



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Anna Maria Blixt Buhr
Jan Johansson
Peder Kock
Jonas Boson
Simon Karlsson
Jonas Lindgren
Elisabeth Tengborn

2018:22

Underlag till beredskapsplaneringen
kring ESS



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Anna Maria Blixt Buhr
Jan Johansson
Peder Kock
Jonas Boson
Simon Karlsson
Jonas Lindgren
Elisabeth Tengborn

2018:22

Underlag till beredskapsplaneringen
kring ESS

Datum: september 2018

Rapportnummer: 2018:22 ISSN: 2000-0456

Tillgänglig på www.stralsakerhetsmyndigheten.se

Sammanfattning

Nordost om Lund, i Brunshögsområdet, byggs forskningsanläggningen European Spallation Source ERIC (ESS). När ESS tas i drift ska en linjäraccelerator leverera protoner till ett roterande strålmål av volfram, varpå neutroner produceras genom spallation. I strålmålet och i omkringliggande komponenter kommer radioaktiva ämnen att bildas när de bestrålas av protoner och neutroner.

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) beslutade den 25 april 2018 att ESS ska placeras i beredskapskategori 2. Det innebär att SSM bedömer att det kan inträffa händelser på ESS med utsläpp av radioaktiva ämnen som motiverar att brådskande skyddsåtgärder vidtas för allmänheten utanför anläggningen, men att allvarliga deterministiska effekter för allmänheten utanför anläggningen kan uteslutas. Som en följd av detta beslut anser SSM att det krävs beredskapsplanering för allmänheten kring ESS.

För att skyddsåtgärder ska kunna genomföras på ett effektivt sätt föreslår SSM att en beredskapszon med en ungefärlig utsträckning på 700 meter inrättas kring ESS. Den slutgiltiga utformningen av beredskapszonen kring ESS bör anpassas till rådande förhållanden kring anläggningen och fastställas av Lunds kommun innan ESS tas i rutinmässig drift. I beredskapszonen bör det finnas en planering för att skyddsåtgärden inomhusvistelse ska kunna genomföras på ett effektivt sätt. Dessutom bör system och rutiner för varning av allmänheten förberedas.

Utanför anläggningsområdet kring ESS bedömer SSM att det inte kan uppstå någon markbeläggning i samband med olyckor som motiverar den typ av planeringsavstånd som SSM förslagit kring kärnkraftverken och mellanlagret för använt kärnbränsle i Oskarshamn.

Innehåll

Sammanfattning	3
1. Inledning	7
2. Dimensionerande händelse	8
3. Representativ källterm	10
3.1. Utsläppsförlopp.....	10
3.2. Urval av nuklider och utsläppt aktivitet.....	12
3.3. Övriga parametrar i källtermen.....	14
4. Spridnings- och dosberäkningar	15
4.1. Bidrag från olika exponeringsvägar.....	15
4.2. Utrymning.....	15
4.3. Inomhusvistelse.....	16
4.4. Jodtabletter.....	17
5. Underlag till utformning av beredskapszon	18
6. Känslighetsanalyser	19
6.1. Fördelning av radioaktiva ämnen i strålmålet.....	19
6.2. Partikelstorlek.....	19
6.3. Slutsats från känslighetsanalyserna.....	20
7. Dos efter skyddsåtgärder	21
8. Sanering och strålningsmätningar	22
8.1. Sanering.....	22
8.2. Strålningsmätningar.....	24
Bilaga 1	27
Inledning.....	27
Åtgärdsnivåer.....	27
Meteorologiska vinddata.....	27
Spridnings- och dosberäkningar.....	28

1. Inledning

Nordost om Lund, i Brunnshögsområdet, byggs forskningsanläggningen European Spallation Source ERIC (ESS). När ESS tas i drift ska en linjäraccelerator leverera protoner till ett roterande strålmål av volfram varpå neutroner produceras genom spallation. Strålmålet är inneslutet i en stålstruktur där även andra centrala funktioner för neutronproduktionen finns, såsom kylmedel (helium och vatten), reflektorer (beryllium) och moderatorer (vatten och flytande väte). Reflektorer används för att maximera antalet neutroner och moderatorer används för att bromsa neutronerna till energier som är användbara för de planerade experimenten. I strålmålet och i omkringliggande komponenter kommer radioaktiva ämnen att bildas när de bestrålas av protoner och neutroner.

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) har beslutat att ESS ska placeras i beredskapskategori 2 [1] [2]. Det innebär att SSM bedömer att det kan inträffa händelser på ESS som motiverar att brådskande skyddsåtgärder för allmänheten vidtas utanför anläggningen, men att allvarliga deterministiska effekter för allmänheten utanför anläggningen kan uteslutas. Som en följd av detta beslut anser SSM att det krävs beredskapsplanering för allmänheten utanför anläggningen. SSM föreslår därför att en beredskapszon inrättas kring ESS inom vilken skyddsåtgärder förbereds. Förberedelserna ger förutsättningar för att kunna genomföra effektiva skyddsåtgärder för allmänheten vid larm från ESS.

SSM har fastställt en dimensionerande händelse för ESS som myndigheten anser ska ligga till grund för beredskapsplaneringen kring anläggningen. För denna händelse har SSM tagit fram en representativ källterm som beskriver de utsläpp som antas följa av händelsen. SSM har därefter genomfört spridnings- och dosberäkningar med historiska väderdata för att uppskatta vid vilka avstånd det är motiverat att vidta olika skyddsåtgärder för allmänheten. Ett perimeterskydd kring ESS begränsar allmänhetens tillträde till området närmast anläggningen. Perimeterskyddet sträcker sig som kortast ett par hundra meter från den utsläppspunkt på målbyggnaden som SSM antagit för den dimensionerande händelsen. SSM utgår i beräkningarna från att allmänheten kan vistas utanför det tillträdesbegränsade området.

SSM har så långt det varit möjligt utgått från metoder, analyser och ställningstagande som redovisas i rapporten *SSM 2017:27 Översyn av beredskapszoner* [3]. Metoder, analyser och ställningstaganden som är specifika för ESS redovisas i bilaga 1.

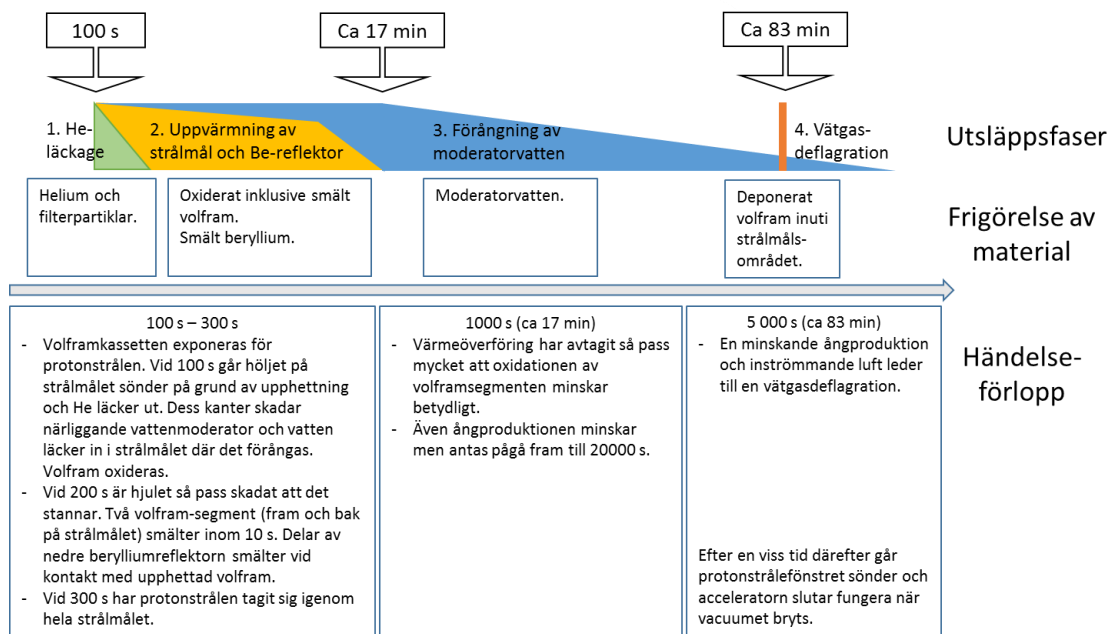
2. Dimensionerande händelse

SSM har fastställt en dimensionerande händelse som myndigheten anser ska ligga till grund för beredskapsplaneringen kring anläggningen [4]:

- **Förlust av kylmedel vid neutronproduktion med full effekt.** En händelse där heliumkylningen av strålmålet slutar fungera samtidigt som protonstrålen fortfarande är på med full effekt. Inga säkerhetssystem eller manuella åtgärder för att stänga av protonstrålen tillgodoräknas. Händelsen leder till att strålmålet samt andra delar i målområdet upphettas och delvis går sönder varvid radioaktiva ämnen frigörs [5].

