



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

2017:27

Översyn av beredskapszoner
Bilaga 4 - Bränslefabriken i Västerås



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

2017:27

Översyn av beredskapszoner
Bilaga 4 - Bränslefabriken i Västerås

Datum: Oktober 2017

Rapportnummer: 2017:27 ISSN: 2000-0456

Tillgänglig på www.stralsakerhetsmyndigheten.se

Innehåll

1. Sammanfattning	5
2. Händelser.....	7
2.1. Dimensionerande händelser.....	7
2.2. Val av händelser.....	8
2.2.1. Kriticitet.....	8
2.2.2. Uranpulver	8
2.2.3. Uranhexafluorid	8
2.3. Kemiska risker.....	9
3. Representativa källtermer	10
3.1. Kriticitet	10
3.1.1. Nuklidinnehåll.....	10
3.1.2. Tidsförlopp och korrigering för sönderfall och inväxt	10
3.1.3. Känslighetsanalyser	11
3.1.4. Representativ källterm	11
3.2. Brand och utsläpp av uranpulver	13
3.2.1. Anrikning	13
3.2.2. Urval av nuklider	13
3.2.3. Känslighetsanalyser	15
3.2.4. Representativ källterm	15
4. Spridnings- och dosberäkningar	17
4.1. Kriticitet	17
4.1.1. Utrymning.....	18
4.1.2. Inomhusvistelse	18
4.1.3. Jodtabletter	19
4.1.4. Markbeläggning	20
4.2. Brand och utsläpp av uranpulver	22
4.2.1. Utrymning.....	22
4.2.2. Inomhusvistelse	23
4.2.3. Markbeläggning	26
5. Beredskapszon.....	29
5.1. Underlag till utformning av beredskapszon.....	29
5.1.1. Utrymning.....	29
5.1.2. Inomhusvistelse	29
5.1.3. Jodtabletter	30
5.2. Förslag till beredskapszon	30
5.2.1. Personkontaminationskontroll.....	32
6. Dos efter skyddsåtgärder	33
6.1. Kriticitet	33
6.2. Brand och utsläpp av uranpulver	34
7. Sanering och livsmedelsåtgärder.....	35
7.1. Underlag för planeringsavstånd till skydd mot intag av radioaktiva ämnen.....	35
7.1.1. Sanering.....	35
7.1.2. Livsmedel	36
7.2. Förslag på planeringsavstånd till skydd mot intag av radioaktiva ämnen.....	37
Referenser.....	38

1. Sammanfattning

På industriområdet Finnslätten i utkanten av Västerås ligger sedan 1966 en anläggning för framställning av kärnbränsle (hädanefter benämnd bränslefabriken). I fabriken konverteras anrikt uran, från uranhexafluorid (UF_6) till urandioxid (UO_2). Urandioxiden bearbetas sedan till bränsleelement för olika typer av kärnkraftsreaktorer. Inom anläggningen finns även faciliteter för uranåtervinning. Anläggningen drivs av Westinghouse Electric Sweden AB (WSE). Bränslefabrikens geografiska placering illustreras i Figur 1.

Anläggningen är av Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) klassificerad i hotkategori II, vilket innebär att olyckor på anläggningen bedöms kunna ge upphov till sådana omgivningskonsekvenser som motiverar att skyddsåtgärder för allmänheten kan behöva vidtas utanför anläggningen. Som en del i den beredskapsplanering som krävs för att sådana skyddsåtgärder ska kunna genomföras på ett effektivt sätt bör relevanta beredskapszoner finnas kring anläggningen.

SSM föreslår att det kring bränslefabriken ska finnas en beredskapszon. Inom beredskapszonen (Figur 1) ska brådskande skyddsåtgärder kunna vidtas.

Förslaget till utformning av beredskapszon kring bränslefabriken baseras på analyser av möjliga händelseförlopp, där två dimensionerade händelser har valts ut för att ligga till grund för beredskapsplaneringen. För dessa händelser har representativa källtermer fastställts, som beskriver de utsläpp som antas följa från respektive händelse. SSM har därefter utfört spridnings- och dosberäkningar, genomförda med historiska väderdata, för att uppskatta vid vilka avstånd det kan anses motiverat att vidta olika skyddsåtgärder. Utifrån dessa avstånd har ett konkret förslag till beredskapszon utarbetats av Länsstyrelsen i Västmanlands län i samråd med SSM, MSB och Västerås stad. Vidare föreslår SSM att ett planeringsavstånd införs för skydd mot intag av radioaktiva ämnen.

Denna bilaga utgör en del av rapporten *Översyn av beredskapszoner*. För förklaring av termer och begrepp, samt ytterligare information av icke anläggningsspecifik natur, hänvisas till huvudrapporten.



Figur 1. Bränslefabrikens läge i Västerås och förslag på ny beredskapszon kring anläggningen.

2. Händelser

SSM har i detta arbete utgått från analyser av möjliga händelser med omgivningskonsekvenser som redovisats av WSE [1, 2, 3]. Ur ett radiologiskt perspektiv kan dessa händelser grovt delas in i tre kategorier med avseende på vilka typer av omgivningskonsekvenser de ger upphov till: utsläpp av uranpulver (urandioxid), utsläpp av uranhexafluorid och kriticitetsolyckor.

Kriticitetsolyckor och utsläpp av uranpulver skiljer sig åt med avseende på vilken typ av omgivningskonsekvenser de kan ge upphov till. Kriticitetshändelser ger dels upphov till direktstrålning (gamma- och neutronstrålning), och dels utsläpp av fissionsprodukter i form av jod och ädelgaser. Utsläppet leder främst till inandnings- och molndos i samband med plympassage, i synnerhet dos till sköldkörteln från inandning av jodisotoper. Utsläpp av uranpulver resulterar huvudsakligen i inandningsdoser (eftersom de förekommande uranisotoperna framförallt är alfastrålare), samt i en markbeläggning av uran. Båda typerna av händelser bör därför beaktas i framtagandet av beredskapszon och planeringsavstånd.

Händelser med uranhexafluorid beaktas däremot inte, eftersom de radiologiska konsekvenserna från möjliga utsläpp av uranhexafluorid är mindre än konsekvenserna från utsläpp av uranpulver (se avsnitt 2.2.3) och eftersom de kemiska riskerna för detta ämne överstiger de radiologiska (se avsnitt 2.3).

2.1. Dimensionerande händelser

SSM har fastställt två dimensionerande händelser som ligger till grund för förslaget till beredskapszon och planeringsavstånd kring bränslefabriken:

- **En händelse med kriticitet.** Händelsen beror på överfyllning av en behållare med uranhaltig vätska, vilket leder till att systemet blir överkritiskt. Behållaren antas ha en total volym om 1 m³ med urankoncentrationen 400 g/L. Situationen pågår i 8 timmar innan tillräckligt med vätska kokat bort för att kriticitetsprocessen ska upphöra [4].
- **En händelse med brand och utsläpp av uranpulver (UO₂).** Händelsen beror på en brand som startar i eller sprids till filter i processventilationen. I scenariot antas att flamdetektorer och brandspjäll inte fungerar, vilket leder till att allt uranpulver i fem slangfilter, totalt 1000 kg urandioxid, frigörs och släpps ut till omgivningen [1]. Branden antas pågå i 5 timmar.

2.2. Val av händelser

2.2.1. Kriticitet

Den föreslagna händelsen är angiven av U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) som lämplig för att bedöma konsekvenser från kriticitetsolyckor vid bränslefabriker [4]. Den aktuella guiden publicerades redan 1979, men SSM bedömer att den fortfarande är godtagbar som underlag för beräkningar av möjliga omgivningskonsekvenser [5]. Guiden har även använts av WSE [1]. Händelser där kriticitet uppstår på grund på överfyllning av ett kärn med nära kritisk, uranhaltig vätska har ett snabbt förlopp, vilket också resulterar i fler kärnklyvningar i den första pulsen. Kriticitetshändelser som uppstår till följd av att vatten tillförs ett torrt uranpulver får ett långsammare förlopp [3].

Sannolikheten för mer omfattande händelser med kriticitet i samband med exempelvis jordbävningar eller bränder har av SSM bedömts som låg, även om det finns betydande mängder uran i delar av bränslefabriken. För att uppnå kriticitet krävs både att uran ansamlas i en ofördelaktig geometri, och att vatten tillförs i tillräcklig mängd.

2.2.2. Uranpulver

SSM bedömer att den valda händelsen med utsläpp av uranpulver är rimlig att använda som dimensionerande för liknande händelser vid bränslefabriken. WSE har redovisat att stora uranpulversutsläpp till omgivningen inte kan uteslutas vid vissa typer av händelser [2]. SSM anser dock att händelser där större mängder brännbart eller explosivt material tillförs utifrån, såsom exempelvis flygkrascher med större flygplan, inte bör ligga till grund för förslaget beredskapszon och planeringsavstånd kring bränslefabriken.

SSM bedömer även att andra olyckor (exempelvis stor brand) sannolikt inte leder till värre konsekvenser än de som redovisats för den utvalda dimensionerande händelsen. Vid bränder i andra delar av bränslefabriken, såsom konverteringen eller kutsverkstaden, är det rimligt att applicera en utsläppsfraktion för att skatta mängden uran som frigörs till omgivningen. Värden för sådana utsläppsfraktioner (s.k. fire release fractions) har publicerats av IAEA [6]. För uran och för icke-flyktiga pulver föreslår IAEA en utsläppsfraktion på 0,001, dvs. att en tusendel av det aktuella ämnet frigörs vid en brand. SSM bedömer därför att bränder i andra delar av bränslefabriken inte leder till större utsläpp av uranpulver än vad som antagits i den dimensionerande händelsen.

2.2.3. Uranhexafluorid

Det största utsläpp av uranhexafluorid som redovisats av WSE i samband med tänkbara händelser vid bränslefabriken är 945 kg [1, 3]. Detta motsvarar en utsläppt mängd uran på cirka 640 kg, vilket är mindre än i den dimensionerande händelsen med brand och utsläpp av uranpulver.

Uranhexafluorid bildar i kontakt med fukt i luften uranylfluorid (UO_2F_2) och fluorväte (HF). Både uranhexafluorid och uranylfluorid klassas av den Internationella strålskyddskommissionen (ICRP) som absorptionstyp¹ F, till skillnad från urandioxid som räknas till absorptionstyp S [7, s. 70]. Doskoefficienter för inandning av uran är 15-20 gånger lägre för absorptionstyp F än för typ S [7, s. 115-116]. Detta innebär att utsläpp av uranhexafluorid i samma storleksordning som den dimensionerande händelsen med utsläpp av uranpulver kommer att leda till betydligt lägre stråldoser. SSM beaktar därför inte denna händelse.

Fluorväte är en gas som vid kontakt med fukt bildar fluorvätesyra som är starkt frätande. De kemiska riskerna vid eventuella utsläpp av uranhexafluorid överstiger därför de radiologiska [3].

2.3. Kemiska risker

I rapporten *Analys av tänkbara större olyckor vid ASEA-ATOM:s bränslefabrik* [3] framhålls att de kemiska riskerna vid bränslefabriken är större än de radiologiska. Förutom uranhexafluorid finns även bland annat stora mängder ammoniak i bränslefabriken. Kemiska risker beaktas inte i regeringsuppdraget om beredskapszoner. Det är dock viktigt att den samlade beredskapsplaneringen kring bränslefabriken omhändertar såväl radiologiska som kemiska risker.

Vid exempelvis en stor brand med potentiella utsläpp från bränslefabriken är det inte säkert att det under pågående händelse går att fastställa om radiologiska eller kemiska utsläpp pågår. Osäkerheter kring ett pågående utsläppsförlopp bör inte leda till att hanteringen fördröjs i onödan, eller till att oklarhet råder kring ansvarsfördelning mellan berörda aktörer. Viktigt att notera i detta sammanhang är att i enlighet med *Förordning (2003:789) om skydd mot olyckor* hanteras utsläpp av kemikalier genom kommunal räddningstjänst medan utsläpp av radioaktiva ämnen från kärntekniska anläggningar innebär statlig räddningstjänst, där länsstyrelsen är ansvarig.

Uran är, förutom att det är radioaktivt, även toxiskt. Denna aspekt har inte beaktats i föreliggande arbete.

