oskarshamn (km)</b>	<b>Ringhals (km)</b>	<b>Medelvärde (km)</b>
100 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 1 mSv)				
70	1,2	0,8	0,8	0,9
80	1,6	1,1	1,2	1,3
90	2,5	1,6	1,8	2,0
500 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 5 mSv)				
70	-	-	-	-
80	-	-	-	-
90	-	-	-	-
1 000 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 10 mSv)				
70	-	-	-	-
80	-	-	-	-
90	-	-	-	-
2 000 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 20 mSv)				
70	-	-	-	-
80	-	-	-	-
90	-	-	-	-
5 000 kBq/m <sup>2</sup> för summan av Cs-134 och Cs-137 (tillskottsdos 50 mSv)				
70	-	-	-	-
80	-	-	-	-
90	-	-	-	-

En sammanfattning av resultaten med avrundade medelvärden för de tre kärnkraftverken för händelserna utan fungerande, med fungerande och med väl fungerande konsekvenslindrande system redovisas i Tabell 64.

**Tabell 64.** Sammanfattning av de största avstånden där åtgärdsnivåer för sanering överskrids för olika händelser om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas ("-" innebär att åtgärdsnivån inte överskrids). Doserna i tabellen avser tillskott i effektiv dos från markbeläggningen under första året.

Percentil	Väl fungerande (km)	Fungerande (km)	Ej fungerande (km)
En saneringsplan bör tas fram och enklare saneringsinsatser kan vara motiverade (mer än 1 mSv)			
70	~1	~10	>500
80	~1,5	~20	>500
90	~2	~30	>500
Enklare saneringsinsatser är troligen motiverade (mer än 5 mSv)			
70	-	~2	~250
80	-	~3	~350
90	-	~6	~400
Avancerade saneringsinsatser kan vara motiverade (mer än 10 mSv)			
70	-	~1,5	~200
80	-	~2	~250
90	-	~3	~350
Avancerade saneringsinsatser är troligen motiverade (mer än 20 mSv)			
70	-	~0,5	~100
80	-	~1	~150
90	-	~1,5	~250
Avancerade saneringsinsatser är troligtvis inte tillräckligt för att området ska gå att återvända till på flera år (mer än 50 mSv)			
70	-	-	~40
80	-	-	~70
90	-	-	~100

## 9.2. Analys

För händelsen där de konsekvenslindrande systemen inte fungerar kan en saneringsplan behöva tas fram som omfattar hela eller delar av området kring kärnkraftverket på ett avstånd som överstiger 500 km. Inom detta område kan det vara berättigat att vidta enklare saneringsinsatser i viss utsträckning. Avståndet där enklare saneringsinsatser troligen är motiverade kan sträcka sig ut till cirka 400 km. Avståndet där avancerade saneringsinsatser kan vara motiverade kan sträcka sig ut till cirka 350 km och avståndet där avancerade saneringsinsatser troligen är motiverade kan sträcka sig ut till cirka 250 km. Ut till ett avstånd på cirka 100 km kan det uppstå områden med så hög markbeläggning att boende inte kan återvända på flera år trots avancerade saneringsinsatser.

För händelsen med fungerande konsekvenslindrande system kan en saneringsplan behöva tas fram som omfattar hela eller delar av området kring kärnkraftverket på ett avstånd ut till cirka 30 km. Inom detta område kan det vara berättigat att sanera i olika utsträckning. Avståndet där enklare saneringsinsatser troligen är motiverade är begränsat till cirka 6 km. Avståndet där mer avancerade saneringsinsatser kan vara motiverade är begränsat till cirka 3 km.

För händelsen med väl fungerande konsekvenslindrande system är det osannolikt att sanering behöver genomföras. Visserligen kan kriteriet för när en saneringsplan behöver tas fram överskridas ut till ett par kilometer från kärnkraftverket, men det är osäkert om faktiska saneringsinsatser skulle vara berättigade.