SSM bedömer att händelsen med förlust av kylmedel vid neutronproduktion med full effekt är dimensionerande med avseende på både utsläppets storlek och förvarningstid. Med förvarningstid avses tiden från att händelsen inleds och varningen av allmänheten kan ske till starten på utsläpp som motiverar att skyddsåtgärder för allmänheten genomförs.

Händelseförloppet för den dimensionerande händelsen inleds med att heliumkylningen av strålmålet förloras samtidigt som protonstrålen fortsätter att bestråla det roterande strålmålet med full effekt (5 MW). Då energi fortsätter att deponeras ökar temperaturen i strålmålet och omgivande hölje. Händelseförloppet och frigörelsen av radioaktiva ämnen som har bildats i olika material i och kring strålmålet kan därefter delas in i ett antal utsläppsfaser, se Figur 1.



Figur 1. Översiktlig beskrivning av den dimensionerande händelsens förlopp och utsläppsfaser.

Den dimensionerande händelsen antas inträffa när strålmålet har använts i fem år, dvs. maximal driftstid innan det byts ut. Radioaktiva ämnen bildas när volfram och orenheter i strålmålet bestrålas med protoner och neutroner. Efter fem års användning finns det därför största möjliga mängd radioaktiva ämnen i strålmålet som kan förekomma på ESS. Händelsen inträffar också när protonstrålen har full effekt 2 GeV (5 MW). Det innebär att uppvärmningen av strålmålet och andra delar av målområdet går fortast möjligt i den valda

händelsen. Vidare förutsätts att ett protonstrålefönster mellan strålmålet och linjäracceleratoren används. Om ett sådant fönster används, förlängs tiden innan protonstrålen upphör att fungera om inga säkerhetssystem eller manuella åtgärder att stänga av protonstrålen tillgodoses. Det innebär att uppvärmningen av strålmålet och andra delar av målområdet pågår under längsta möjliga tid i den valda händelsen. Slutligen förutsätts att utsläppet sker direkt till omgivningen via en tryckavlastningsledning från strålmålsområdet. Det finns andra möjliga utsläppsvägar, men de leder alla till mindre totalt utsläpp av radioaktiva ämnen från anläggningen.

3. Representativ källterm

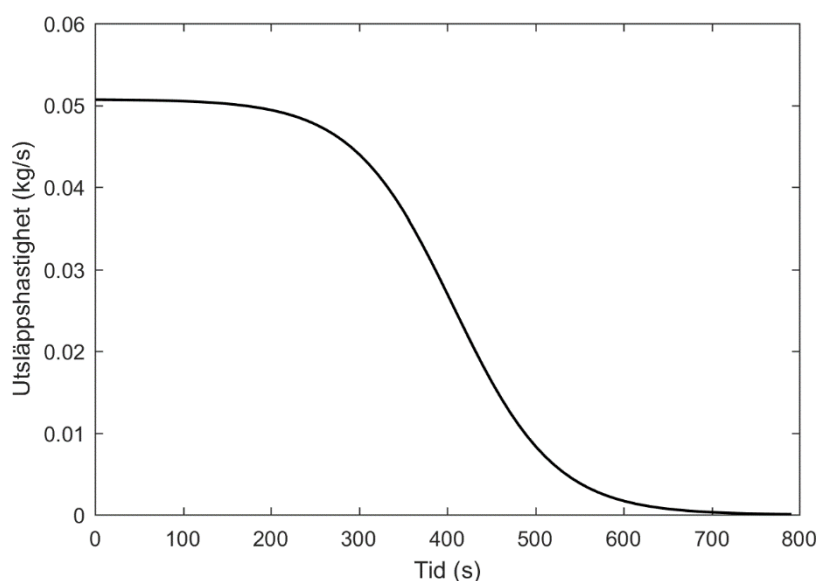
SSM har tagit fram en representativ källterm som beskriver utsläppet av radioaktiva ämnen till omgivningen för den dimensionerande händelsen. Den representativa källtermen innehåller information om vilka nuklider som ingår i utsläppet, i vilken mängd respektive nuklid släpps ut och när i tiden utsläppet sker. Källtermen innehåller även information om utsläppshöjd samt fördelning av jodformer och eventuellt värmeinnehåll i utsläppet.

SSM har också uppskattat kortast möjliga förvarningstid för den dimensionerande händelsen. Händelseförloppet är snabbt och SSM bedömer att utsläpp av radioaktiva ämnen som motiverar brådskande skyddsåtgärder för allmänheten börjar efter ett par minuter från händelsens inledning.

3.1. Utsläppsförlopp

Den representativa källtermen för den dimensionerande händelsen består av fyra utsläppsfaser. I den första fasen sker utsläpp av helium och filterpartiklar. Utsläppet antas starta efter 100 sekunder och pågå under 10 sekunder. Allt helium i kylsystemet och 1 procent av de partiklar som fastnat i partikelfiltren antas komma ut.

I den andra fasen sker utsläpp av smält och oxiderad volfram från strålmålet samt smält beryllium från nedre reflektorn. Utsläppet antas starta efter 100 sekunder och pågå i cirka 1 000 sekunder, med ett förlopp som illustreras i Figur 2. Anledningen till den i stort sett konstanta utsläppshastigheten under de inledande minuterna är att gasen i området kring strålmålet blir mättad med aerosoler. När gasen är mättad kan koncentrationen av aerosoler inte öka mer. Totalt antas 41 procent av tillgängligt smält och oxiderat volfram frigöras från strålmålet. Antagandet om frigörelse används också för ädelgaser, tritium, lättflyktiga ämnen och mindre lättflyktiga ämnen i strålmålet, även om det inte kan uteslutas att ädelgaser och tritium frigörs i högre grad. Beräkningar SSM genomfört visar dock att även om 100 procent av ädelgaser och tritium i den påverkade delen av strålmålet skulle frigöras, blir bidraget till den totala effektiva dosen från ädelgaser och tritium försumbart. Utsläppet av smält och oxiderad volfram från strålmålet dominerar helt det totala utsläppet av radioaktiva ämnen för den dimensionerande händelsen. För berylliumreflektorn antas 100 procent av ädelgaser och tritium, 10 procent av lättflyktiga ämnen och 1 procent av mindre lättflyktiga ämnen frigöras.



Figur 2. Utsläppshastighet för den andra fasen i källtermen för smält och oxiderad volfram från strålmålet samt smält beryllium från nedre berylliumreflektorn.

I den tredje fasen sker utsläpp av kokande moderatorvatten som innehåller lösta radioaktiva ämnen. Utsläppet antas starta efter 100 sekunder och pågå under 10 000 sekunder. Utsläppshastigheten sker med en avtagande trend och totalt antas 44 procent av det vatten som finns tillgängligt koka bort. Den totala mängden ånga baseras på en beräkning för 20 000 sekunder, men förångningen under de sista timmarna är försumbar.

I den fjärde och sista fasen sker utsläpp som en följd av en vätgasdeflagration som trycker ut material som tidigare frigjorts från strålmålet i samband med oxidation och smältning av volfram och därefter deponerat i strålmålsområdet. Utsläppet antas starta efter 5 000 sekunder för att därefter ske momentant. Totalt antas 0,5 procent av det tillgängliga deponerade materialet i strålmålsområdet komma ut.

En sammanställning av de fyra utsläppsfaserna i den representativa källtermen redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Sammanställning av mängder som frigörs under den dimensionerande händelsens fyra utsläppsfaser.

Utsläppsfas	Material	Mängd (kg)	Andel som släpps ut (%)	Start/utsläppstid
1	Helium	30	100	100 s/10 s
	Filterpartiklar	0,01	1	
2	Volframstrålmål (oxiderat och smält)	50,3	41	100 s/17 min
	Berylliumreflektor	15,7	100 (ädelgaser och H-3) 10 (lättflyktiga) 1 (mindre lättflyktiga)	
3	Moderatorvatten	400	44	100 s/166 min
4	Volframstrålmål	29,6	0,5	83 min/10 s

3.2. Urval av nuklider och utsläppt aktivitet

I underlaget från ESS till den representativa källtermen för den dimensionerande händelsen ingår 989 nuklider [6]. Om alla dessa nuklider inkluderas i spridnings- och dosberäkningarna skulle beräkningarna ta mycket lång tid. SSM har därför reducerat antalet nuklider i källtermen genom att exkludera nuklider som inte ger ett signifikant bidrag till stråldos eller markbeläggning. Nuklidurvalet i källtermen har skett enligt följande kriterier:

- Nuklider av betydelse för att uppskatta effektiv dos under sju dygn
- Jodisotoper av betydelse för att uppskatta ekvivalent dos till sköldkörteln under sju dygn
- Nuklider av betydelse för att uppskatta effektiv dos från markbeläggningen under första året.