¹ Ämnen i absorptionstyp F tas snabbt upp i blodet från luftvägarna (fast rate of absorption). Ämnen i absorptionstyp S (slow rate of absorption) är relativt olösliga i luftvägarna [8]. Lösligheten påverkar hur länge ämnet kvarhålls i lungorna och därmed ämnets doskoefficienter.

3. Representativa källtermer

3.1. Kriticitet

SSM har tagit fram en representativ källterm för den dimensionerande händelsen med kriticitet. Källtermen baseras på den som presenterats i NRC Regulatory Guide 3.34 [4]. Som tidigare nämnts beror händelsen på överfyllning av en behållare med uranhaltig vätska. Behållaren har volymen 1 m^3 och urankoncentrationen i vätskan är 400 g/L . Kriticitetsförloppet pågår i 8 timmar innan tillräckligt med vätska kokat bort för att systemet ska bli underkritiskt [4].

3.1.1. Nuklidinnehåll

NRC anger att 100 procent av ädelgaser (krypton och argon), 25 procent av jod och 0,005 procent av icke-flyktiga fissionsprodukter² avgår från den uranhaltiga vätskan där kriticitet uppstått [4]. I detta arbete har endast ädelgaser och jod, samt relevanta dotternuklider till dessa beaktats. Cs-137 och andra icke-flyktiga fissionsprodukter har utelämnats från källtermen. Vid kriticitetshändelsen bildas till exempel $4,4\text{E}+08 \text{ Bq Cs-137}$ [3], varav endast $2,2\text{E}+04 \text{ Bq}$ frigörs. Detta är en i sammanhanget försumbar aktivitetsmängd, vilket innebär att markbeläggning från cesium inte kan bli ett problem kring bränslefabriken.

I spridnings- och dosberäkningarna har samtliga nuklider som listats av NRC [4] inkluderats. Då vissa av dessa har kort halveringstid (enstaka minuter) blir antaganden om tidsförlopp och eventuell fördröjning innan utsläpp till omgivningen av stor betydelse för vilken andel av den producerade aktiviteten som släpps ut. I den representativa källtermen för kriticitetshändelsen har sönderfall och inväxt av de ursprungligen producerade nukliderna och relevanta döttrar beaktats. Rb-88, Rb-89, Sr-89 och Cs-138 har inkluderats i källtermen såsom dotternuklider till Kr-88, Kr-89 och Xe-138. Rb-87, Cs-135 och Cs-137 har däremot inte inkluderats, då inväxt av dessa nuklider blir försumbar på grund av deras relativt långa halveringstider.

3.1.2. Tidsförlopp och korrigerig för sönderfall och inväxt

Den dimensionerande händelsen med kriticitet antas ge upphov till $1\text{E}+19$ kärnklyvningar, varav 10 procent ($1\text{E}+18$) sker i en första puls ("burst"). Därefter följer ytterligare pulser om vardera $1,9\text{E}+17$ kärnklyvningar var tionde minut under 8 timmar [4].

För händelser med kriticitet har SSM fastställt förvarningstiden, dvs. tiden från kriticitet när fissionsprodukterna bildas till dess att utsläpp från byggnaden startar, till 5 minuter. WSE har angivit att förvarningstiden kan vara så kort som enstaka minuter. I spridnings- och dosberäkningarna har SSM vidare antagit att utsläppet från respektive puls pågår i 10 minuter.

² WSE anger att icke-flyktiga fissionsprodukter därefter reduceras med en faktor 3000 i filter innan de når omgivningen [3], men i denna utredning antas att utsläpp ej sker via filter.

Aktivitetens innehåll i varje utsläpp har korrigerats för sönderfall och inväxt till mitten av respektive utsläppsintervall.

Sammanfattningsvis innebär detta att den aktivitet som genereras i samband med händelsen med kriticitet korrigeras för sönderfall och inväxt under 10 minuter (5 minuter förvarningstid plus halva utsläppsintervallet). En tiondel av aktiviteten släpps ut under de första 10 minuterna av utsläppsförloppet och övriga nio tiondelar fördelas jämnt över de resterande 8 timmar som förloppet pågår.

Direktstrålningen uppstår momentant i samband med kriticitet och här finns således ingen förvarningstid. Personer i närheten kommer att bestrålas samtidigt som kriticitetslarmets sensorer. Direktstrålningen från den första pulsen, motsvarande 10 procent av den totala dosen från direktstrålning i detta scenario, går således inte att undvika genom att vidta skyddsåtgärder. Direktstrålning från efterföljande pulser, var tionde minut, finns det däremot förutsättningar att undgå.

3.1.3. Känslighetsanalyser

I analyser av omgivningskonsekvenser gjorda av WSE har utsläppshöjden satts till 20 m (skorstenshöjden). Eftersom det inte kan uteslutas att de dimensionerande händelser som analyserats uppstår samtidigt som, eller på grund av, andra allvarliga händelser (exempelvis kraftiga jordbävningar eller omfattande industribränder) är det inte säkert att ett eventuellt utsläpp går via skorstenen. Eftersom höjden för utsläppet har stor betydelse för luftkoncentrationen av radioaktiva ämnen i närområdet, och därmed för såväl inandningsdoser som markbeläggningar, har SSM även genomfört beräkningar där höjden för utsläppspunkten satts till 10 m. Denna höjd motsvarar ungefär byggnadens höjd och en punkt där ventilationen ansluter till skorstenen. I praktiken kan det heller inte uteslutas att utsläppet kan ske genom en öppen dörr eller liknande, vilket skulle motivera beräkningar för en ytterligare lägre utsläppspunkt (1-2 m). Utsläpp på så låga höjder medför dock att de modeller som använts för spridnings- och dosberäkningarna inte längre är giltiga (exempelvis blir effekter av byggnader betydande). SSM har gjort bedömningen att effekten av ett sådant utsläpp snarast skulle betyda att konsekvenserna i det absoluta närområdet (inne på anläggningen) blir värre, eftersom utsläppet kvarhålls i lä av byggnader. Omvänt blir konsekvenserna utanför anläggningen sannolikt mindre. Beräkningar för lägre utsläppshöjder har därför inte genomförts.

3.1.4. Representativ källterm

I Tabell 1 nedan sammanfattas den representativa källtermen (nuklider och aktiviteter) för kriticitet vid bränslefabriken. Utsläppet av jodisotoper antas ske i partikulär form. Spridnings- och dosberäkningar har genomförts för utsläppshöjderna 10 och 20 m.

Utsläppet antas komma från bränslefabrikens skorsten med koordinaterna 6613007, 589401 (SWEREF99 TM). Inget värmeinnehåll har antagits (dvs. inget plymlyft³).

Tabell 1. Nuklider och aktiviteter i den representativa källtermen för kriticitet vid bränslefabriken i Västerås. I tabellen redovisas totalt utsläppt aktivitet, samt aktivitet från första pulsen (0-10 min) och aktivitet från efterföljande pulser (10-480 min). Aktiviteter är korrigerade för sönderfall och inväxt under 10 minuter.

Utsläpps- grupp	Nuklid	Halveringstid	Aktivitet (Bq)		
			Totalt	0-10 min	10-480 min
Ädelgaser ¹	Kr-83m	110 min	5,6E+12	5,6E+11	5,0E+12
	Kr-85	10,8 år	6,1E+07	6,1E+06	5,5E+07
	Kr-85m	4,48 tim	5,4E+12	5,4E+11	4,9E+12
	Kr-87	76,3min	3,3E+13	3,3E+12	3,0E+13
	Kr-88	2,84 tim	2,3E+13	2,3E+12	2,1E+13
	Rb-88 ¹	17,8 min	7,6E+12	7,6E+11	6,8E+12
	Kr-89	3,15 min	1,7E+14	1,7E+13	1,5E+14
	Rb-89 ¹	15,4 min	2,1E+14	2,1E+13	1,9E+14
	Sr-89 ¹	50,5 d	1,6E+10	1,6E+09	1,4E+10
	Xe-131m	11,9 d	3,0E+09	3,0E+08	2,7E+09
	Xe-133	5,24 d	6,7E+10	6,7E+09	6,0E+10
	Xe-133m	2,19 d	1,0E+12	1,0E+11	9,0E+11
	Xe-135	9,14 tim	5,3E+13	5,3E+12	4,7E+13
	Xe-135m	15,3 min	1,4E+13	1,4E+12	1,3E+13
	Xe-137	3,82 min	3,0E+14	3,0E+13	2,7E+14
	Xe-138	14,1 min	2,9E+14	2,9E+13	2,6E+14
	Cs-138 ¹	33,4 min	7,1E+13	7,1E+12	6,4E+13
Halogener	I-131	8,02 d	3,2E+11	3,2E+10	2,9E+11
	I-132	2,30 tim	3,9E+13	3,9E+12	3,5E+13
	I-133	20,8 tim	5,9E+12	5,9E+11	5,3E+12
	I-134	52,5 min	1,5E+14	1,5E+13	1,3E+14
	I-135	6,57 tim	1,7E+13	1,7E+12	1,5E+13

¹ Inklusive sönderfallsprodukter från ädelgaser

³ Med plymlyft avses den höjd som utsläppet lyfts från utsläppspunkten beroende på utsläppets relativa värmeinnehåll i jämförelse med omgivningen.

3.2. Brand och utsläpp av uranpulver

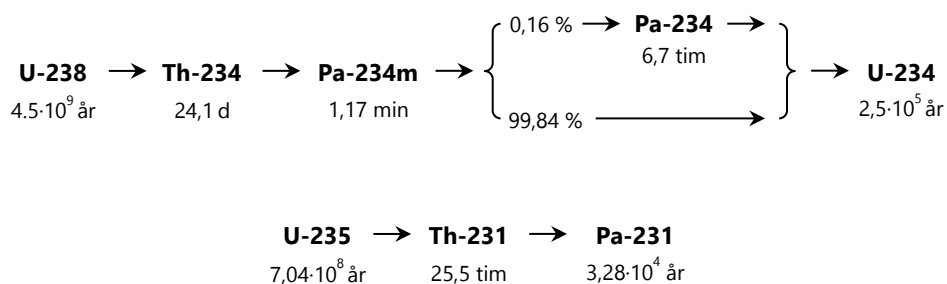
SSM har fastställt en representativ källterm för den dimensionerande händelsen med brand och utsläpp av uranpulver. Källtermen omfattar 1000 kg urandioxid (vilket motsvarar 880 kg uran) med anrikningsgraden 3,9 procent. Kemisk separation av bränslet antas ha skett för mer än 100 dygn sedan.

3.2.1. Anrikning

Naturligt uran består av U-238 (99,3 procent), U-235 (0,7 procent) och U-234 (0,005-0,006 procent). I bränslefabriken hanteras anrikat uran. WSE har angivit att medelanrikningen, dvs. andelen U-235, för det uran som ska konverteras det kommande året är 3,9 procent. Under anrikningsprocessen ökas även andelen U-234 med samma faktor som U-235 (pga. liten skillnad i atommassa). Givet ett konservativ antagande om andelen U-234 i naturligt uran (0,006 procent), medför detta att andelen U-234 i det anrikade uranet är 0,033 procent.

