



Öppen  
Rapport

DokumentID 1273308	Version 2.0	Status Godkänt	Reg nr	Sida 1 (22)
Författare Bengt Hallberg, Tommy Huutoniemi			Datum 2010-11-16	
Kvalitetssäkrad av David Persson (KG)			Kvalitetssäkrad datum 2012-05-28	
Godkänd av Peter Larsson			Godkänd datum 2012-05-29	
Kommentar Sakgranskat enligt svarsmeddelande SKBdoc 1273303.				

## Individdos i omgivningen – dimensionerande fall för beredskapen efter utbyggd SFR

Bengt Hallberg, Tommi Huutoniemi

Studsvik Nuclear AB

Mars 2012

*Nyckelord:* Individdos, SFR, BFA, BFA-tank, bitumen, bitumenfat, onormal händelse, hårdkomponenter, omgivningskonsekvens, dimensionerande

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från [www.skb.se](http://www.skb.se)

## Revisionsförteckning

Version	Datum	Revideringen omfattar	Utförd av	Kvalitetssäkrad	Godkänd
1.0	2011-06-23	Se SKBdoc 1273303	B.H. T.H.	Marika Andersson	Agneta Innergård
2.0	2012-05-04	Uppdaterad till mer konservativ källterm för scenariet tappad BFA-tank: summering av inventarier för fall 5-8 i /Håkansson, 2008/, och därmed omräknade resultat	B.H. T.H.	Se sidhuvud	Se sidhuvud

## Sammanfattning

Dosbidrag till mest belastad individ i kritisk grupp för postulerade onormala händelser i SFR har beräknats. Syftet var att identifiera om det finns ett fall som är dimensionerande för beredskapen.

Två scenarier beaktades:

- Tappad BFA-tank med härdkomponenter
- Brand i bitumenfat

Dosbidraget till mest belastad vuxen individ i kritisk grupp beräknades med den av SSM framtagna spridnings- och dosmodellen LENA ver. 2.2. Exponeringsvägar var extern exponering från radionuklider i plymen, extern exponering från radionuklider som nedfallit på mark och intern exponering för inhalation.

Resultaten för tappad BFA-tank ger en maximal dos på cirka 30  $\mu\text{Sv}$  vid ett avstånd av 1 km från anläggningen. För brand i bitumenfat har dosen ett maximum på 50  $\mu\text{Sv}$  vid ett avstånd av 1 km.

## Summary

Contribution to dose due to postulated accidents to an individual of the public living in the vicinity of SFR was calculated. The purpose was to identify possible dimensioning cases for of emergency preparedness.

Two scenarios were considered:

- Dropped BFA tank containing reactor core components.
- Fire in drums containing bitumen.

The dose contribution was computed by employing the by SSM developed atmospheric dispersion and dose calculation model LENA ver. 2.2. Exposure pathways considered were external exposure from radionuclides in the plume, external exposure from radionuclides deposited on the ground, and internal exposure due to inhalation.

The results for the scenario with a dropped BFA tank showed a dose contribution to an individual of a maximum dose of about 30  $\mu\text{Sv}$  at a distance of 1 km from the facility. For the case with a fire in bitumen drums, the dose contribution showed a maximum dose of 50  $\mu\text{Sv}$  at a distance of 1 km.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Introduktion och bakgrund</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Scenarier</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Underlag</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Metoder</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Resultat</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Jämförelse med tidigare beräkningar</b>	<b>15</b>
<b>Bilaga</b>	<b>Nuklider, halveringstider, utsläppt mängd, doskoefficienter för vuxna, och relativt bidrag till dos</b>	

## 1 Introduktion och bakgrund

Dosbidrag till mest belastad individ i kritisk grupp för postulerade onormala händelser i SFR beräknades. Syftet var att identifiera vilket fall som är dimensionerande för beredskapen.

Två scenarier beaktades:

- Tappad BFA-tank
- Brand i bitumenfat

I båda fallen postuleras radionuklider att släppas ut från SFR:s ventilationsanläggning till omgivningen. Spridning i luft och dos beräknades med SSM:s gaussiska spridnings- och dosmodell.