Utifrån de två första kriterierna har SSM valt ut 49 nuklider. Dessa står tillsammans för nära 100 procent av den effektiva dosen under sju dygn. I urvalet ingår även sju jodisotoper av vilka merparten inkluderats för att säkerställa att den ekvivalenta dosen till sköldkörteln inte underskattas. Nuklider som är av betydelse för att uppskatta effektiv dos från markbeläggningen under första året sammanfaller med urvalet av nuklider som bidrar till effektiv dos under de första sju dyggen. SSM har därför inte inkluderat några ytterligare nuklider utifrån detta kriterium.

I Tabell 2 redovisar SSM de fem nuklider som bidrar mest till effektiv dos under sju dygn, de fem nuklider som bidrar mest till effektiv dos från markbeläggning under det första året (veckorna 1-52) och de fem nuklider som bidrar mest till effektiv dos från markbeläggningen under det första året bortsett från den första veckan (veckorna 2-52). Den effektiva dosen från markbeläggningen under det första året med och utan bidrag från den första veckan som redovisas i Tabell 2 illustrerar att vissa nuklider med kortare halveringstid är av stor betydelse för markdosen under första veckan, men av mindre betydelse därefter.

Tabell 2. Nuklider som bidrar mest till effektiv dos under sju dygn, till effektiv dos från markbeläggningen under det första året och till effektiv dos från markbeläggningen under det första året bortsett från den första veckan.

Ordningsföljd	Bidrag till effektiv dos under sju dygn	Bidrag till effektiv dos från markbeläggning under veckorna 1-52	Bidrag till effektiv dos från markbeläggning under veckorna 2-52
1	Gd-148	Hf-172	Hf-172
2	W-187	Ta-182	Ta-182
3	Hf-172	W-187	Hf-175
4	Ta-182	Hf-175	W-181
5	Hf-178n ¹	W-181	Lu-173

¹SSM har i denna rapport använt beteckningar för nuklider i JEFF 3.1 Nuclear Data Library [7].

En sammanfattning av nuklidval och utsläppt aktivitet till atmosfären för den dimensionerande händelsen på ESS redovisas i Tabell 3.

Tabell 3. Sammanfattning av nuklidval och utsläppt aktivitet till atmosfären för den dimensionerade händelsen på ESS. Total utsläppt aktivitet samt utsläppt aktivitet för utsläppsfas 2 (0-20 min) och 4 (80-85 min) redovisas. Bidraget från utsläppsfaserna 1 och 3 till den totala utsläppta aktiviteten är försumbart och har därför satts till 0 Bq i den representativa källtermen.

Utsläpps- grupp	Nuklid	Halverings- tid	Aktivitet (Bq)		
			Totalt	0-20 min	80-85 min
Lättflyktiga	Cd-109	1,27 år	3,8E+11	3,8E+11	2,7E+09
	I-120	1,36 h	5,8E+11	5,8E+11	2,3E+09
	I-121	2,12 h	6,9E+11	6,8E+11	3,5E+09
	I-122	3,63 min	6,5E+11	6,4E+11	3,3E+09
	I-123	13,2 h	8,4E+11	8,4E+11	5,9E+09
	I-124	4,18 d	1,1E+11	1,1E+11	7,7E+08
	I-125	59,4 d	7,5E+11	7,5E+11	5,4E+09
	I-126	13,0 d	2,9E+10	2,9E+10	2,1E+08
	Te-118	6,00 d	8,8E+11	8,7E+11	6,3E+09
Mindre lättflyktiga	Ce-139	138 d	8,8E+11	8,8E+11	6,3E+09
	Eu-147	24,0 d	1,2E+12	1,2E+12	8,7E+09
	Gd-146	48,3 d	9,7E+11	9,7E+11	7,0E+09
	Gd-148	74,6 år	3,5E+10	3,5E+10	2,5E+08
	Gd-153	240 d	8,2E+11	8,1E+11	5,9E+09
	Hf-170	16,0 h	5,8E+12	5,8E+12	3,9E+10
	Hf-172	1,87 år	4,1E+12	4,1E+12	3,0E+10
	Hf-173	23,9 h	1,1E+13	1,1E+13	8,0E+10
	Hf-175	70,0 d	1,1E+13	1,1E+13	8,2E+10
	Hf-178n	31,0 år	2,5E+11	2,4E+11	1,7E+09
	Hf-181	42,4 d	9,5E+11	9,4E+11	6,8E+09
	Lu-169	1,42 d	5,9E+12	5,8E+12	4,1E+10
	Lu-170	2,01 d	7,8E+12	7,8E+12	5,6E+10
	Lu-171	8,25 d	9,3E+12	9,3E+12	6,7E+10
	Lu-172	6,70 d	5,2E+12	5,1E+12	3,7E+10
	Lu-173	1,34 år	6,7E+12	6,7E+12	4,8E+10
	Re-182	2,67 d	9,3E+11	9,2E+11	6,5E+09
	Re-184	38,0 d	6,8E+11	6,7E+11	4,9E+09
	Re-186	3,78 d	1,1E+13	1,1E+13	7,9E+10
	Re-188	17,0 h	8,3E+12	8,3E+12	5,6E+10
	Ta-173	3,14 h	8,4E+12	8,4E+12	4,6E+10
	Ta-174	1,14 h	8,9E+12	8,9E+12	3,5E+10
	Ta-175	10,5 h	1,3E+13	1,3E+13	8,5E+10
	Ta-176	8,09 h	1,6E+13	1,6E+13	1,1E+11
	Ta-177	2,35 d	2,2E+13	2,2E+13	1,6E+11
	Ta-179	1,61 år	2,2E+13	2,2E+13	1,5E+11
	Ta-180	8,08 h	7,2E+12	7,2E+12	4,6E+10
	Ta-182	115 d	7,4E+12	7,4E+12	5,3E+10
	Ta-183	5,09 d	1,1E+13	1,1E+13	8,0E+10
	Ta-184	8,70 h	4,0E+12	3,9E+12	2,6E+10
	Tb-149	4,12 h	8,1E+11	8,1E+11	4,7E+09
	Tm-166	7,70 h	3,6E+12	3,6E+12	2,6E+10
	Tm-167	9,25 d	4,3E+12	4,2E+12	3,0E+10
	W-177	2,20 h	1,3E+13	1,3E+13	6,3E+10
	W-178	21,6 d	2,2E+13	2,2E+13	1,6E+11
W-181	121 d	8,6E+13	8,5E+13	6,1E+11	
W-185	75,1 d	2,6E+14	2,6E+14	1,9E+12	
W-187	23,9 h	6,7E+14	6,6E+14	4,6E+12	
Yb-166	2,36 d	3,4E+12	3,4E+12	2,4E+10	
Yb-169	32,0 d	7,0E+12	6,9E+12	5,0E+10	

3.3. Övriga parametrar i källtermen

SSM har antagit att utsläppet för den dimensionerande händelsen sker via en tryckavlastningsledning från strålmålsområdet som mynnar ut på taket till målbyggnaden på 30 meters höjd över marken. Koordinaterna för utsläppspunkten är N 6177910 och E 390002 (SWEREF99) [8].

SSM har antagit att all jod i utsläppet är i elementär form. Det är ett konservativt antagande, då doskoefficienterna för elementär jod är högre än doskoefficienterna för partikulär och organisk jod.

SSM har inte antagit att det finns ett värmeinnehåll i utsläppet. SSM antar därmed att det inte sker något plymlyft på grund av termisk energi. SSM antar inte heller att det sker något plymlyft till följd av utsläppets rörelse i höjded. Beräkningar av plymlyft är behäftade med stora osäkerheter. För att inte införa en eventuell underskattning av de beräknade doserna i närområdet har SSM därför konservativt antagit att inget plymlyft förekommer.

4. Spridnings- och dosberäkningar

SSM har genomfört spridnings- och dosberäkningar baserade på historiska väderdata för att undersöka vid vilka avstånd doskriterier och åtgärdsnivåer överskrids för den dimensionerande händelsen på ESS. Beräkningar har genomförts med väderdata för perioden 2006-2015, totalt cirka 2 750 spridnings- och dosberäkningar, vilket ger ett tillräckligt statistiskt underlag för att omhänderta variationer i väderförhållanden kring ESS.