3.2.2. Urval av nuklider

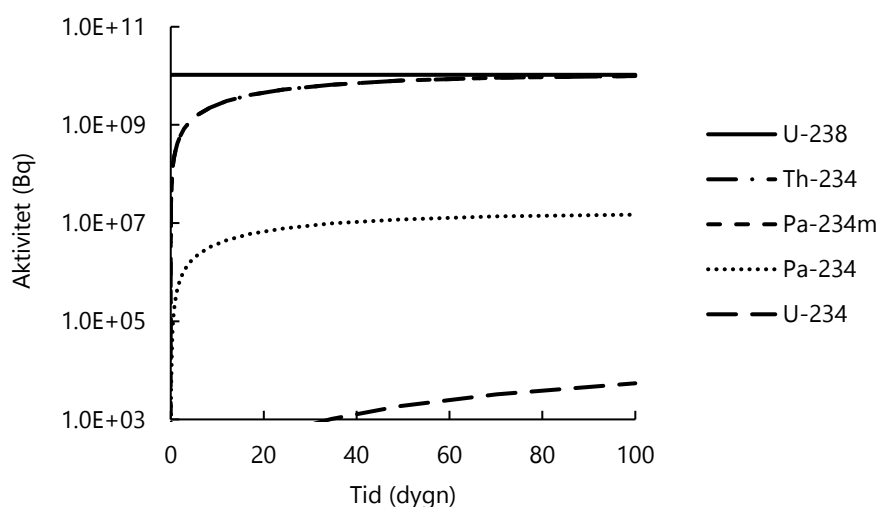
I naturen förekommer uranisotoperna tillsammans med dotternuklider i sina respektive sönderfallskedjor. I anrikningsprocessen separeras uranet kemiskt från övriga ämnen vilket resulterar i att dotternukliderna avlägsnas. Efter denna separation kommer dock en inväxt av dotternuklider att påbörjas igen. Mängden aktivitet hos respektive dotternuklid kommer att avgöras av tid mellan separation och händelse samt nuklidernas halveringstider. De första delarna av sönderfallskedjorna för U-238 och U-235 illustreras i Figur 2. SSM har i beräkningar av aktiviteter för döttrar till uran antagit att minst 100 dygn förflutit sedan separation.



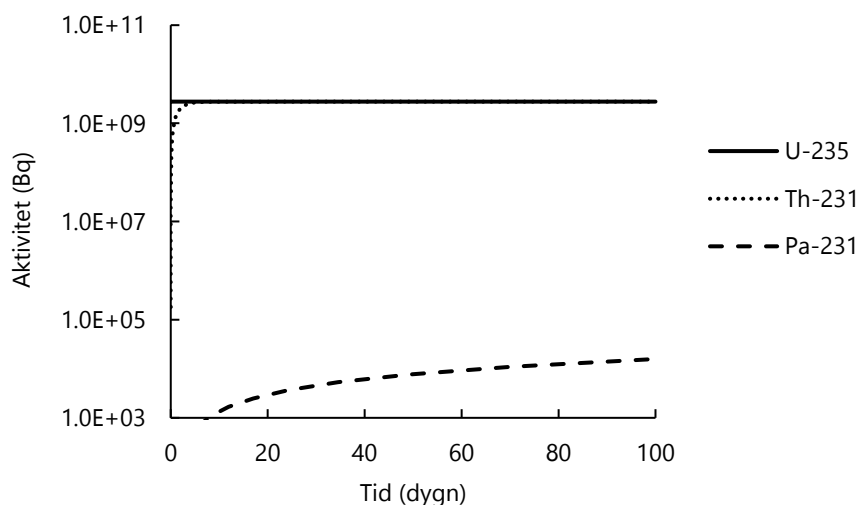
Figur 2. Delar av sönderfallskedjor (med halveringstider) för U-238 och U-235 med relevans för källtermer från bränslefabriken.

Aktiviteten hos dotternuklider med kortare halveringstid än modernukliden kommer att byggas upp tills jämvikt uppnås. Full jämvikt uppnås efter en tid som motsvarar cirka tio halveringstider för dotternukliden. Aktiviteten hos Th-234 kommer att vara 94 procent av aktiviteten hos U-238 efter 100 dygn [7] (se Figur 3). Pa-234m kommer i sin tur att uppnå jämvikt med Th-234 inom cirka 15 minuter. Halveringstiden hos U-234 är så lång att inväxten av denna nuklid kan försummas i dessa sammanhang. I sönderfallskedjan för

U-235 kommer Th-231 att uppnå jämvikt med U-235 inom cirka tio dygn. Inväxten av Pa-231 blir försumbar (se Figur 4).



Figur 3. Inväxt av döttrar till U-238 under 100 dygn. Döttrar efter U-234 i sönderfallskedjan har inte inkluderats. Initial aktivitet av U-238 är $1,05E+10$ Bq. Notera att Pa-234m befinner sig i jämvikt med Th-234, varför kurvorna sammanfaller i diagrammet.



Figur 4. Inväxt av döttrar till U-235 under 100 dygn. Döttrar efter Pa-231 har inte inkluderats. Initial aktivitet av U-235 är $2,75E+09$ Bq.

SSM har valt att, förutom uranisotoperna U-234, U-235 och U-238, även inkludera Th-231, Th-234 och Pa-234m i källtermen för händelsen med brand och utsläpp av uranpulver. Dotternukliderna förväntas dock ge ett litet bidrag till den totala dosen. Pa-234 har inte inkluderats eftersom grenkvoten för sönderfall till denna nuklid endast är 0,16 procent. Dessutom är doskoefficienten för Pa-234 vid inandning endast cirka en tusendel av den för U-238 [8]. Dosbidraget från Pa-234 blir därför försumbart.

Th-234 och Pa-234m antas befinna sig i jämvikt med U-238, och Th-231 i jämvikt med U-235. Aktiviteter för den fastställda källtermen presenteras i Tabell 2 i avsnitt 3.2.4.

3.2.3. Känslighetsanalyser

Eftersom höjden för utsläppet har stor betydelse för luftkoncentrationen i närområdet, och därmed för såväl inandningsdoser som markbeläggningar, har beräkningar genomförts för både utsläppshöjden 10 och 20 m (se avsnitt 3.1.3).

För händelsen med brand och utsläpp av uranpulver har SSM även valt att undersöka inverkan av antagen partikelstorlek och densitet. För beräkningar av markbeläggning har dessa parametrar stor betydelse för resultatet, eftersom de påverkar depositions hastigheten. Partikelstorleken har även betydelse för inandningsdoser, eftersom större partiklar har lägre doskoefficienter då de inte tas upp i lika hög utsträckning i luftvägarna.

I spridnings- och dosberäkningarna har partikelstorleken varierats mellan 1, 5 och 10 μm . Den faktiska partikelstorleken i ett utsläpp är svår att förutsäga. WSE har angivit att en partikelstorlek på 5 μm är rimlig att anta, baserat på en studie av förekommande partikelstorlekar i luften inne i bränslefabriken [9]. Samma förhållanden behöver dock inte nödvändigtvis gälla efter att uranet ansamlats på filter och därefter, genom brand, spridits vidare till omgivningen. SSM gör därför inget antagande om vilken partikelstorlek som är mest trolig. Större partikelstorlekar än 10 μm har inte beaktats. Större partiklar har en betydligt högre depositions hastighet, vilket leder till högre koncentrationer i närområdet och därmed till kortare avstånd där doskriterier kan komma att överskridas. Större partikelstorlekar kommer också, på grund av lägre doskoefficienter, att resultera i lägre inandningsdoser.

Förutom partikelstorlek har SSM även valt att undersöka inverkan av densitet på resultat från spridnings- och dosberäkningarna. WSE har angivit att densiteten på uran inom bränslefabriken kan variera mellan 1,3 och 10,5 g/cm^3 . SSM har genomfört beräkningar för 1, 5 och 10 g/cm^3 .

Slutligen har SSM ansatt två olika utsläppstider: 60 och 300 minuter. WSE har angivit att branden antas pågå under 5 timmar. Ett kortare utsläppsförlopp kan dock leda till högre stråldoser eftersom den utsläppta aktiviteten fördelas över ett mindre område på grund av mindre vindkantring.

3.2.4. Representativ källterm

En sammanställning av nuklider och utsläppt aktivitet presenteras i Tabell 2. Värden för övriga källtermsparametrar redovisas i Tabell 3. Uran och torium antas ha absorptionstyp S.

Utsläppet antas komma från bränslefabrikens skorsten med koordinaterna 6613007, 589401 (SWEREF99 TM). Inget värmeinnehåll har antagits (dvs. inget plymlyft).

Eftersom det, vid händelser med brand i processventilationen, inte kan uteslutas att områdeslarm utlyses först vid detekterat förhöjda aktivitetskoncentrationer i skorstenen, har SSM antagit att ingen förvarningstid finns som medger att skyddsåtgärder kan vidtas innan utsläppet påbörjas.

Tabell 2. Nuklider och aktiviteter i representativ källterm för händelsen med brand och utsläpp av uranpulver.

Nuklid	Halveringstid	Andel (av uran)	Massa (kg)	Specifik akt. (Bq/g)	Aktivitet (Bq)
U-234	2,46E+05 år	0,00033	0,29	2,3E+08	6,8E+10
U-235	7,04E+08 år	0,039	34	8,0E+04	2,7E+09
U-238	4,47E+09 år	0,96	850	1,2E+04	1,0E+10
Th-234 ¹	24,1 d	-	1,2E-08	8,6E+14	1,0E+10
Th-231 ²	25,5 tim	-	1,4E-10	2,0E+16	2,7E+09
Pa-234m ¹	1,17 min	-	4,1E-13	2,5E+19	1,0E+10

¹ i jämvikt med U-238

² i jämvikt med U-235

Tabell 3. Parametervärden använda vid känslighetsanalyser.

Parameter	Värden
Höjd (m)	10, 20
Utsläppstid (min)	60, 300
Partikelstorlek (µm)	1, 5, 10
Densitet (g/cm ³)	1, 5, 10

4. Spridnings- och dosberäkningar

SSM har genomfört spridnings- och dosberäkningar baserade på historiska väderdata för att undersöka vid vilka avstånd doskriterier och åtgärdsnivåer överskrids. Beräkningar har genomförts för perioden 2013-2015, totalt cirka 950 spridnings- och dosberäkningar per representativ källterm, vilket ger ett tillräckligt statistiskt underlag för att omhänderta variationer i väderförhållanden kring bränslefabriken.

I detta kapitel redovisas resultat som visar på vilka avstånd doskriterier för utrymning och inomhusvistelse, samt för intag av jodtabletter överskrids. Det största avstånd där ett doskriterium överskrids, givet att en viss andel av väderfallen beaktas, har av SSM använts som utgångspunkt för dimensionering av respektive skyddsåtgärd. Åtgärdsnivån för markbeläggning av uran har använts för att indikera inom vilka områden det kommer att behövas råd och rekommendationer till allmänheten i syfte att minska intag av radioaktiva ämnen. För ytterligare information om spridnings- och dosberäkningar samt doskriterier och åtgärdsnivåer hänvisas till huvudrapporten.

4.1. Kriticitet

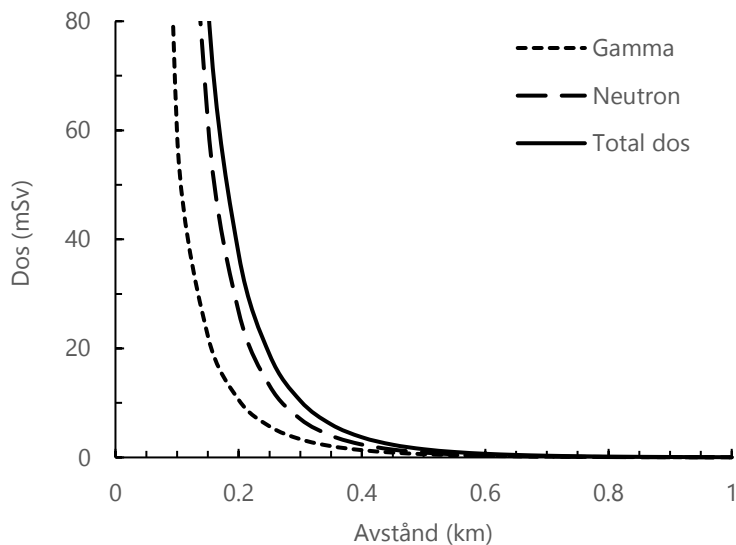
Nedan presenteras resultat från spridnings- och dosberäkningar för den dimensionerande händelsen med kriticitet. Kriticitetsprocessen ger, förutom utsläpp av fissionsprodukter, även upphov till direktstrålning, både gammastrålning och neutroner. För en korrekt uppskattning av omgivningskonsekvenser måste således stråldoser från utsläpp av fissionsprodukter och stråldoser från direktstrålning adderas. Dos från direktstrålningen kan uppskattas med ekvation 1 och 2 nedan [4].

$$D_{\gamma} = \frac{2,1 \cdot 10^{-19} \cdot N}{d^2 \cdot e^{3,4d}} \quad (1)$$

$$D_n = \frac{7 \cdot 10^{-19} \cdot N}{d^2 \cdot e^{5,2d}} \quad (2)$$

I ekvationerna ovan är D_{γ} och D_n dos i mSv från gamma- respektive neutronstrålning, N antalet kärnklyvningar och d avståndet i km.