En jämförelse med resultat från tidigare beräkningar /Appelgren och Hellström 1986/ för brand i bitumenfat redovisas.

## 2 Scenarier

Den ena onormala händelsen som betraktats är att en ståltank med härdkomponenter tappas i det nybyggda Bergrum för mellanlagring av långlivat avfall. Ett fall med ett härdgaller utvaldes som konservativt referensfall /Håkansson 2008/. Radioaktiva ämnen beräknas frigöras till luften i Bergrum för mellanlagring av långlivat avfall, varefter samtliga dessa antas obehindrat följa med luften ut via ventilationen. Mängden löst bunden aktivitet för ett antal hypotetiska fall uppskattades: den metalliska stommen på härdgallret, den fast sittande oxiden på ytan (beräkningsmässigt uppdelad i deponerad aktivitet och inducerad aktivitet i oxidskikt), hög aktinidkontamination från bränsleskador, kontamination med metallstoft, kontamination med jonbyttarmassa, kontamination med bränslecrud och erfarenhetsbaserad kontamination motsvarande ytdosraten 10 mSv/h. Utsläppstid beräknas från ventilationsdata, se avsnitt 4.1.

Den andra onormala händelsen är en brand i bitumenfat /Appelgren och Hellström 1986/. Ett antal fall redovisades, och det fall med största mängden utsläpp, kallat EB-9, valdes för dosberäkning i denna rapport. Fallet var brand i fem bitumenfat med medelaktivt avfall, belägna på terminalfordon som påkörts, varvid brand uppkommit. Konservativt antogs i /Appelgren och Hellström 1986/ att det i varje fat fanns det största inventarium som är möjligt utan att överskrida tillåten ytdosrat. Det anges i /Appelgren och Hellström 1986/ att beräkningarna utförts för utsläppshöjden 20 m och en varaktighet av 1 h. Utsläppstiden har ingen betydelse för dos från plymen och på grund av inhalation. För dosen från mark skulle den kunna ha det för kortlivade nuklider, men några sådana är inte fallet här. Med kortlivad menas i förhållande till integrationstiden.

De radioaktiva ämnena sprids i atmosfären. Dos beräknades för en individ som står utomhus under hela olycksförloppet, rakt i vindriktningen. Såväl vindhastighet som vindriktning postuleras vara konstant och rakt mot närmaste individ i kritisk grupp.

## 3 Underlag

### 3.1 Data för SFR

Ventilationsflöden och storlek för bergrum för mellanlagring av långlivat avfall gavs av /Nedergård 2011/. I beräkningarna utgår man från att bergrum för mellanlagring av långlivat avfall har samma volym och luftomsättning som befintligt bergrum för lågaktivt avfall (BLA) i nuvarande SFR. Vid forcerad drift, vilket är fallet när deponering sker i en förvarsdela, beräknas det vara ett flöde på 3,5 m<sup>3</sup>/s genom denna del. Volymen för befintligt BLA beräknas vara 29 200 m<sup>3</sup> vid tomt förvar, och en uppskattning av det planerade är 36 500 m<sup>3</sup>.

Utsläpp av ventilationsluft sker från ventilationsbyggnadens skorsten. Höjden över mark för dennas topp uppskattades från ritning 0-979507-10 vara cirka 20 meter /Nedergård 2011/.

### 3.2 Frigjorda radioaktiva ämnen

Mängden tilluft i Bergrum för mellanlagring av långlivat avfall frigjorda radioaktiva ämnen angiven som aktivitet uppskattades i /Håkansson 2008/ för olika fall) och två olika typer av utsläppsscenarioer, normal- resp olycksscenario. Olycksscenarioet innebär att all luftburen aktivitet i BFA-tanken släpps ut i anläggningen, och redovisas i Tabell 3-1. Källtermen togs som summan av fallen 5-8.

Från brand i bitumenfat ges motsvarande information i /Appelgren och Hellström 1986/. Det dosmässigt värsta scenariot är fall 8. Utsläppt mängd redovisas i Tabell 3-2. I båda fallen gjordes det konservativa antagandet att hela mängden nuklider når omgivningen via ventilationsluften. I själva verket kommer en del att fastna i förvaret.