I detta kapitel redovisas avstånd där doskriterier och åtgärdsnivåer för olika skyddsåtgärder överskrids om 70, 80 eller 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. För ytterligare information om valet av referensnivåer, doskriterier, åtgärdsnivåer och beräkningsmetoder hänvisas till *SSM 2017:27 Översyn av beredskapszoner* [3] och bilaga 1.

4.1. Bidrag från olika exponeringsvägar

SSM har undersökt vilka exponeringsvägar som är av betydelse för att bedöma behovet av brådskande skyddsåtgärder för den dimensionerande händelsen på ESS. SSM har gjort detta genom att undersöka bidrag från olika exponeringsvägar till en oskyddad person under sju dygn. I den effektiva dosen under sju dygn ingår bidrag från exponeringsvägarna inandning (inandningsdos), molnpassage (molndos) och markbeläggning (markdos). Hur mycket de olika exponeringsvägarna bidrar till den effektiva dosen under sju dygn påverkas av vädret i samband med utsläppet. Vid låga vindhastigheter blir det relativa bidraget från inandningsdosen högre jämfört med övriga dosbidrag och vid förekomsten av regn ökar det relativa bidraget från markdosen jämfört med övriga dosbidrag.

För den dimensionerande händelsen på ESS kommer det största bidraget till den effektiva dosen under sju dygn från inandningsdos följt av markdos och därefter molndos. Inandningsdos står för mer än hälften av den effektiva dosen, medan molndosen är av liten betydelse. Bidraget från Gd-148 står i sin tur för mer än hälften av bidraget till den effektiva dosen under sju dygn, oavsett om utsläppet sker i samband med nederbörd eller inte. Eftersom Gd-148 är en ren alfastrålare, kommer dess bidrag till den effektiva dosen helt från inandningsdos.

Avstånden där doskriterierna för effektiv dos under sju dygn överskrids blir längre för vuxna än för barn för den dimensionerande händelsen på ESS. Normalt får barn en högre stråldos än vuxna vid motsvarande exponering eftersom de är känsligare för joniserande strålning. Detta återspeglas i att doskoefficienterna normalt är högre för barn än för vuxna. För den dimensionerande händelsen på ESS dominerar dosbidraget från inandning. Vuxna får ett högre intag av radioaktiva ämnen på grund av de andas in mer luft per tidsenhet jämfört med barn. Skillnaden i inandad luftvolym per tidsenhet är större än skillnaden i doskoefficienter mellan barn och vuxna för de aktuella nukliderna i detta fall.

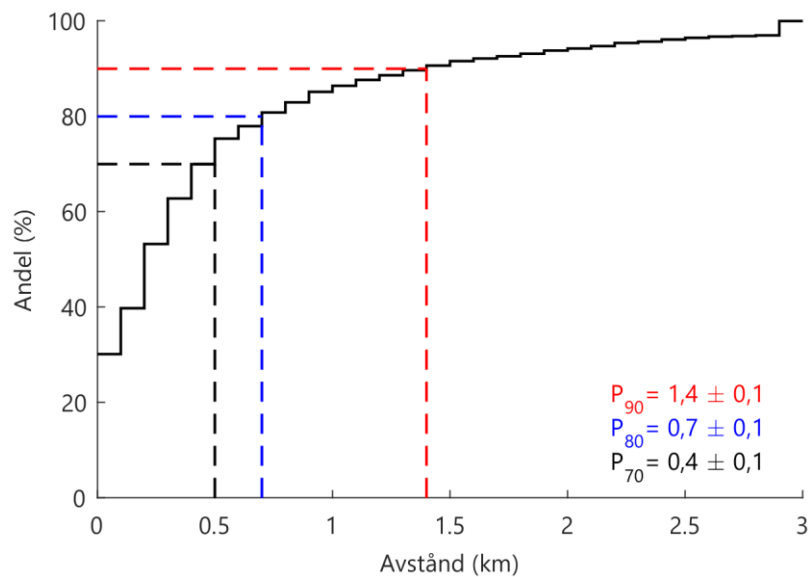
4.2. Utrymning

Resultaten från spridnings- och dosberäkningarna för den dimensionerande händelsen på ESS visar att doskriteriet för utrymning, 20 mSv effektiv dos under sju dygn, inte överskrids utanför tillträdesbegränsat område, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Förebyggande utrymning eller utrymning under pågående utsläpp är därmed inte motiverad.

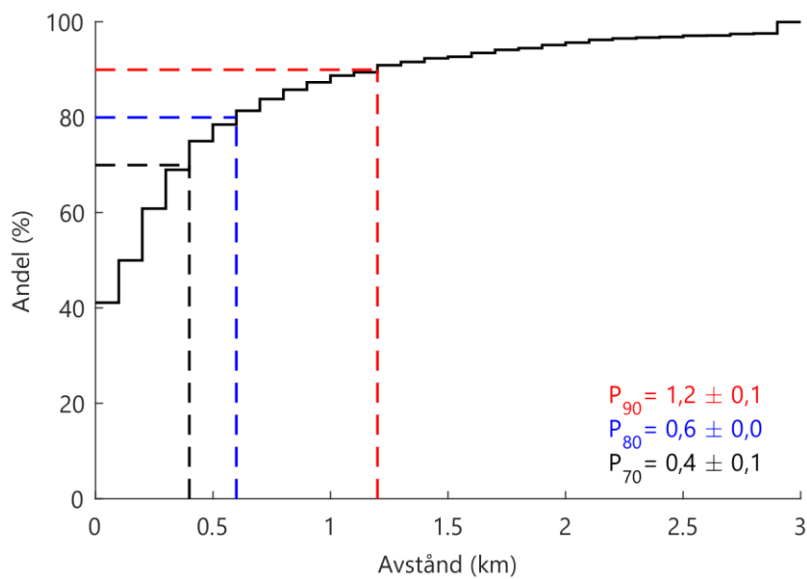
Resultaten från spridnings- och dosberäkningarna visar också att åtgärdsnivån för utrymning på grund av markbeläggning, 800 kBq/m² Ta-182, inte överskrids utanför tillträdesbegränsat område, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Planering för utrymning på grund av markbeläggningen är därmed inte motiverad. Se bilaga 1 för en närmare beskrivning av åtgärdsnivån för utrymning på grund av markbeläggning.

4.3. Inomhusvistelse

Fördelningen över avstånd där doskriteriet för inomhusvistelse, 10 mSv effektiv dos under sju dygn, för vuxna överskrids för den dimensionerande händelsen på ESS redovisas i Figur 3. Det största avstånd där doskriteriet överskrids är kortare än 400, 700 respektive 1 400 meter om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. För barn blir motsvarande avstånd något kortare, se Figur 4.



Figur 3. Fördelning över största avstånd där doskriteriet för inomhusvistelse, 10 mSv effektiv dos, överskrids för vuxna för den dimensionerande händelsen på ESS. I figuren har 70:e, 80:e och 90:e percentilerna markerats.



Figur 4. Fördelning över största avstånd där doskriteriet för inomhusvistelse, 10 mSv effektiv dos, överskrids för 1-åriga barn för den dimensionerande händelsen på ESS. I figuren har 70:e, 80:e och 90:e percentilerna markerats.

4.4. Jodtabletter

Resultat från spridnings- och dosberäkningarna visar att doskriteriet för att förhandsutdela jodtabletter, 50 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln för vuxna och barn, inte överskrids utanför tillträdesbegränsat område, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. SSM har också undersökt inom vilka avstånd doskriteriet för intag av redan förhandsutdelade jodtabletter, 10 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln för barn, överskrids. Inom detta avstånd kan det vara motiverat att rekommendera inomhusvistelse för att reducera sköldkörteldoser till barn, trots att det inte är motiverat baserat på den effektiva dosen. Resultaten från spridnings- och dosberäkningarna visar dock att doskriteriet för intag av förhandsutdelade jodtabletter inte överskrids utanför tillträdesbegränsat område, även om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Planering för inomhusvistelse enbart i syfte att reducera sköldkörteldoser till barn är därför inte motiverad kring ESS.

5. Underlag till utformning av beredskapszon

Resultat från spridnings- och dosberäkningarna visar vidare att inomhusvistelse kan vara motiverat för vuxna på avstånd ut till 400, 700 respektive 1 400 meter från utsläppspunkten på ESS om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. För barn blir motsvarande avstånd något kortare. Resultaten visar också att varken utrymning av allmänheten eller intag av jodtabletter för allmänheten är motiverat i samband med olyckor på ESS. Sammantaget anser SSM att en beredskapszon inom vilken skyddsåtgärden inomhusvistelse förbereds bör inrättas kring ESS.