För att beräkna stråldoser till allmänheten antas att direktstrålningen (beräknad med ekvationerna ovan) skärmas av motsvarande 20 cm betong. Resultande skärningsfaktorer är 2,3 för neutronstrålning och 2,5 för gammastrålning [4]. Resultande totala stråldoser illustreras i Figur 5 nedan. Värt att notera är att endast en tiondel av den totala dosen från direktbestrålning kommer från den initiala pulsen; 90 procent av dosen fördelas jämnt över resterande åtta timmar som processen pågår (i en puls var tionde minut), vilket ger goda möjligheter att reducera exponeringen genom att vidta relevanta skyddsåtgärder.



Figur 5. Effektiv dos från direktstrålning vid kriticitet till en oskyddad person som befinner sig utomhus under hela händelsen. En skärmning motsvarande 20 cm betong har antagits.

4.1.1. Utrymning

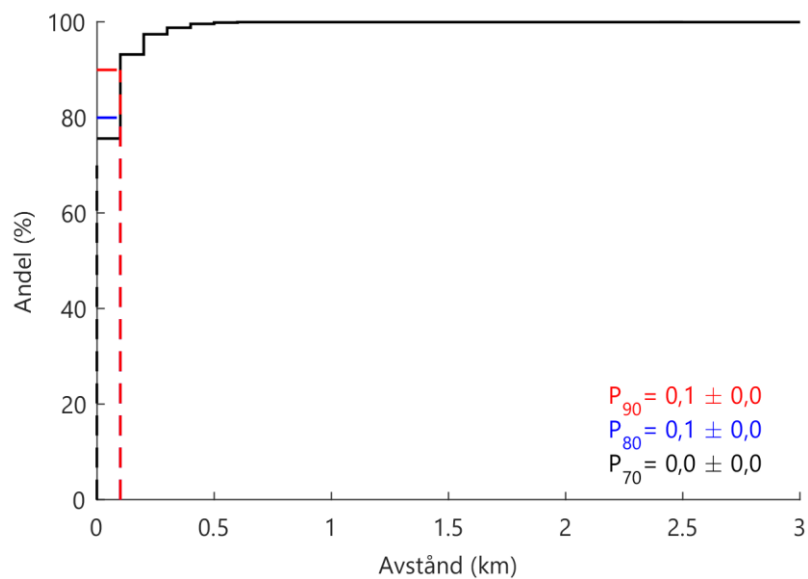
Spridnings- och dosberäkningar för utsläpp av fissionsprodukter vid händelsen med kriticitet visar att doskriteriet för utrymning, 20 mSv effektiv dos, inte överskrids utanför anläggningen vid den dimensionerande händelsen med kriticitet. Doskriteriet kan dock överskridas på grund av direktstrålning ut till cirka 250 m (se Figur 5).

Då utsläppet huvudsakligen består av ädelgaser (som inte deponerar på marken) och jodisotoper som alla är förhållandevis kortlivade, kan ingen markbeläggning uppstå som skulle föranleda utrymning efter ett utsläpp.

4.1.2. Inomhusvistelse

Det största avstånd där doskriteriet för inomhusvistelse, 10 mSv effektiv dos, överskrids för barn är mindre än 100 meter i 90 procent av väderfallen, för utsläppshöjden 10 m (se Figur 6). För utsläppshöjden 20 m och för vuxna (båda utsläppshöjderna) blir avstånden kortare.

Direktstrålning kan leda till att doskriteriet för inomhusvistelse överskrids ut till cirka 300 m (se Figur 5).

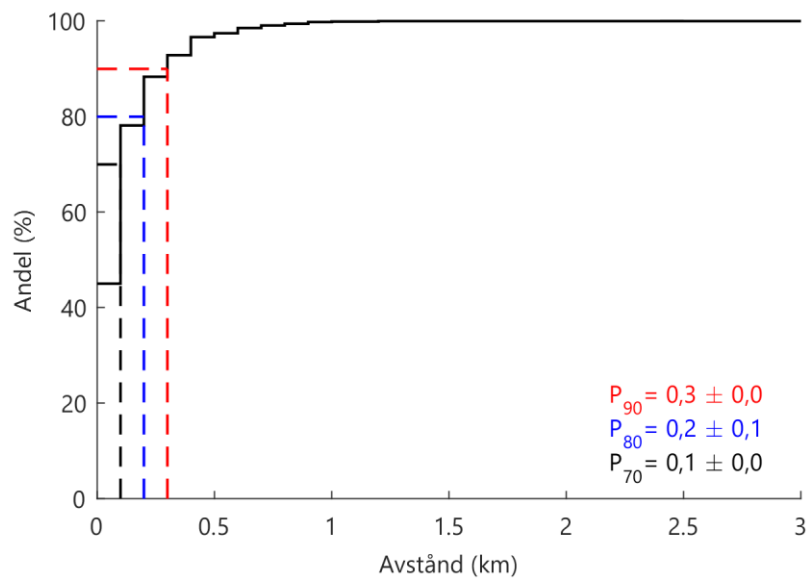


Figur 6. Fördelning över största avstånd där doskriteriet för inomhusvistelse 10 mSv effektiv dos till barn överskrids, för händelsen med kriticitet vid bränslefabriken och för utsläppshöjden 10 m. I diagrammet har 70:e, 80:e och 90:e percentilerna markerats.

4.1.3. Jodtabletter

Doskriteriet 50 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln överskrids utanför anläggningen bara för barn och för utsläppshöjden 10 m. Det största avstånd där doskriteriet överskrids blir kortare än 300 m i 90 procent av de väderfall som analyserats (se Figur 7).

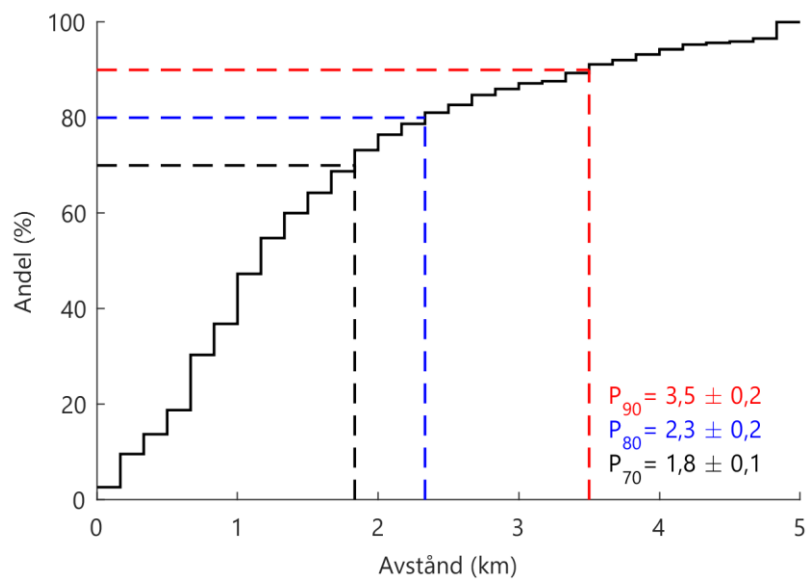
SSM har även undersökt vid vilka avstånd som ekvivalent dos till sköldkörteln för barn kan uppgå till 10 mSv. Resultaten indikerar i detta sammanhang var det skulle vara motiverat att rekommendera inomhusvistelse för att reducera sköldkörteldoser, även om nivån på sköldkörteldos inte motiverar förhandsutdelning av jodtabletter. För utsläpp via skorstenen (höjd 20 m) blir det största avståndet där nivån överskrids kortare än 500 m i 80 procent av förekommande väderfall. För utsläppshöjden 10 m ökar avståndet till 900 m.



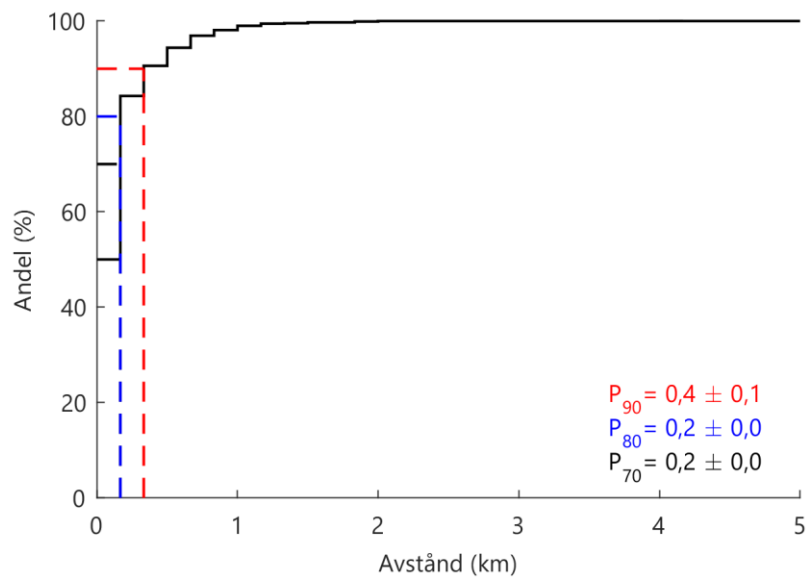
Figur 7. Fördelning över största avstånd där doskriteriet 50 mSv ekvivalent dos sköldkörteln för barn överskrids, för händelsen med kriticitet vid bränslefabriken och för utsläppshöjden 10 m. I diagrammet har 70:e, 80:e och 90:e percentilerna markerats.

4.1.4. Markbeläggning

Resultat för markbeläggning av I-131 och Sr-90 redovisas i Figur 8 respektive Figur 9. Åtgärdsnivån för markbeläggning av I-131, 5 kBq/m², kan överskridas ut till cirka 3,5 km. Åtgärdsnivån motsvarar en nivå av markbeläggning över betesmark som kan leda till att EU:s livsmedelsgränsvärden överskrids i mjölk. I-131 har dock en halveringstid på cirka åtta dygn, varför markbeläggningen inte är ett långvarigt problem. Markbeläggning av strontium som överskrider åtgärdsnivån (10 kBq/m²) och därmed kan ge påverkan på livsmedelsproduktionen kan endast uppstå i det omedelbara närområdet utanför anläggningen.



Figur 8. Fördelning över största avstånd där åtgärdsnivån 5 kBq/m² av I-131 överskrids, för händelsen med kriticitet vid bränslefabriken och för utsläppshöjden 10 m. I diagrammet har 70:e, 80:e och 90:e percentilerna markerats.



Figur 9. Fördelning över största avstånd där åtgärdsnivån 10 kBq/m² av Sr-89 överskrids, för händelsen med kriticitet vid bränslefabriken och för utsläppshöjden 10 m. I diagrammet har 70:e, 80:e och 90:e percentilerna markerats.

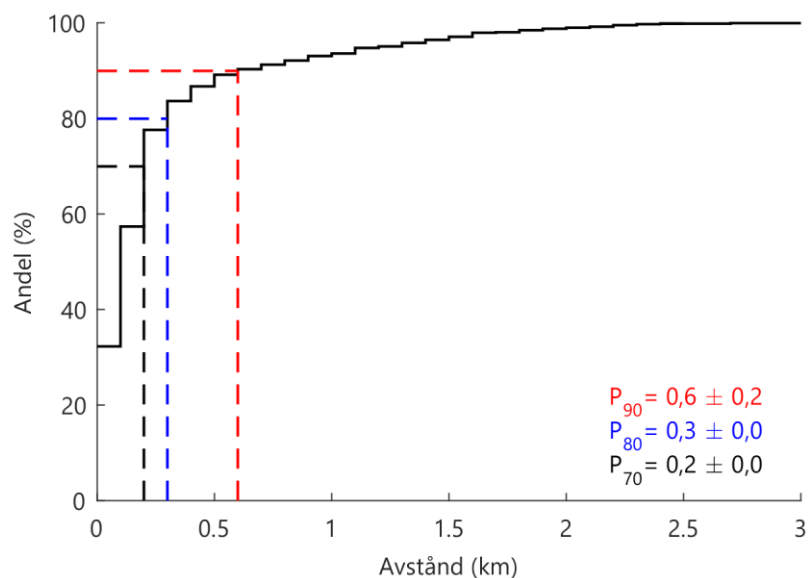
4.2. Brand och utsläpp av uranpulver

Nedan presenteras resultat för spridnings- och dosberäkningar för händelsen med brand och utsläpp av uranpulver. Huvudsakligen redovisas resultat för vuxna, eftersom doskriterierna generellt överskrids vid något längre avstånd för vuxna än för barn vid händelser med utsläpp av uranpulver. Barn erhåller ofta högre stråldoser än vuxna då de är känsligare för strålning (högre doskoefficienter). Vid händelser med brand och utsläpp av uranpulver dominerar dock dosbidraget från inandning. Vuxna får ett högre intag av uran på grund av en högre inandningshastighet (volym per tidsenhet) jämfört med barn [10]. Den relativa skillnaden i inandningshastighet är i detta fall större än den relativa skillnaden i doskoefficienter mellan barn och vuxna. Skillnaden i erhållen dos jämfört med vuxna blir mindre för äldre barn, och mellan 15-åringar och vuxna finns ingen signifikant skillnad i dos.