### 3.3 Kritisk grupp

Vid framtagande av dosräkningsfaktorer för normaldrift för svenska kärntekniska anläggningar undersöktes bl.a. Forsmarksområdet för att identifiera var mest belastad individ i kritisk grupp kunde befinna sig /Hallberg 2001/. Resultatet var att närmaste bofasta lever vid Forsmarks bruk, vilket är 3,5 km söder om Forsmarksverket och knappt 5 km från SFR. Dock anges att sommarbostäder finns närmare kraftverket, och därför valdes den maximala dosen oavsett avstånd som dimensionerande. En vuxen person beaktades. Visserligen får en person i åldersgruppen 12-17 år en något högre dos vid inhalation, men det rör sig bara om en faktor om 0,9-1,3 beroende på nuklid /Karlsson och Aquilonius 2001/.



**Tabell 3-1 Tappad BFA-tank. Mängd frigjorda radioaktiva ämnen (Bq) till luft i olycksscenarioet tappad BFA-tank, avklingningstid 3 år. Avser fallen 5-8 i /Håkansson 2008/.**

Nuklid	Frigjord aktivitet (Bq) för olika fall och summa				
	5	6	7	8	Summa 5-8
Ag-110m	0,00E+00		1,02E+07	3,03E+06	1,32E+07
Ag-108m	0,00E+00		6,65E+05	9,86E+05	1,65E+06
Al-26	9,98E-03		7,44E-01	3,28E+00	4,03E+00
C-14	4,03E+07		0,00E+00	0,00E+00	4,03E+07
Sc-46	0,00E+00		5,63E+03	3,80E+06	3,81E+06
Co-57	0,00E+00		9,53E+06	1,50E+04	9,55E+06
Co-58	1,58E+05		4,86E+05	4,37E+05	1,08E+06
Co-60	1,51E+10	9,08E+07	2,06E+10	2,80E+10	6,38E+10
Cl-36	1,32E+04			0,00E+00	1,32E+04
Cr-51	3,25E-01		4,98E-02	1,54E-02	3,90E-01
Cs-134	0,00E+00	3,05E+06		0,00E+00	3,05E+06
Cs-135	0,00E+00	1,50E+02		0,00E+00	1,50E+02
Cs-137	0,00E+00	2,77E+07		0,00E+00	2,77E+07
Fe-55	9,05E+10	2,35E+07	2,26E+10	1,34E+10	1,27E+11
Fe-59	1,99E+02		1,36E+02	4,79E+00	3,40E+02
Mn-54	3,42E+08	6,21E+06	7,97E+08	3,97E+08	1,54E+09
Mo-93	3,50E+05		9,58E+03	6,23E+04	4,22E+05
Nb-93m	6,42E+07		4,32E+08	6,75E+09	7,25E+09
Nb-94	3,89E+05	1,33E-04	3,87E+05	8,19E+06	8,97E+06
Nb-95	0,00E+00		5,18E-01	5,28E-01	1,05E+00
Ni-59	2,53E+08	3,34E+05	9,43E+06	2,19E+08	4,82E+08
Ni-63	3,19E+10	4,09E+07	1,29E+09	2,86E+10	6,18E+10
Sb-124	1,63E+02		5,48E+03	1,74E+03	7,38E+03
Sb-125	1,56E+06	1,32E+06	1,48E+07	9,65E+07	1,14E+08
Sn-113	3,74E+03		7,64E+04	9,50E+04	1,75E+05
Sn-117m	3,71E-17		9,80E-16	1,95E-16	1,21E-15
Sn-121m	1,46E+06		1,32E+06	2,83E+07	3,11E+07
Sr-90	0,00E+00	7,42E+04		0,00E+00	7,42E+04
Ta-182	4,08E+06		3,64E+06	7,91E+06	1,56E+07
Tc-99	5,75E+04	4,95E+03	1,48E+03	1,17E+04	7,56E+04
Zn-65	0,00E+00		9,00E+06	3,31E+06	1,23E+07
Zr-93	0,00E+00		4,22E+03	9,54E+04	9,96E+04
Zr-95	0,00E+00		9,25E+03	6,21E+03	1,55E+04
Eu-154	0,00E+00	2,73E+03		0,00E+00	2,73E+03
Eu-155	0,00E+00	6,33E+02		0,00E+00	6,33E+02
Pu-238		1,66E+02		0,00E+00	1,66E+02
Pu-239	0,00E+00	2,16E+01		0,00E+00	2,16E+01
Pu-240		3,53E+01			3,53E+01
Pu-241		3,79E+03			3,79E+03
Am-241		1,16E+02			1,16E+02
Cm-244		1,35E+02			1,35E+02
<b>Totalt</b>	<b>1,38E+11</b>	<b>1,94E+08</b>	<b>4,58E+10</b>	<b>7,75E+10</b>	<b>2,62E+11</b>