För tillfälliga besökare innebär planering för inomhusvistelse att det ska vara möjligt att antingen gå inomhus inom beredskapszonen eller lämna området till fots vid larm från ESS. SSM anser att det är rimligt att planeringen omfattar mer än 70 procent av alla förekommande väderfall för ESS. Inomhusvistelse för de som arbetar i området bör kunna genomföras inom ett större avstånd än 400 meter samtidigt som det är möjligt för tillfälliga besökare att i tid före ett utsläpp lämna en beredskapszon med större utsträckning. SSM anser dock inte att det är rimligt att planeringen omfattar 90 procent av alla förekommande väderfall, eftersom möjligheterna för tillfälliga besökare att i tid före ett utsläpp lämna en beredskapszon med en utsträckning på 1 400 meter blir små. Sammantaget anser därför SSM att en beredskapszon kring ESS bör omfatta 80 procent av alla förekommande väderfall och därmed ha en ungefärlig utsträckning på 700 meter. Denna ambitionsnivå ligger i linje med SSM:s förslag för beredskapszoner kring andra verksamheter med joniserande strålning där det krävs beredskapsplanering för allmänheten.

Analysen visar att den dimensionerande händelsen sker snabbt och att förvarningstiden är kort. För en sådan händelse bedömer SSM att kriterierna för en radiologisk nödsituation är uppfyllda. SSM anser därför att det bör finnas ett system för varning som uppmanar allmänheten att stanna inomhus, gå inomhus eller lämna beredskapszonen vid allvarliga händelser på anläggningen som kan påverka omgivningen. SSM anser vidare att Viktigt Meddelande till Allmänheten (VMA) är lämpligt att använda för detta ändamål. I syfte att kunna larma de som kan beröras i tid, måste ESS initiera VMA.

SSM anser vidare att beredskapszonen bör definieras av naturliga geografiska gränser som gör den lätt att identifiera för både allmänhet och räddningspersonal. Beredskapszonen bör också utformas så att planerade skyddsåtgärder kan genomföras på ett effektivt sätt. Detta gäller också vid en framtida utbyggnad kring ESS.

I sydväst bör beredskapszonen avgränsas utmed en lämplig väg genom Science Village på ett ungefärligt avstånd om 700 m. I nordöst utgör ESS fastighet ett tillräckligt avstånd. I nordväst ligger E22 inom ett kortare avstånd än 700 meter från målbyggnaden på ESS. SSM anser trots detta att E22 kan användas som gräns för beredskapszonen och att trafikanter på E22 tillåts passera även under pågående utsläpp. Den möjliga stråldos som kan erhållas vid passage i fordon på E22 är lägre än den stråldos som tillfälliga besökare som lämnar beredskapszonen till fots kan erhålla. Stoppad trafik riskerar däremot att uppehålla passerande fordon under en längre tid, vilket kan leda till högre stråldoser. I sydost bör beredskapszonen avgränsas på lämpligt sätt på ett avstånd om cirka 700 m.

Utanför tillträdesbegränsat område kring ESS bedömer SSM att det inte kan uppstå någon markbeläggning i samband med olyckor som motiverar den typ av planeringsavstånd som SSM förslagit kring kärnkraftverken och mellanlagret för använt kärnbränsle i Oskarshamn.

6. Känslighetsanalyser

SSM har genomfört känslighetsanalyser i syfte att undersöka hur avstånden där doskriterier och åtgärdsnivåer överskrids påverkas av de osäkerheter som finns i underlaget till representativ källterm för den dimensionerande händelsen. SSM har identifierat två osäkerheter i underlaget som har särskilt stor betydelse, koncentrationen av radioaktiva ämnen i de volframblock som träffas av protonstrålen samt storleken på partiklarna i utsläppet.

6.1. Fördelning av radioaktiva ämnen i strålmålet

ESS har redovisat att det finns en osäkerhet avseende koncentrationen av radioaktiva ämnen i de volframblock som träffas av protonstrålen för den dimensionerande händelsen [5]. Analyser från ESS visar att de ytor som träffas av protonstrålen kan ha en koncentration av radioaktiva ämnen som överstiger genomsnittet i strålmålet med 50 procent. Med anledning av detta har SSM genomfört en känslighetsanalys där utsläppet av radioaktiva ämnen från strålmålet är 50 procent större än i den representativa källtermen.

Resultaten från känslighetsanalysen med högre koncentration av radioaktiva ämnen i strålmålet visar att avstånden där doskriterier och åtgärdsnivåer för skyddsåtgärder överskrids ökar, med undantag för avstånden kopplade till jodtabletter som inte påverkas. Avstånden där doskriteriet för utrymning, 20 mSv effektiv dos under sju dygn, överskrids ökar och utrymning utanför tillträdesbegränsat område kan vara motiverat om 70 procent eller mer av alla förekommande väderfall beaktas. Även avstånden där åtgärdsnivån för utrymning på grund av markbeläggningen, 800 kBq/m² Ta-182, överskrids ökar och utrymning utanför tillträdesbegränsat område på grund av markbeläggningen kan inte uteslutas om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Avstånden där doskriteriet för inomhusvistelse, 10 mSv effektiv dos under sju dygn, överskrids ökar med drygt 60 procent.

6.2. Partikelstorlek

ESS har redovisat resultat från experiment där den aerodynamiska diametern på partiklar i strålmålsområdet har studerats [9]. Experimenten som ESS redovisar är dock inte tillräckligt omfattande för att några säkra slutsatser ska kunna dras om fördelningen av partikelstorlekar i ett utsläpp för den dimensionerande händelsen.

SSM har antagit att partiklarna i utsläppet har diametern 1 mikrometer *Activity Median Aerodynamic Diameter* (AMAD) i spridnings- och dosberäkningarna. Partikelstorleken påverkar doskoefficienterna för inandningsdos liksom de processer i spridningsberäkningarna som styr koncentrationen av partiklar i luften och depositionen på marken. Antagandet om partikelstorlek påverkar därför avstånden där doskriterier och åtgärdsnivåer överskrids. SSM har genomfört en känslighetsanalys för större partiklar med diametern 5 mikrometer (AMAD).

Resultaten från känslighetsanalysen med större partikelstorlek visar att avstånden där doskriterier och åtgärdsnivåer för skyddsåtgärder överskrids ökar, med undantag för avstånden kopplade till jodtabletter som inte påverkas. Avstånden där doskriteriet för utrymning, 20 mSv effektiv dos under sju dygn, överskrids ökar och utrymning utanför tillträdesbegränsat område kan vara motiverat om 80 procent eller mer av alla förekommande väderfall beaktas. Även avstånden där åtgärdsnivån för utrymning på grund

av markbeläggningen, 800 kBq/m² Ta-182, överskrids ökar och utrymning utanför tillträdesbegränsat område på grund av markbeläggningen kan inte uteslutas om 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas. Avstånden där doskriteriet för inomhusvistelse, 10 mSv effektiv dos under sju dygn, överskrids ökar med drygt 30 procent.

För mindre partiklar kan SSM inte genomföra en känslighetsanalys. Den modell som SSM använder för spridningsberäkningar är inte tillämplig för partiklar med mindre diameter än 1 mikrometer (AMAD). SSM kan därför inte bedöma hur avstånden där doskriterier och åtgärdsnivåer överskrids påverkas för partikelstorlekar mindre än 1 mikrometer (AMAD).

6.3. Slutsats från känslighetsanalyserna

Resultaten från känslighetsanalyserna med högre koncentration av radioaktiva ämnen i strålmålet och med större partikelstorlek visar att i båda fallen kan utrymning utanför anläggningen inte längre uteslutas. Dessutom ökar avstånden där inomhusvistelse kan vara motiverad. Avstånden där utrymning kan vara motiverad ryms dock inom de avstånd där inomhusvistelse kan vara motiverat för den dimensionerande händelsen, för motsvarande andel väderfall. Inomhusvistelse i den typ av byggnader som berörs inom cirka 700 meter erbjuder ett gott skydd. SSM anser därför inte att resultaten från känslighetsanalyserna motiverar någon planering för utrymning kring ESS. Däremot förstärker resultaten från känslighetsanalysen SSM:s ställningstagande att beredskapszonens utsträckning bör vara cirka 700 m och att det inom denna zon bör finnas en planering för inomhusvistelse.

7. Dos efter skyddsåtgärder

SSM har använt referensnivån 20 mSv effektiv dos som utgångspunkt för förslaget till dimensionering av beredskapszonen kring ESS. Den referensnivå som gäller för ESS är fastställd i strålskyddsförordningen [10] och avser dos efter skyddsåtgärder, dvs. den dos som erhålls efter att skyddsåtgärder vidtagits. Vilka skyddsåtgärder som faktiskt kan vidtas i en radiologisk nödsituation beror på omständigheterna under händelsen. Beredskapsplaneringen ska dock möjliggöra att den valda referensnivån kan underskridas.