4.2.1. Utrymning

Fördelningen över avstånd där doskriteriet för utrymning, 20 mSv effektiv dos, för vuxna överskrids vid brand och utsläpp av uranpulver presenteras i Figur 10. Det största avstånd där doskriteriet överskrids är kortare än 300 m i 80 procent av förekommande väderfall. Avstånden kan bli något längre vid mindre partikelstorlek.

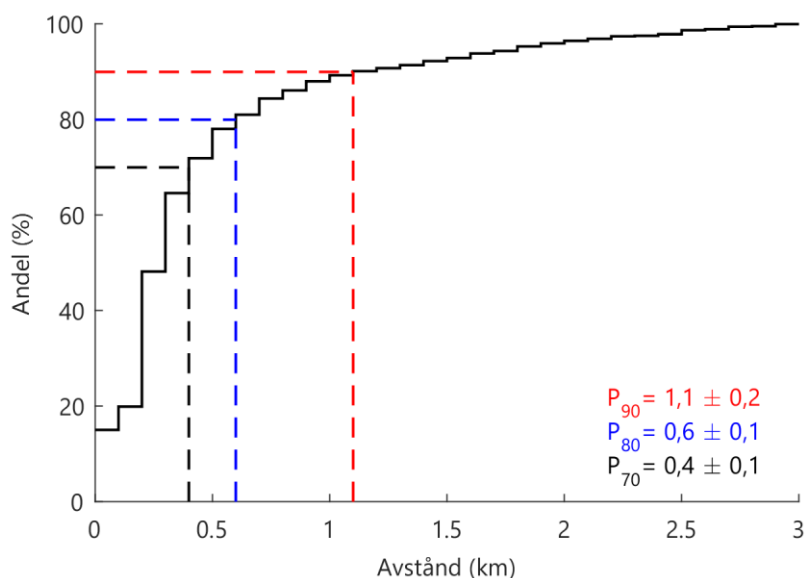
Utrymning på grund av markbeläggning efter brand och utsläpp av uranpulver är inte motiverat.



Figur 10. Fördelning över största avstånd där doskriteriet 20 mSv total effektiv dos överskrids för vuxna vid brand och utsläpp av uranpulver från bränslefabriken (partikelstorlek 5 μm ; densitet 5 g/cm^3 ; utsläppshöjd 10 m; utsläppstid 60 min). I diagrammet har 70:e, 80:e och 90:e percentilerna markerats.

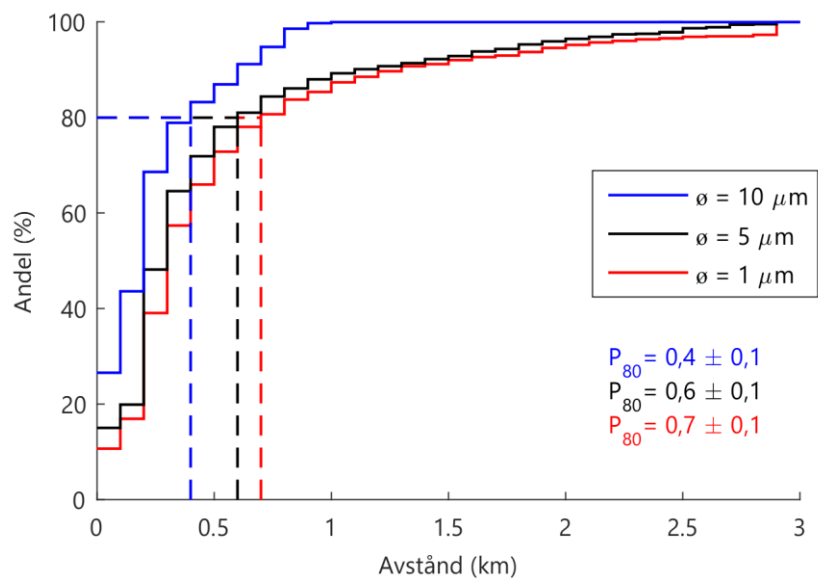
4.2.2. Inomhusvistelse

Fördelningen över avstånd där doskriteriet för inomhusvistelse, 10 mSv effektiv dos, för vuxna överskrids vid brand och utsläpp av uranpulver presenteras i Figur 11. Det största avstånd där doskriteriet överskrids är kortare än 600 m i 80 procent av förekommande väderfall.

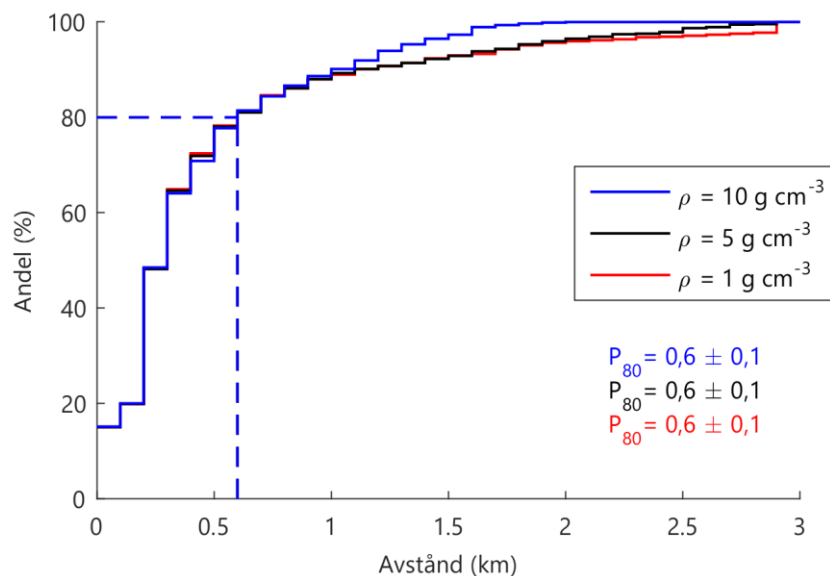


Figur 11. Fördelning över största avstånd där doskriteriet 10 mSv total effektiv dos överskrids för vuxna vid brand och utsläpp av uranpulver från bränslefabriken (partikelstorlek 5 μm ; densitet 5 g/cm^3 ; utsläppshöjd 10 m; utsläppstid 60 min). I diagrammet har 70:e, 80:e och 90:e percentilerna markerats.

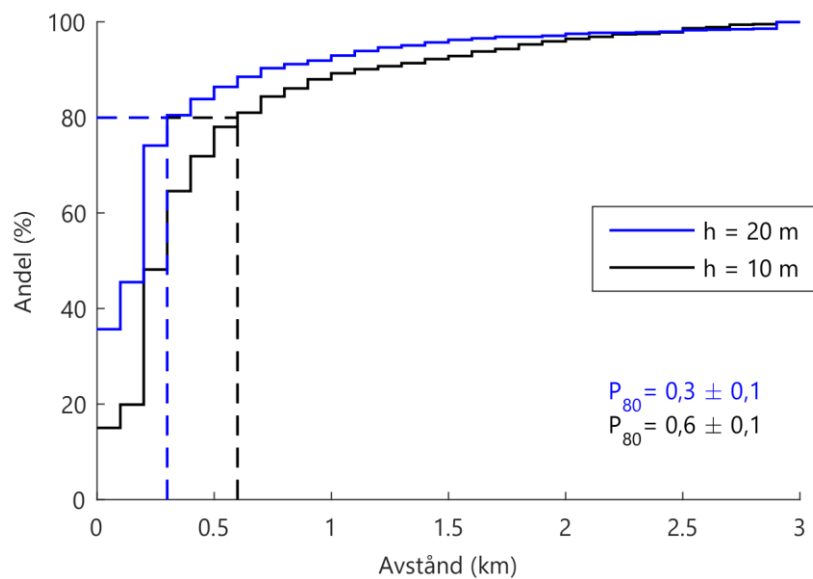
Inverkan av partikelstorlek, densitet, utsläppshöjd och utsläppstid illustreras i figurerna 12-15. Partikelstorlek har en påtaglig inverkan på resultaten, där större partikelstorlekar ger lägre stråldoser. Detta beror på att större partiklar inte tas upp i lika hög utsträckning i luftvägarna och därför har lägre doskoefficienter. Partikeldensiteten har däremot liten inverkan på resultaten. En viss tendens kan ses till färre utfall på stora avstånd, vilket skulle kunna förklaras av en ökad deposition i närområdet och därmed minskade luftkoncentrationer på större avstånd. Doskoefficienter för inandning är desamma för olika densitet, men depositionshastigheten är starkt beroende av denna parameter. Precis som för utsläpp till följd av kriticitet så ger en lägre utsläppshöjd högre stråldoser i närområdet och därmed större avstånd där doskriterierna överskrids. Detsamma gäller för ett kortare utsläppsförlopp, även om effekten på resultaten är mindre för denna parameter.



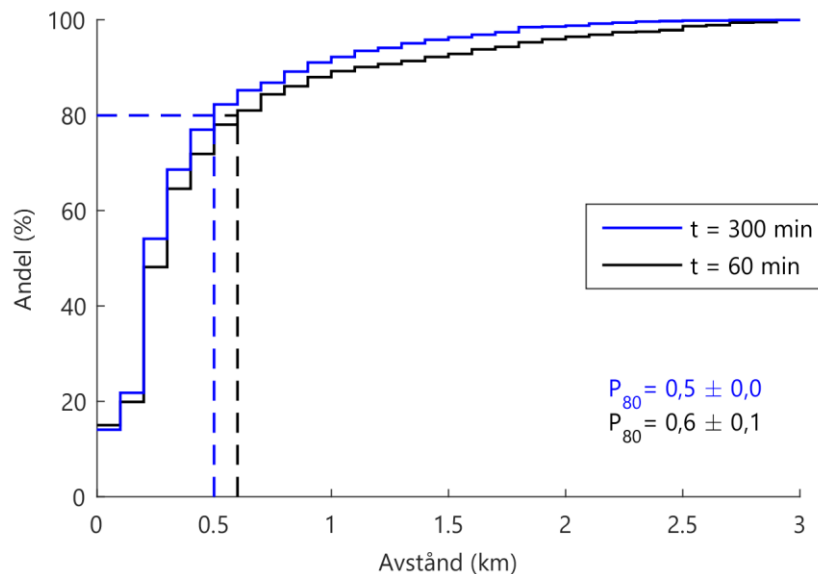
Figur 12. Känslighetsanalys för inverkan av partikelstorlek (\varnothing) på fördelningen över största avstånd där doskriteriet 10 mSv effektiv dos överskrids vid dimensionerande händelse med brand och utsläpp av uranpulver från bränslefabriken. Densitet 5 g/cm³, utsläppshöjd 10 m, utsläppstid 60 min. 80:e percentilen för avståndet har markerats i diagrammet för respektive partikelstorlek.



Figur 13. Känslighetsanalys för inverkan av densitet (ρ) på fördelningen över största avstånd där doskriteriet 10 mSv effektiv dos överskrids vid dimensionerande händelse med brand och utsläpp av uranpulver från bränslefabriken. Partikelstorlek 5 µm, utsläppshöjd 10 m, utsläppstid 60 min. 80:e percentilen för avståndet har markerats i diagrammet för respektive densitet.