SSM menar att sanering troligen kan bli aktuell först efter att den radiologiska nödsituationen, och därmed räddningstjänst, avslutats. SSM föreslår därför inga särskilda åtgärder inom beredskapszonerna eller planeringsavståndet kring kärnkraftverken med anledning av de redovisade resultaten. Däremot anser SSM att alla länsstyrelser som enligt förordningen om skydd mot olyckor har ansvar för sanering efter utsläpp från en kärnteknisk anläggning bör se över befintliga saneringsplaner med utgångspunkt i de beräkningar som SSM redovisar i denna rapport. SSM vill understryka vikten av att även avstånd till utländska kärnkraftverk beaktas i en sådan översyn.



## Referenser

- [1] "Säkerhetsredovisningar för kärnkraftvrekerna i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals," SSM.
- [2] Industridepartementet, "Villkor för fortsatt tillstånd enligt 5 § lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet att driva kärnkraftsreaktorerna Oskarshamn 1, 2 och 3," Regeringen, 1986.
- [3] "Oskarshamn 3 - Underlag till SSM för översyn av befintliga beredskapszoner, MAAP analyser av källterm med varierad avskiljningsfaktor för system 362," OKG, 2016.
- [4] "Ringhals 4 - Källtermsberäkningar med MAAP 4.06 som underlag till SSMs översyn av beredskapszoner," Ringhals AB, 2016.
- [5] M. Kowalik, T. Steinrötter, "Source Term Evaluation for Oskarshamn-3 NPP with MELCOR 2.1," Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), 2016.
- [6] T. S. M. Kowalik, "Source Term Evaluation for Ringhals-4 NPP with MELCOR 2.1," Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), 2016.
- [7] "MAAP4 Applications Guidance: Desktop Reference for Using MAAP4 Software, Revision 2.," EPRI, Palo Alto, 2010.
- [8] "Modular Accident Analysis Program 5 (MAAP5) Applications Guidance: Desktop Reference for Using MAAP5 Software - Phase 2 Report," EPRI, Palo Alto, 2015.
- [9] "MELCOR Computer Code Manuals, Vol. 1: Primer and Users' Guide, Version 2.1.6840," Sandia National Laboratories, Albuquerque, 2015.
- [10] NRC, "NUREG-1465, Accident Source Terms for Light Water Nuclear Power Plants," U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1995.
- [11] Ulf Bäverstam, "Lena version 5.0 Användarhandledning, SSM2017-4413-2," SSM, 2017.
- [12] S. Hoe. P. McGinnity, T. Charnock, F. Gering, L. H. Schou Jacobsen, J. Havskov Sørensen, K.G. Andersson och P. Astrup, "ARGOS Decision Support System for Emergency Management," Proceedings (online), 2009.
- [13] SSM, "Underhandremiss – Analysföreskrift inklusive vägledning," SSM, 2016.
- [14] Henrik Glänneskog, "Jodformer i reaktorinneslutningen vid ett svårt haveri - Utredning och redovisning av dagens kunskapsläge," Vattenfall AB, 2017.
- [15] IAEA, "The Fukushima Daiichi Accident," IAEA, 2015.
- [16] IAEA, "Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience, Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Environmental", Radiological Assessment Report Series No. 8," IAEA, 2016.
- [17] IAEA, "Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, GS-G-2.1," IAEA, 2007.

- [18] IAEA, "Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor," IAEA, 2013.
- [19] "Recommendations and procedures for preparedness and health surveillance of populations affected by a radiation accident," SHAMISEN.
- [20] SSMFS 2014:2, "Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om beredskap vid kärntekniska anläggningar," SSM, 2014.
- [21] ICRP, "Publication 96, Protecting people against radiation exposure in the event of a radiological attack," ICRP, 2006.
- [22] NRC, "NUREG-2161, Consequence Study of a Beyond-Design-Basis Earthquake Affecting the Spent Fuel Pool for a U.S. Mark I Boiling Water Reactor," U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2014.





2017:27

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)