Referensnivån kan inte användas direkt i spridnings- och dosberäkningar. SSM har därför valt doskriterier för olika skyddsåtgärder som gäller för en oskyddad person under sju dygn och använt dessa i spridnings- och dosberäkningarna. Ett exempel på detta är doskriteriet 10 mSv effektiv dos till en oskyddad person under sju dygn för skyddsåtgärden inomhusvistelse. Beräknade avstånd framtagna med detta doskriterium ligger till grund för SSM:s förslag angående inom vilka avstånd inomhusvistelse bör förberedas.

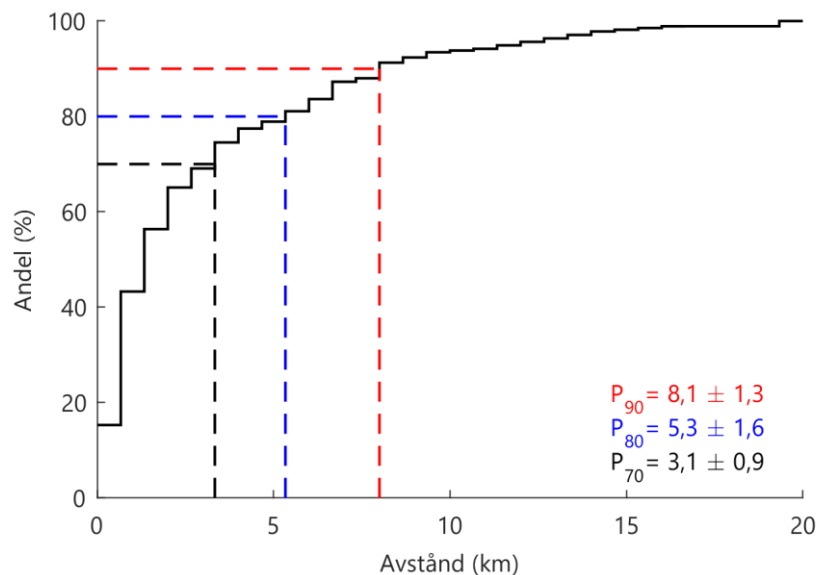
För att kontrollera att den beredskapsplanering som SSM föreslår möjliggör att referensnivån kan underskridas har SSM genomfört beräkningar av återstående dos givet att inomhusvistelse kan genomföras ut till cirka 700 meter kring ESS. SSM antar i dessa beräkningar att det i framtiden kan finnas hus just utanför perimeterskyddet kring ESS på ett avstånd från utsläppspunkten om cirka 200 m. SSM har därför beräknat vilka stråldoser som kan erhållas vid inomhusvistelse på detta avstånd. SSM antar vidare att inomhusvistelse kan ske både i hus som ger ett gott skydd mot exponering för joniserande strålning under ett utsläpp, t.ex. större kontorshus som SSM antar reducerar stråldoserna till en tiondel (skyddsfaktor 0,1) liksom i mindre byggnader som mer kan liknas vid vanliga småhus där SSM antar att stråldoserna reduceras till hälften (skyddsfaktor 0,5). SSM har även beräknat vilken stråldos en person som befinner sig utomhus under utsläppet strax utanför beredskapszonen kan erhålla.

Spridnings- och dosberäkningarna visar att en vuxen person som befinner sig inomhus på ett avstånd om 200 m från utsläppspunkten på ESS kan erhålla en effektiv dos på cirka 10 mSv i ett hus som erbjuder sämre skydd och en effektiv dos på cirka 2 mSv i ett hus som erbjuder bättre skydd om 90 procent av alla väderfall beaktas. Spridnings- och dosberäkningarna visar vidare att en vuxen person som befinner sig utomhus på ett avstånd om 700 m från utsläppspunkten på ESS kan erhålla en effektiv dos på cirka 13 mSv om 90 procent av väderfallen beaktas. Sammantaget visar beräkningarna att den föreslagna beredskapszonens utsträckning är tillräcklig för att referensnivån 20 mSv ska kunna underskridas för den dimensionerande händelsen på ESS givet att skyddsåtgärden inomhusvistelse genomförs inom beredskapszonen.

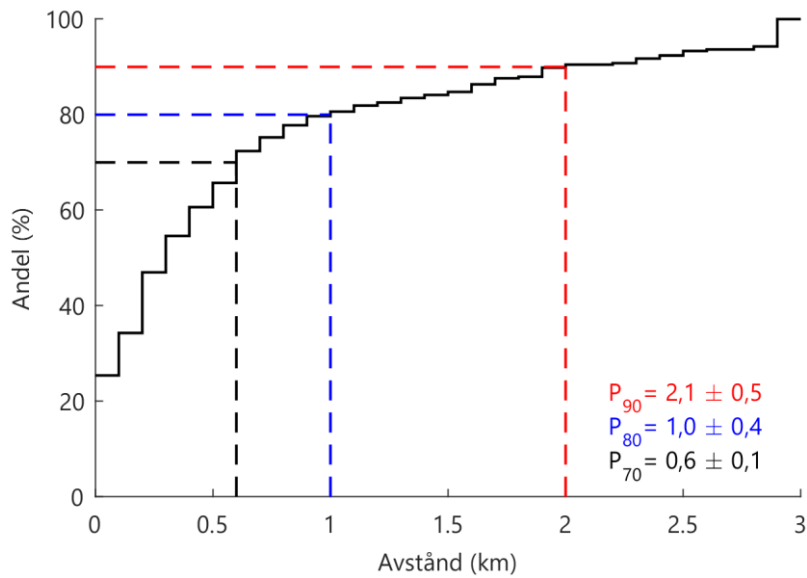
8. Sanering och strålningsmätningar

8.1. Sanering

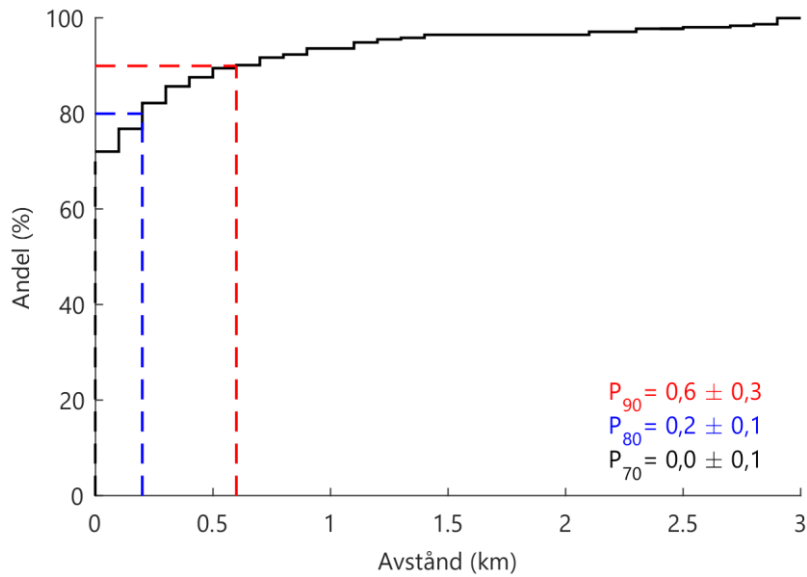
SSM har beräknat de största avstånden för den dimensionerande händelsen på ESS där olika saneringsåtgärder kan behöva övervägas. Resultaten redovisas i Figurerna 5-7 samt sammanfattas i Tabell 4. Redovisade avstånd motsvarar förväntade tillskottsdoser från markbeläggning under det första året efter händelsen i intervallet 1-50 mSv effektiv dos. En analys av i vilken mån saneringsåtgärder ska genomföras efter en inträffad olycka på ESS måste utgå från den faktiska markbeläggning som uppstått till följd av olyckan och beakta inväxt och halveringstider för de nuklider som bidrar mest till markdosen på sikt. De resultat som redovisas ska därför endast ses som indikativa för vilka saneringsåtgärder som kan vara motiverade om en olycka skulle inträffa på ESS. För ytterligare beskrivning av de olika åtgärdsnivåerna för sanering hänvisas till bilaga 1.



Figur 5. Fördelning över största avstånd där 40 kBq/m² markbeläggning av Ta-182 överskrids till följd av den dimensionerande händelsen på ESS. Beläggningen beräknas ge upphov till 1 mSv under det första året.