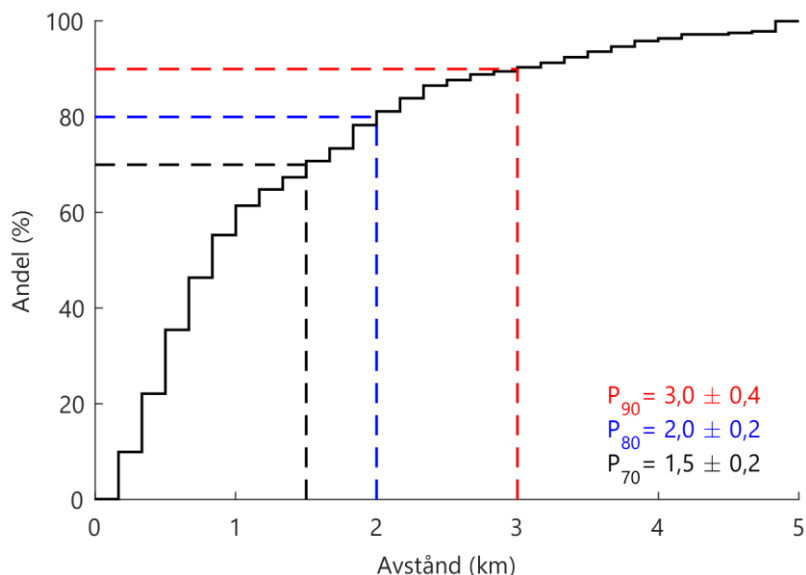
Figur 14. Känslighetsanalys för inverkan av utsläppshöjd (h) på fördelningen över största avstånd där doskriteriet 10 mSv effektiv dos överskrids vid dimensionerande händelse med brand och utsläpp av uranpulver från bränslefabriken. Partikelstorlek $5\ \mu\text{m}$, densitet $5\ \text{g/cm}^3$, utsläppstid 60 min. 80:e percentilen för avståndet har markerats i diagrammet för respektive höjd.



Figur 15. Känslighetsanalys för inverkan av utsläppstid (t) på fördelningen över största avstånd där doskriteriet 10 mSv effektiv dos överskrids vid dimensionerande händelse med brand och utsläpp av uranpulver från bränslefabriken. Partikelstorlek $5\ \mu\text{m}$, densitet $5\ \text{g/cm}^3$, utsläppshöjd 10 m. 80:e percentilen för avståndet har markerats i diagrammet för respektive tid.

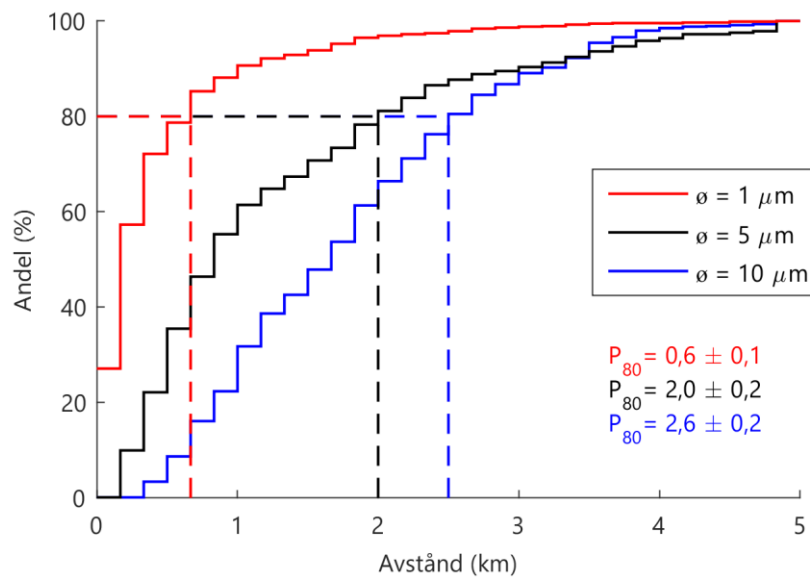
4.2.3. Markbeläggning

Fördelningar över största avstånd där åtgärdsnivån 10 kBq/m² uran (summan av U-234, U-235 och U-238) överskrids vid brand och utsläpp av uranpulver presenteras i Figur 16. Det största avstånd där åtgärdsnivån överskrids är kortare än 2 km i 80 procent av de analyserade väderfallen.

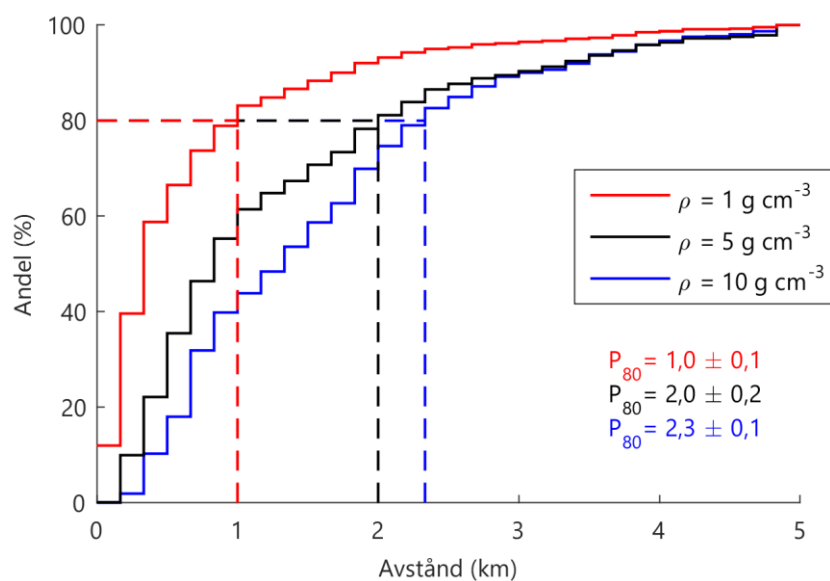


Figur 16. Fördelning över största avstånd där åtgärdsnivån 10 kBq/m² sammanlagd markbeläggning av U-234, U-235 och U-238 överskrids vid brand och utsläpp av uranpulver från bränslefabriken (partikelstorlek 5 µm; densitet 5 g/cm³; utsläppshöjd 10 m; utsläppstid 60 min). I diagrammet har 70:e, 80:e och 90:e percentilerna markerats.

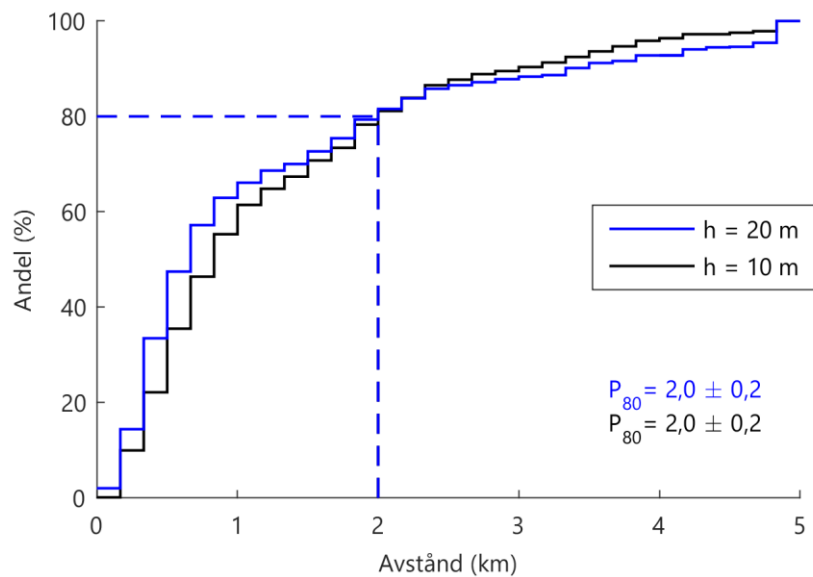
Inverkan av partikelstorlek, densitet, utsläppshöjd och utsläppstid på avstånd där åtgärdsnivån för markbeläggning överskrids illustreras i figurerna 17-20. Både partikelstorlek och densitet har en betydande inverkan på resultaten. Markbeläggningen förefaller dock mindre påverkad av utsläppspunktens höjd. Skillnaden i resultaten är inte statistiskt signifikant. Kortare utsläppsförlopp ger dock större avstånd.



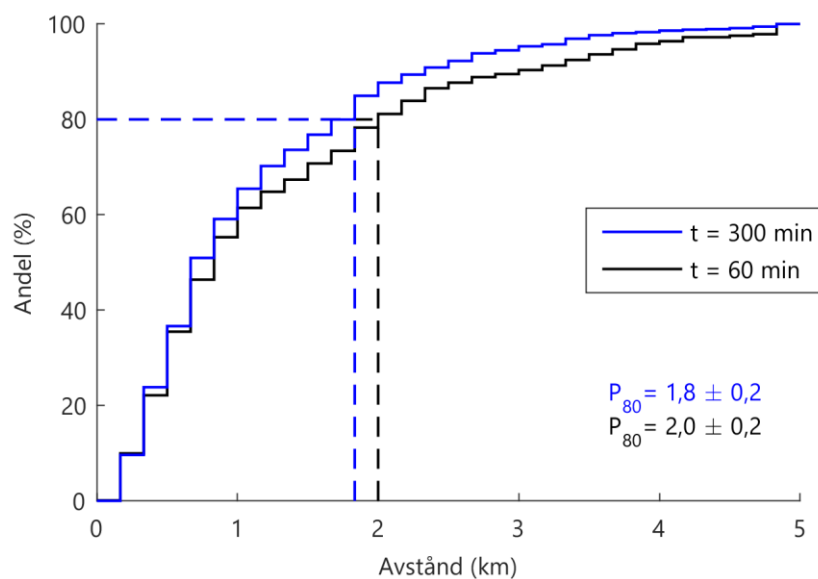
Figur 17. Känslighetsanalys för inverkan av partikelstorlek (\varnothing) på fördelningen över största avstånd där åtgärdsnivån 10 kBq/m^2 sammanlagd markbeläggning av U-234, U-235 och U-238 överskrids vid brand och utsläpp av uranpulver från bränslefabriken. Densitet 5 g/cm^3 , utsläppshöjd 10 m , utsläppstid 60 min . 80:e percentilen för avståndet har markerats i diagrammet för respektive partikelstorlek.



Figur 18. Känslighetsanalys för inverkan av densitet (ρ) på fördelningen över största avstånd där åtgärdsnivån 10 kBq/m^2 sammanlagd markbeläggning av U-234, U-235 och U-238 överskrids vid brand och utsläpp av uranpulver från bränslefabriken. Partikelstorlek $5 \mu\text{m}$, utsläppshöjd 10 m , utsläppstid 60 min . 80:e percentilen för avståndet har markerats i diagrammet för respektive densitet.



Figur 19. Känslighetsanalys för inverkan av utsläppshöjd (h) på fördelningen över största avstånd där åtgärdsnivån 10 kBq/m² sammanlagd markbeläggning av U-234, U-235 och U-238 överskrids vid brand och utsläpp av uranpulver från bränslefabriken. Partikelstorlek 5 µm, densitet 5 g/cm³, tid 60 min. 80:e percentilen för avståndet har markerats i diagrammet för respektive höjd.



Figur 20. Känslighetsanalys för inverkan av utsläppstid (t) på fördelningen över största avstånd där åtgärdsnivån 10 kBq/m² sammanlagd markbeläggning av U-234, U-235 och U-238 överskrids vid brand och utsläpp av uranpulver från bränslefabriken. Partikelstorlek 5 µm, densitet 5 g/cm³, utsläppshöjd 10 m. 80:e percentilen för avståndet har markerats i diagrammet för respektive tid.

5. Beredskapszon

Resultat från spridnings- och dosberäkningarna visar att det vid de dimensionerande händelserna är motiverat att rekommendera inomhusvistelse i området kring bränslefabriken. SSM föreslår därför att det kring anläggningen ska finnas en beredskapszon.

Kring bränslefabriken finns däremot inget behov av att vidta brådslande skyddsåtgärder utanför beredskapszonen. Det finns därför inget behov av den typ av planeringsavstånd som SSM föreslår kring kärnkraftverken eller kring Centralt mellanlager för använt kärnbränsle (Clab), inom vilket utrymning ska kunna genomföras baserat på underlag från strålningsmätningar av markbeläggningen.