Figur 6. Fördelning över största avstånd där 200 kBq/m² markbeläggning av Ta-182 överskrids till följd av den dimensionerande händelsen på ESS. Beläggningen beräknas ge upphov till 5 mSv under det första året.



Figur 7. Fördelning över största avstånd där 400 kBq/m² markbeläggning av Ta-182 överskrids till följd av den dimensionerande händelsen på ESS. Beläggningen beräknas ge upphov till 10 mSv under det första året.

Tabell 4. Sammanfattning av de största avstånden där åtgärdsnivåer för sanering överskrids för den dimensionerande händelsen på ESS om 70, 80 respektive 90 procent av alla förekommande väderfall beaktas ("-" innebär att åtgärdsnivån inte överskrids utanför anläggningsområdet). Doserna i tabellen avser tillskott i effektiv dos från markbeläggningen under första året.

Percentil	Avstånd (km)
En saneringsplan bör tas fram och enklare saneringsinsatser kan vara motiverade (mer än 1 mSv)	
70	~ 3
80	~ 5,5
90	~ 8
Enklare saneringsinsatser är troligen motiverade (mer än 5 mSv)	
70	~ 0,5
80	~ 1
90	~ 2
Avancerade saneringsinsatser kan vara motiverade (mer än 10 mSv)	
70	-
80	-
90	~ 0,5
Avancerade saneringsinsatser är troligen motiverade (mer än 20 mSv)	
70	-
80	-
90	-
Avancerade saneringsinsatser är troligtvis inte tillräckligt för att området ska gå att återvända till på flera år (mer än 50 mSv)	
70	-
80	-
90	-

8.2. Strålningsmätningar

För den dimensionerande händelsen på ESS är förvarningstiden kort och utsläppsförloppet snabbt. För att kunna rekonstruera förloppet och uppskatta vilka stråldoser personer utanför anläggningen erhållit vid ett utsläpp från ESS krävs därför automatiska mätstationer som mäter kontinuerligt. Sådana instrument kan också vara till stor hjälp för räddningstjänstens möjligheter att avgöra om utsläpp pågår samt när utsläpp har upphört. SSM bedömer att instrument som mäter dosrat är tillräckliga för dessa ändamål.

Resultaten från spridnings- och dosberäkningarna visar att saneringsåtgärder till följd av den dimensionerande händelsen på ESS inte kan uteslutas. Strålningsmätningar i syfte att kartlägga utbredning och aktivitetsnivåer för olika nuklider kan därför vara nödvändiga. SSM:s analys visar att det är gammastrålande nuklider som dominerar stråldosen från markbeläggningen. Instrument som mäter dosrat i kombination med instrument som mäter aktivitetsnivåer för enskilda nuklider kan användas för att kartlägga markbeläggningen av gammastrålande nuklider.

SSM:s analys visar också att en markbeläggning av alfastrålaren Gd-148 inte kan uteslutas för den dimensionerande händelsen på ESS. Gd-148 är en ren alfastrålare och är därför svår att mäta i fält. Resultaten från spridnings- och dosberäkningarna visar dock att den gammastrålande nukliden Gd-146 kan användas som markör för att skatta markbeläggningen av Gd-148 ner till låga nivåer, se vidare bilaga 1. Markörnukliden Gd-146 kan mätas med samma instrument som används till att kartlägga markbeläggningen av övriga gammastrålande nuklider.

Referenser

- [1] ”Beslut om beredskapskategori för ESS, SSM2018-1037-5”, Strålsäkerhetsmyndigheten, 2018.
- [2] ”Underlag till placering i beredskapskategori för ESS och beredskapsplaneringen för ESS, SSM2018-1037-4”, Strålsäkerhetsmyndigheten, 2018.
- [3] ”SSM Rapport 2017:27 - Översyn av beredskapszoner”, Strålsäkerhetsmyndigheten, 2017.
- [4] ”ESS-redovisning, Komplettering – reviderat källtermsunderlag, SSM2018-1037-2”.
- [5] ”ESS-redovisning, Description of the bounding target loss of cooling accident, ESS-0092293, 2018-04-03”.
- [6] ”ESS-redovisning, AA03a_LP-104B Source term to SSM, ESS-0095522, 2018-04-03”.
- [7] ”The JEFF 3.1 Nuclear Data Library No. 6190”, OECD/NEA, 2005.
- [8] ”ESS-redovisning, Source term for emergency planning zone, ESS-0274564, 2018-04-03”.
- [9] ”ESS-redovisning, Tungsten Oxidation and AeroSol Transport (TOAST), ESS-0151001, 2018-04-03”.
- [10] Svensk författningssamling, ”Strålskyddsförordning (2018:506)”, 2018.
- [11] ICRP, ”Compendium of Dose Coefficients based on ICRP publication 60”, ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41 (Suppl.), 2012.

Bilaga 1

Inledning

I denna bilaga redovisas metoder, analyser och ställningstaganden som är specifika för ESS. Övriga metoder, analyser och ställningstaganden som använts i denna rapport redovisas i *SSM 2017:27 Översyn av beredskapszoner* [3].

Åtgärdsnivåer

Vid utsläpp från ESS kan det uppstå en markbeläggning där ett flertal nuklider bidrar till markdosen. Under de första sju dyggen dominerar bidraget från W-187 den effektiva dosen från markbeläggningen. W-187 har dock en halveringstid på cirka ett dygn och därmed kommer andra nuklider med längre halveringstid att dominera markdosen på längre sikt. Hf-172 följt av Ta-182 är de två nuklider som bidrar mest till markdosen under det första året. En stor del av markdosen från Hf-172 kommer dock från dotterdottern Lu-172 som växer in under de första veckorna innan jämvikt uppnås. Detta gör att årsdosen från markbeläggning är enklare att beräkna utifrån mätning av Ta-182 än Hf-172/Lu-172, varför åtgärdsnivåer anges för Ta-182. Under det första året har SSM uppskattat att en femtedel av markdosen kommer från Ta-182. Detta är ett konservativt antagande, då även kortlivade nuklider har tagits med.

SSM har fastställt åtgärdsnivån för utrymning på grund av markbeläggning till 800 kBq/m^2 Ta-182, vilket motsvarar en markdos på 20 mSv effektiv dos under det första året. I framtagandet av denna åtgärdsnivå har hänsyn tagits till 1 cm nedträngningsdjup, att inomhusvistelse reducerar dosen från markbeläggningen till hälften samt att en genomsnittlig person vistas inomhus 80 procent av tiden under ett år.

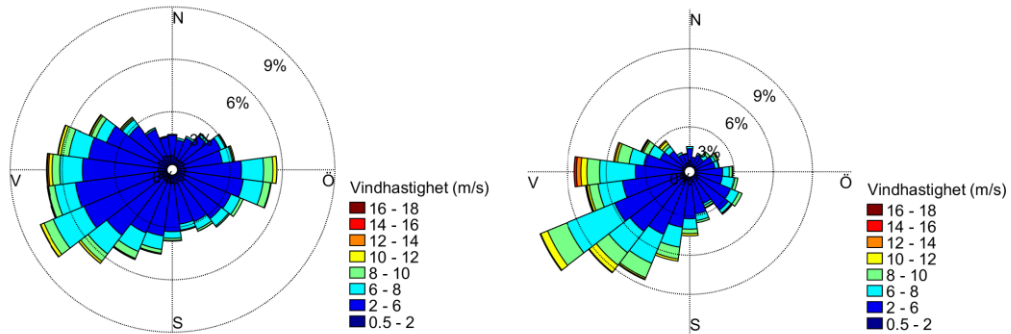
SSM har fastställt åtgärdsnivåer för sanering enligt samma princip som ovan. Åtgärdsnivåerna har satts till 40 kBq/m^2 Ta-182 för en årlig tillskottsdos på 1 mSv effektiv dos, 200 kBq/m^2 Ta-182 för en årlig tillskottsdos på 5 mSv effektiv dos och 400 kBq/m^2 Ta-182 för en årlig tillskottsdos på 10 mSv effektiv dos. Åtgärdsnivån där avancerade saneringsåtgärder troligen är motiverade är samma som åtgärdsnivån för utrymning på grund av markbeläggning, dvs. 800 kBq/m^2 Ta-182. Åtgärdsnivån där avancerade saneringsinsatser troligtvis inte är tillräckliga för att området ska gå att återvända till är fastställd till $2\,000 \text{ kBq/m}^2$ Ta-182.