SSM:s förslag:

1. En beredskapszon bör finnas kring bränslefabriken, inom vilken inomhusvistelse rekommenderas i samband med områdeslarm.
2. Beredskapszonens utsträckning bör vara cirka 700 m.
3. ABB industrigymnasium bör inkluderas i beredskapszonen.
4. Kontaminationskontroll av allmänhet som befunnit sig i beredskapszonen är inte motiverat.

5.1. Underlag till utformning av beredskapszon

5.1.1. Utrymning

Det största avstånd där doskriteriet för utrymning, 20 mSv effektiv dos, överskrids är kortare än 300 m i 80 procent av väderfallen. Vid ofördelaktiga förhållanden (liten partikelstorlek och låg utsläppshöjd) och om 90 procent av väderfallen beaktas ökar detta avstånd till 700 m. SSM anser dock att det inte är motiverat att planera för utrymning av allmänheten i detta område, eftersom inomhusvistelse ger ett tillräckligt skydd. De flesta byggnaderna i området är industribyggnader, vilka ger ett gott skydd mot såväl inandning av radioaktiva ämnen som bestrålning från det passerande molnet. Dessutom har de flesta händelserna vid bränslefabriken relativt korta tidsförlopp, vilket medför att det är osannolikt att en utrymning hinner genomföras innan utsläppet sker. Utrymningen riskerar då att leda till att personer befinner sig utomhus vid plympassage och därmed erhåller högre stråldoser.

5.1.2. Inomhusvistelse

Resultaten från spridnings- och dosberäkningarna visar att det är motiverat att rekommendera inomhusvistelse i området kring bränslefabriken vid händelser med brand och utsläpp av uranpulver. Det största avstånd där doskriteriet för inomhusvistelse, 10 mSv effektiv dos, överskrids är kortare än cirka 600 m i 80 procent av väderfallen (Figur 11). Avståndet är dock beroende av valda parametrar, där framförallt partikelstorlek och utsläpps-

höjd har stor inverkan på resultaten. Hur ett faktiskt utsläpp skulle se ut (med avseende på dessa parametrar) går inte att säga.

Nuvarande beredskapszon kring bränslefabriken är som minst cirka 700 m. Detta avstånd innebär att beräknade stråldoser utanför zonen underskrider doskriteriet för inomhusvistelse i drygt 80 procent av väderfallen (Figur 11). För de flesta kombinationer av värden på de parametrar som ingått i känslighetsanalyserna blir stråldoserna lägre, dvs. doskriteriet underskrids vid zongränsen i en större andel av väderfallen. I inget fall blir andelen väderfall där doskriteriet överskrids vid zongränsen lägre än 80 procent. SSM bedömer därför att utsträckningen av nuvarande beredskapszon huvudsakligen är tillräcklig. En viss ökning av storleken kan vara motiverad, under förutsättning att en sådan ökning av zonen inte på ett orimligt sätt försvårar den praktiska hanteringen av händelsen. Exempelvis bör beredskapszonen utformas så att det är möjligt att med begränsade resurser spärra av och hindra infart till området.

Inomhusvistelse ger även skydd mot direktstrålning från en kriticitets-händelse. De byggnader som befinner sig närmast bränslefabriken ligger på ett avstånd av cirka 300 m. En person som befinner sig på detta avstånd under hela kriticitetsförloppet skulle erhålla en dos från direktstrålningen på cirka 10 mSv (Figur 5) utan skydd. Dosen avtar snabbt med ökat avstånd. SSM bedömer att inomhusvistelse inom ett område som sträcker sig cirka 700-800 m från bränslefabriken ger ett tillräckligt skydd även vid händelser med kriticitet.

5.1.3. Jodtabletter

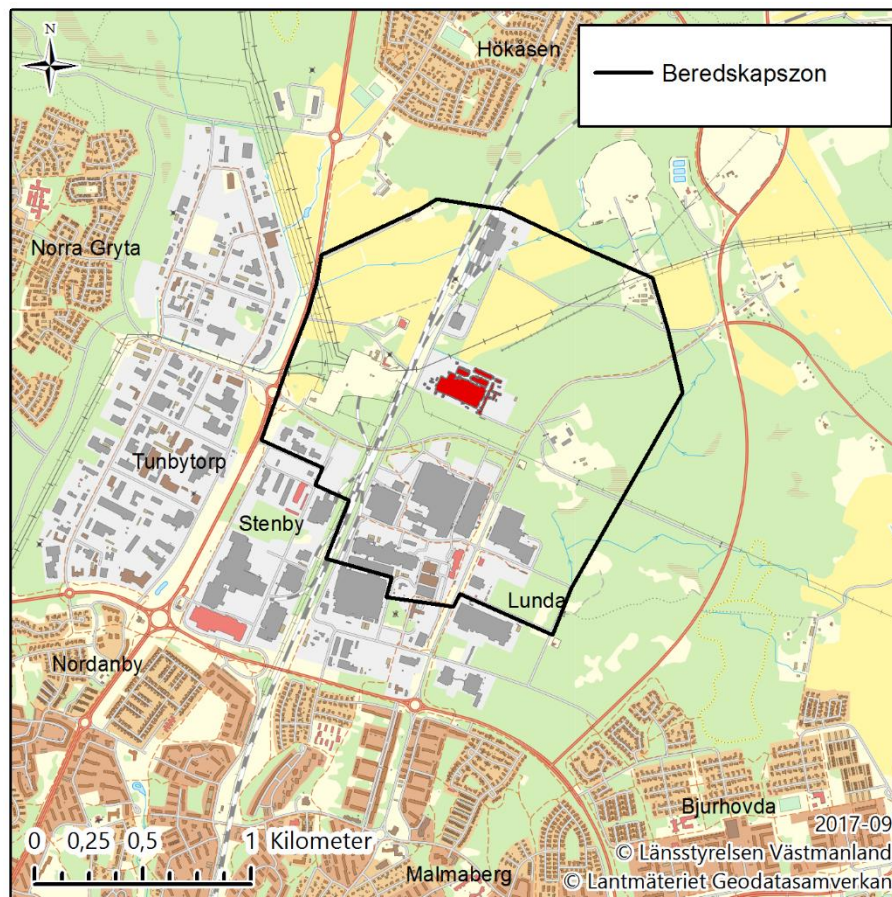
Enligt resultat från spridnings- och dosberäkningarna överskrids inte doskriteriet 50 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln för barn på avstånd över cirka 300 m från bränslefabriken. Beräkningarna visar dock att det ut till cirka 1 km kan vara motiverat att rekommendera inomhusvistelse för att reducera sköldkörteldoser till barn, eftersom nivån 10 mSv ekvivalent dos till sköldkörteln kan överskridas.

Inom detta avstånd från bränslefabriken finns i dagsläget inga boende och inga förskolor. Bebyggelsen utgörs huvudsakligen av industrilokaler. Den enda skolan inom området är ABB Industrigymnasium som ligger cirka 800 m från bränslefabriken. SSM anser att det inte är motiverat att förhandsutdela jodtabletter till elever på skolan, eftersom inomhusvistelse i skolbyggnaden ger ett tillräckligt gott skydd mot inandning av radioaktiva ämnen. Dessutom ska jodtabletter intas före en eventuell inandning av radioaktiv jod för att ge ett så bra skydd som möjligt. Jodtabletter ger därför ett begränsat skydd vid händelser utan förvarningstid och korta förlopp.

5.2. Förslag till beredskapszon

Länsstyrelsen i Västmanlands län föreslår en ny utformning av beredskapszonen kring bränslefabriken vilken illustreras i Figur 21. Förslaget utgår från den nuvarande beredskapszonen. Den detaljerade utformningen av

beredskapszonen har utarbetats i samråd SSM, MSB och Västerås stad. Inom föreslagen zon bör inomhusvistelse rekommenderas i samband med kriticitetshändelser och vid befarade eller konstaterade utsläpp av uran från en brand.



Figur 21. Förslag till beredskapszon kring bränslefabriken i Västerås.

Beredskapszonen har utökats i sydlig riktning för att inkludera ABB Industrigymnasium och den intilliggande restaurangen.

Utformningen i sydvästlig riktning har anpassats för att möjliggöra effektiva insatser. Genom att vissa vägar och byggnader har exkluderats från beredskapszonen underlättas in- och utpassage till området.

Bergslagsvägen (väg 56) väster om bränslefabriken utgör en viktig genomfartsled. Vägen passerar cirka 800 m från anläggningen och ska utgöra en del av den geografiska avgränsningen av beredskapszonen. För att underlätta en eventuell avspärning av beredskapszonen ska själva vägen inte ingå i beredskapszonen, utan zongränsen definieras som vägens östra kant. SSM bedömer att en person som färdas längs vägen i samband med ett pågående utsläpp kommer att få en försumbar dos.

Tågtrafik mellan Västerås och Stockholm passerar nära anläggningen. Tågtrafiken bör stoppas i samband med områdeslarm vid bränslefabriken, vilket

under en begränsad tidsperiod inte skapar några större problem. Trafiken bör kunna återupptas så snart det konstaterats att händelsen är under kontroll och eventuella utsläpp har upphört. SSM bedömer att en person som färdas längs järnvägen efter att utsläpp upphört kommer att få en försumbar dos.

Väster om bränslefabriken ligger en nätstation som utgör en viktig knutpunkt i elnätet. Nätstationen är normalt inte bemannad och dess läge bör inte påverka utformningen av beredskapszonen. Det är dock viktigt att nätstationen omhändertas i beredskapsplaneringen, för att möjliggöra att nödvändiga och brådskande underhålls- eller reparationsåtgärder kan utföras även i samband med områdeslarm vid bränslefabriken.

5.2.1. Personkontaminationskontroll

SSM bedömer att storskalig personkontaminationskontroll av allmänhet som befunnit sig utanför anläggningen i samband med ett utsläpp från bränslefabriken inte är motiverad. Som en försiktighetsåtgärd kan berörda personer rekommenderas att i hemmet duscha och tvätta håret, samt byta och tvätta kläder.

Vid ogynnsamma förhållanden (partikelstorlek 10 μm , densitet 10 g/cm^3 , höjd 10 m, tid 60 min) kan markbeläggningar på 100 kBq/m^2 (summan av U-234, U-235 och U-238) vid de flesta väderfall (90 procent) uppstå som längst 800 m från utsläppspunkten. Givet antagandet att en person som vistas utomhus under hela plympassagen kan få en kontamination på kläder och hud som motsvarar denna aktivitetskoncentration, och givet ett antagande om att personen får ett intag av all aktivitet från 200 cm^2 (motsvarande ungefär två handflator) blir den intecknade dosen (med den aktuella fördelningen av uranisotoper) cirka 0,1 mSv. SSM bedömer därför att dosbidraget från oavsiktligt intag av uran från extern kontamination är marginellt i jämförelse med dos från inandning.

Mätning av extern kontamination av alfastrålande ämnen på hud och kläder är dessutom svårt och tidskrävande. Att genomföra kontaminationskontroll på alla som befunnit sig i beredskapszonen skulle kräva omfattande och avancerade resurser och kan ta flera dagar. Kontaminationskontroll av personer som befunnit sig inne på anläggningen kan dock vara motiverad.

6. Dos efter skyddsåtgärder

SSM har använt referensnivån 20 mSv effektiv dos som utgångspunkt för förslaget till dimensionering av beredskapszonen kring bränslefabriken. Referensnivån avser återstående dos, vilket är den dos som erhålls efter att skyddsåtgärder vidtagits. Vilka skyddsåtgärder som kan vidtas i en radiologisk nödsituation beror på omständigheterna under händelsen. Beredskapsplaneringen ska dock möjliggöra att valda referensnivåer kan underskridas.

Referensnivåer 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 istället 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. Fördelningen över största avstånd framtagna utifrån detta doskriterium ligger till grund för SSM:s resonemang om på vilka avstånd inomhusvistelse bör förberedas.

För att kontrollera att den beredskapsplanering som SSM föreslår möjliggör att valda referensnivåer kan underskridas har SSM genomfört beräkningar av återstående dos givet att inomhusvistelse kan genomföras inom beredskapszonen kring bränslefabriken.

De närmaste byggnaderna utanför bränslefabriken där allmänhet kan antas befinna sig efter områdeslarm ligger på ett avstånd av cirka 300 m. SSM har därför beräknat vilka stråldoser som kan erhållas vid inomhusvistelse på detta avstånd. I beräkningarna har antagits att inomhusvistelse i olika lokaler ger olika grader av skydd (skyddsfaktorer). De flesta byggnaderna i området är industribyggnader som kan antas ge ett gott skydd mot strålningen, med exempelvis filtrerad ventilation. SSM har därför antagit att inomhusvistelse reducerar stråldoserna till en tiondel (skyddsfaktor 0,1). Som ett mer konservativt antagande har SSM även gjort beräkningar där stråldoserna reducerats till hälften, vilket motsvarar skyddet i ett vanligt småhus (skyddsfaktor 0,5). För direktstrålning har endast skyddsfaktorn 0,5 använts. SSM har även beräknat vilken stråldos en oskyddad person som befinner sig strax utanför beredskapszonen kan erhålla.

6.1. Kriticitet

Vid inomhusvistelse i beredskapszonen kan de högsta stråldoserna från direktstrålning (med skyddsfaktor 0,5) uppgå till cirka 5 mSv effektiv dos på ett avstånd av 300 m (Figur 5). Resultat från spridnings- och dosberäkningar visar att den tillkommande dosen från fissionsprodukterna (med skyddsfaktor 0,1) på detta avstånd blir under 0,5 mSv effektiv dos om 90 procent av väderfallen beaktas. Om istället den mer konservativa skyddsfaktorn 0,5 ansätts blir bidraget 2,5 mSv. Den sammanlagda effektiva dosen vid inomhusvistelse på detta avstånd blir alltså som högst 7,5 mSv i 90 procent av väderfallen.

En person som vistas utanför beredskapszonen, och således kan befinna sig utomhus under olycksförloppet, kan erhålla stråldoser från utsläppet av fissionsprodukter som uppgår till högst 3 mSv effektiv dos om 90 procent av väderfallen beaktas. Dosbidrag från direktstrålning på dessa avstånd är marginellt i jämförelse med dos från utsläpp av fissionsprodukter.

SSM bedömer därför att den föreslagna beredskapszonen med god marginal är tillräcklig för att referensnivån 20 mSv ska underskridas vid händelser med kriticitet på bränslefabriken.

6.2. Brand och utsläpp av uranpulver

Spridnings- och dosberäkningar visar att en oskyddad person kan erhålla en effektiv dos på cirka 40 mSv på ett avstånd av 300 m från bränslefabriken om 90 procent av alla väderfall beaktas. Detta motsvarar en dos inomhus på 4 mSv givet skyddsfaktor 0,1. För det mer konservativa antagandet om skyddsfaktor blir den effektiva dosen 20 mSv.

En person som vistas utanför beredskapszonen, och således kan befinna sig utomhus under olycksförloppet, kan erhålla som högst 20 mSv effektiv dos om 90 procent av väderfallen beaktas.

Beräkningarna ovan baseras på de stråldoser som enligt känslighetsanalyserna kan erhållas vid maximalt ogynnsamma förhållanden (höjd 10 m, partikelstorlek 1 μm , utsläppstid 60 min). Givet alla andra parametervärden blir stråldoserna lägre. SSM bedömer därför att den föreslagna beredskapszonen är tillräcklig för att referensnivån 20 mSv ska kunna underskridas vid händelser med brand och utsläpp av uranpulver.

7. Sanering och livsmedelsåtgärder

Kring bränslefabriken finns inget behov av ytterligare brådiskande skyddsåtgärder utanför beredskapszonen. SSM föreslår därför inget planeringsavstånd av den typ som ska finnas kring kärnkraftverken.

Däremot finns ett behov av planering för strålningsmätningar och provtagning för att kunna kartlägga en eventuell markbeläggning. Efter ett utsläpp av radioaktiva ämnen till omgivningen behöver ansvariga aktörer kunna ge rekommendationer till allmänheten gällande eventuella behov av restriktioner för att minska intag av radioaktiva ämnen. Detta kan exempelvis gälla egenodlade livsmedel, dammande arbeten eller andra råd om hur olika beteenden kan påverka exponeringen. De rekommendationer som ska ges i ett tidigt skede under en händelse måste vara fastställda i förväg. Efter att utsläppet upphört bör rekommendationer baseras på uppgifter om nedfallets storlek och utbredning från provtagning och strålningsmätningar. Det är även viktigt att kunna informera om vilka områden som inte är berörda av ett eventuellt nedfall. En kartläggning av markbeläggningsbehövs även som underlag för att bedöma behovet av saneringsåtgärder.

Alla länsstyrelser ska enligt förordningen om skydd mot olyckor ha en plan för strålningsmätningar för händelser med utsläpp av radioaktiva ämnen från kärntekniska anläggningar. Eftersom utsläpp av uran (som är ett alfastrålande ämne) från bränslefabriken väsentligen skiljer sig från utsläpp från kärnkraftverken, både avseende relevanta skyddsåtgärder och mätmetoder, krävs en särskild planering kring bränslefabriken, utöver vad som finns i resten av landet.

För att dimensionera dessa beredskapsåtgärder föreslår SSM införandet av ett planeringsavstånd till skydd mot intag av radioaktiva ämnen kring bränslefabriken.

SSM:s förslag:

1. En planering bör finnas för skydd mot intag av uran efter utsläpp från bränslefabriken.
2. Planeringen bör omfatta strålningsmätningar och provtagning och dimensioneras för kvantifiering av markbeläggning inom ett avstånd ut till 3 km från bränslefabriken.
3. Planeringen bör också omfatta förberedda råd och rekommendationer i syfte att minska intag av radioaktiva ämnen.

7.1. Underlag för planeringsavstånd till skydd mot intag av radioaktiva ämnen

7.1.1. Sanering

För händelser med utsläpp av farliga ämnen från andra anläggningar än kärntekniska gäller normalt att den som bedriver verksamheten är ansvarig

för eventuell sanering. För utsläpp av radioaktiva ämnen från kärntechniska anläggningar har dock länsstyrelserna ett tydligt utpekat ansvar enligt förordningen om skydd mot olyckor.

Förutsatt att utsträckningen av markbeläggningen av uranpulver kring bränslefabriken blir förhållandevis begränsad, bedömer SSM att det inte kan uteslutas att påverkade områden i efterhand kommer att återställas helt, dvs. friklassas. Friklassningsnivåer för mark som kontaminerats av uran finns i dagsläget inte fastställda [11]. SSM har i detta arbete valt att utgå från de friklassningsnivåer som finns för byggnader och lokaler [11, s. 13-14]. Åtgärdsnivån är därför satt till 10 kBq/m² för summan av U-234, U-235 och U-238. Friklassningsnivå för mark kommer att fastslås efter en händelse, beroende på de omständigheter som råder i det specifika fallet.

Genomförda spridnings- och dosberäkningar visar att markbeläggningar motsvarande åtgärdsnivån kan uppstå ut till 2-3 km från bränslefabriken vid brand och utsläpp av uranpulver, beroende på beräkningsparametrar och hur stor andel av väderfallen som beaktas.

7.1.2. Livsmedel

Efter händelser med kriticitet kan en markbeläggning av I-131 uppstå i området kring bränslefabriken, vilket kan påverka livsmedelsproduktionen. På grund av nuklidens förhållandevis korta halveringstid (cirka åtta dygn) resulterar detta inte i några problem på längre sikt. Nivåerna är inte heller högre än de som skulle kunna drabba området efter ett utsläpp från något av de svenska kärnkraftverken. Någon särskild planering för hantering av livsmedelsfrågor utöver vad som ska upprätthållas i hela landet behövs därför inte för denna händelse.

Markbeläggning av uran som kan uppstå vid brand och utsläpp med uranpulver kräver dock en speciell planering eftersom den huvudsakligen utgörs av alfastrålande ämnen. Påverkan på livsmedelsproduktionen kan sannolikt uppstå vid lägre nivåer än åtgärdsnivån 10 kBq/m² för summan av U-234, U-235 och U-238. Trots detta anser SSM att de avstånd där åtgärdsnivån kan komma att överskridas utgör en rimlig utgångspunkt för dimensionering av förmåga till strålningsmätningar och provtagning. Det är osannolikt att hela det område som definieras av avståndet kommer att påverkas av ett nedfall som ger hög markbeläggning. Om förmågan till strålningsmätningar och provtagning dimensioneras för att täcka detta område, bör mätresurserna vara tillräckliga för att också kunna användas på större avstånd. Kartering av alfastrålande nuklider i naturen är betydligt mer resurs- och tidskrävande än för gammastrålande nuklider. På större avstånd kan det därför bli nödvändigt att istället fokusera på mätningar på producerade livsmedel.

Vattenförsörjning från vattentakten nordost om bränslefabriken bör kopplas ifrån direkt vid områdeslarm och tills det kan uteslutas att vattnet inte är kontaminerat över rådande gränsvärden. Upptag via grundvatten är inget problem i den akuta hanteringen, men en kontaminering av dricksvatten kan

potentiellt ske via de öppna bassänger som finns vid Fågelbackens vattenverk. Löpande kontroller kan behövas därefter för att säkerställa att inget läckage till grundvatten sker, vilket dock inte är en brådskande åtgärd.

7.2. Förslag på planeringsavstånd till skydd mot intag av radioaktiva ämnen

Resultat från spridnings- och dosberäkningarna motiverar att en plan för strålningsmätningar och provtagning bör finnas för att, efter en brand med utsläpp av uranpulver, kunna kvantifiera en eventuell markbeläggning. SSM föreslår att planeringsavståndet ska vara 3 km.

Viktigt att notera i sammanhanget är att planeringsavståndet syftar till att dimensionera den mätförmåga som ska finnas kring bränslefabriken. Planeringsavståndet utgör inte ett största tänkbara avstånd där markbeläggningar motsvarande de använda åtgärdsnivåerna kan uppstå. Det kan finnas väderfall där högre markbeläggningar uppstår på större avstånd.

Referenser

- [1] Westinghouse Electric Sweden AB, "Westinghouse Bränslefabrik - Riskanalys Omgivningskonsekvenser vid antagna störningar och haverier," NTC 94-214 rev 3, Västerås, 2014.
- [2] Westinghouse Electric Sweden AB, "Westinghouse bränslefabrik - SSMFS2008:1 - Analys av yttre händelser," BS 99-286, rev 1, Västerås, 2014.
- [3] Kemakta Konsult AB, "Analys av tänkbara större olyckor vid ASEA-ATOMs bränslefabrik i Västerås," ASEA-ATOM, Västerås, 1980.
- [4] U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Regulatory Guide 3.34," 1979.
- [5] D. Mennerdahl, "Omgivningskonsekvenser av nukleär kriticitetsolycka - Bränslefabrik," 2016.
- [6] IAEA, "Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency," IAEA-TECDOC-1162, Wien, 2000.
- [7] D. Delacroix, J. P. Guerre, P. Leblanc och C. Hickman, "Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook," *Radiation Protection Dosimetry*, 2002.
- [8] ICRP, "Compendium of dose coefficients based on ICRP publication 60," ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.), 2012.
- [9] E. Hansson, H. Pettersson och M. Eriksson, "Uranium aerosol characteristics at a nuclear fuel manufacturing site - particle size, morphology and chemical composition," SSM2015:38, Solna, 2015.
- [10] ICRP, "Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection," ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24 (1-3), 1994.
- [11] SSM, "Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om friklassning av material, lokaler, byggnader och mark vid verksamhet med joniserande strålning," SSMFS 2011:2, 2011.
- [12] Westinghouse Electric Sweden AB, "Stråldosberäkningar i Lena," BSA 15-069, Västerås, 2015.
- [13] SLU, FOI, SLV, SSI, SJV, "Livsmedelsproduktionen vid nedfall av radioaktiva ämnen," Västerås, 2002.
- [14] IAEA, "Preparedness and response fo a nuclear or radiological emergency," IAEA General Safety Requirements No. GSR Part 7, Wien, 2015.



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
Web: stralsakerhetsmyndigheten.se