Nukliden Gd-148 dominerar inandningsdosen vid ett utsläpp från ESS. Gd-148 är en ren alfastrålande nuklid, vilket gör den svår att mäta i fält. Gd-146 är en gammastrålande nuklid som kan användas som markör för att kartlägga en markbeläggning av Gd-148. Mätning av Gd-146 kan ske med nuklidspecifik mätning antingen direkt på Gd-146 eller indirekt genom mätning av dottern Eu-146. SSM uppskattar att en markbeläggning på 10 kBq/m^2 Gd-146 motsvarar en markbeläggning på cirka $0,4 \text{ kBq/m}^2$ Gd-148. Denna uppskattning bygger på förhållandet mellan Gd-146 och Gd-148 i strålmålet samt förutsättningen att de båda isotoperna frigörs och sprids i samma omfattning.

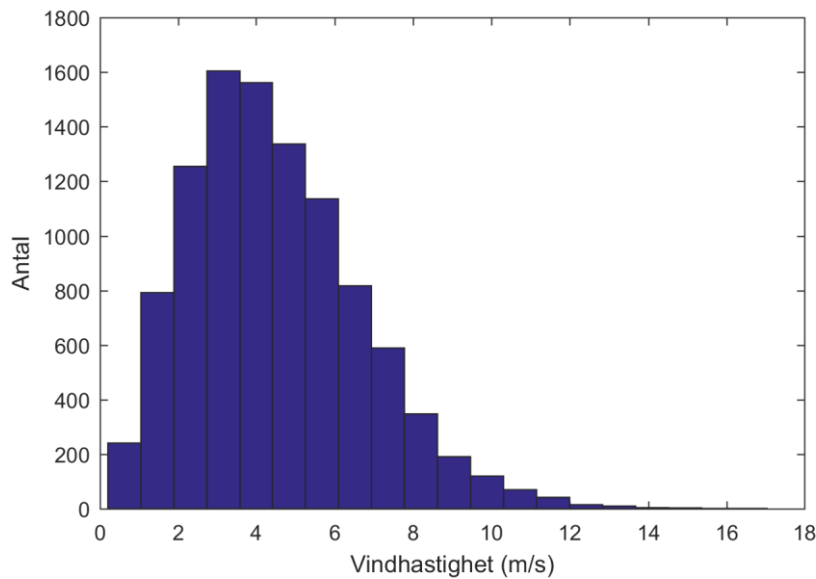
Meteorologiska vinddata

En vindros visar vindriktningar och vindhastigheter på en specifik plats för en viss höjd över marken. Vindriktningen anger den riktning varifrån vinden blåser. Vindrosor för ESS

har härletts för den datapunkt i det meteorologiska grunddatat (HIRLAM E05) som ligger närmast utsläppspunkten på anläggningen. Vindrosen visar vindriktnings- och vindhastighetsförhållandet på 25 meters höjd över markytan fördelat på 24 vindriktningar och 8 vindhastighetsintervall, se vindrosen till vänster i Figur 8. Vindstillast eller svag vind (lägre än 0,5 m/s) utelämnas i vindrosen, då det är svårt att bedöma vindriktningen i dessa fall. Dessa förhållanden utgör dock endast cirka 0,4 procent av alla förekommande väderfall. Då markbeläggningen av radioaktiva ämnen påverkas kraftigt av nederbörd redovisas också en vindros med vindriktningar vid nederbörd (gränsen för nederbörd är satt till 0,2 mm/h nederbörd), se vindrosen till höger i Figur 8. I Figur 9 redovisas vindhastigheten på 25 meters höjd i ett histogram. Medelvinden på denna höjd är 4,5 m/s.



Figur 8. Vindrosor för ESS, totalt (vänster) och endast vid nederbörd (höger). Svaga vindar redovisas ej i figurerna.



Figur 9. Vindhastighet på 25 meters höjd i närheten av ESS.

Spridnings- och dosberäkningar

Spridningsberäkningar

SSM:s analys av möjliga konsekvenser för allmänheten vid utsläpp från ESS fokuserar på närområdet kring anläggningen. SSM har därför i syfte att förbättra analysen modifierat vissa parametrar i spridningsberäkningarna i förhållande till tidigare beräkningar för andra

anläggningar [3]. SSM har använt en mer realistisk modellering av den vertikala vindskjuvningen (trifurkation). Då utsläppsförloppet är kortvarigt har SSM också använt en högre frekvens av modellpuffar (utsläppta aktivitetsmängder). SSM har även anpassat advektionstidssteget (det tidssteg aktivitetsmängdens horisontella förflyttning med luften följs i beräkningarna) i förhållande till vald upplösning i beräkningsrutnätet och den rådande medelvinden på utsläppshöjden. Anpassningen innebär en förbättrad förmåga att modellera effekter på korta avstånd från utsläppspunkten. Dessutom har SSM i spridnings- och dosberäkningarna för ESS beräknat bidraget från markdosen under 7 dygn med hjälp av spridnings- och dosberäkningsmodellen RIMPUFF, genom att låta modelleringen av aktivitetskoncentration i luft och på mark fortgå under 7 dygn efter inledande utsläpp.

Absorptionstyp

De nuklid- och åldersspecifika doskoefficienter som SSM använt i dosberäkningarna är hämtade från ICRP 119 [11], tabell G1 (aerosoler) och tabell H1 (reaktiva gaser). För samtliga nuklider har doskoefficienterna konservativt valts utifrån den absorptionstyp¹ (F/M/S/V) som ger störst dosbidrag till vuxna, då vuxna i fallet med ESS får högre inandningsdoser än barn. De absorptionstyper som använts i dosberäkningarna redovisas i Tabell 5. I vissa fall redovisas två absorptionstyper för samma ämne. Detta beror på att olika isotoper av samma ämne i dessa fall har olika absorptionstyp som ger störst dos till en vuxen person per inandad Bq.

Tabell 5. Antagen absorptionstyp vid beräkning av inandningsdos.

Ämne	Absorptionstyp
Cd	F
Ce	S
Eu	M
Gd	F/M
Hf	F/M
I	V
Lu	S
Re	M
Ta	M/S
Tb	M
Te	S
Tm	M
W	F
Yb	S

Sönderfall och inväxt

I källtermsberäkningarna har SSM beräknat sönderfall och inväxt individuellt för samtliga 989 nuklider. För vissa nuklider kan dock spridnings- och dosberäkningsmodellen RIMPUFF inte hantera inväxt. För dessa har SSM istället modellerat inväxt genom ett förenklat förfarande. I dosberäkningarna ingår komponenterna inandningsdos, molndos,

¹ F/M/S betecknar olika hastigheter (Fast, Medium, Slow) vid upptag i kroppen efter inandning. Jod behandlas som en reaktiv gas och har istället absorptionstypen V (Vapour).

och markdos för varje nuklid. För inandningsdosen har doskoefficienterna redan tagit hänsyn till inväxt av eventuella döttrar som sker efter ett intag. För molndos och markdos har SSM i de fall jämvikt förekommer under utsläppet summerat doskoefficienter för motsvarande bidrag för moder- och dotternukliderna, vilket redovisas i Tabell 6. I dessa fall har dotternukliden uteslutits ur källtermen för att undvika dubbelsummering.

I andra fall, där jämvikt inte förekommer under utsläppet, har SSM modellerat nukliderna var för sig utan inväxt från modernuklid till dotternuklid. Detta förenklade förfarande leder till att aktiviteten för dottern underskattas något. Effekten förväntas vara störst för markdos, medan den dominerande exponeringsvägen via inandning påverkas i mindre uträkning eftersom inandningsdosen endast uppstår när utsläppet passerar. SSM har beräknat att markdosen underskattas med cirka 7 procent den första veckan genom att inte inkludera inväxt. Den sammanlagda effekten på effektiv dos under 7 dygn blir därmed i storleksordningen 1 procent, vilket i sammanhanget är försumbart i förhållande till övriga osäkerheter i källterm samt spridnings- och dosberäkningar. Detta bygger på beräkningar SSM genomfört som visar att markdosen bidrar till mellan 10-25 procent av den totala effektiva dosen under 7 dygn.

Ytterligare ett specialfall som SSM hanterat genom ett förenklat förfarande är inväxt av I-122 från modern Xe-122. I detta fall modelleras I-122 i spridnings- och dosberäkningarna genom att halveringstiden sätts till moderns halveringstid. SSM anser att detta är en rimlig approximation, då de båda nukliderna är i jämvikt redan under utsläppet.

Tabell 6. Nuklider för vilka ett förenklat förfarande för sönderfall och inväxt använts i spridnings- och dosberäkningarna.

Nuklid	Dotternuklid	Summerade koefficienter
Gd-146	Eu-146	Moln- och markdos
Hf-172	Lu-178m	Moln- och markdos
Hf-178n	Hf-178m	Molndos
Ta-183	W-183m	Molndos
Te-118	Sb-118	Moln- och markdos



2018:22

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
Web: stralsakerhetsmyndigheten.se