**Tabell 3-2 Brand i bitumenfat. Mängd till omgivningen utsläppta radioaktiva ämnen vid brand i bitumenfat angiven som aktivitet (Bq) /Appelgren och Hellström 1986/ (fall EB-9, konservativt).**

Nuklid	Aktivitet (Bq)
Fe-55	2,487E+10
Co-60	3,535E+10
Cs-134	7,102E+10
Cs-137	7,102E+10
Ni-63	3,600E+09
Sr-90	3,600E+09

## 4 Metoder

### 4.1 Omsättning

Uppskattad luftomsättning för det planerade Bergrum för mellanlagring av långlivat avfall beräknades med hjälp av ventilationsflöden och storlek i nuvarande förvar, se avsnitt 3.1. Omsättningen vid forcerat flöde blir  $9,6 \cdot 10^{-5}$  gånger per sekund vilket är lika med 0,35 gånger per timme.

### 4.2 Utsläpp till omgivningen

Det antas att samtliga radionuklider som frigörs vid fallet transporteras ut med luften. Om spridning av radionukliderna inom aktuell lokal antas ske momentant och fullständigt, så kommer aktivitetsmängden i lokalen att avta exponentiellt medan radionukliderna förs ut med ventilationen:

$$A(t) = A(0)\exp(-Ot)$$

där

$A(0)$  är aktiviteten i lokalen, Bq, vid starten för olycksförloppet ( $t = 0$  h),

$O$  är luftomsättningen i lokalen,  $h^{-1}$ .

För att uppskatta varaktigheten för utsläppet till omgivningen ansattes att den motsvarar den tid när aktiviteten i lokalen sjunkit till 1 % av den frigjorda aktiviteten. Detta insatt i ovanstående ekvation och lösning med avseende på  $t$  medför:

$$t = -\frac{\ln(0,01)}{O}$$

Detta ger en tid för utsläpp till omgivningen från planerat Bergrum för mellanlagring av långlivat avfall på cirka 13 timmar.

### 4.3 Spridning i luft

För missöden i de svenska kärnkraftverken har SSM angivit beräkningsförutsättningar för så kallade realistiska beräkningar, se t.ex. /SSM 2009a/.

Metoder för att beräkna spridning och dos togs fram i ett gemensamt projekt, och redovisas i /VPC 2010/. För beräkningarna i denna användes den av SSM framtagna spridnings- och dosmodellen LENA ver. 2.2 /SSM 2009b/. Denna utnyttjades även för denna studie.

I /SSM 2009a/ anges att för utsläppshöjder lägre än 25 meter ska beräkningar ske för fixa meteorologiska förhållanden med en vindhastighet på 2 m/s och en stabilitetsklass Pasquill F /Pasquill and Smith 1983/ och en blandningshöjd på 100 m, under vilken alla utsläppta radionuklider stannar. Dessutom ska beräkningarna utföras som om all aktivitet släpps ut i jämn takt under en timme, oavsett utsläppsförloppets längd. Beräkningarna ska avse en punkt i omgivningen på 1 meters höjd. Dessa förutsättningar tillämpades för denna rapport. De meteorologiska förhållandena är valda för att vara konservativa. Att beräkna dosen på 1 m höjd ger något konservativa värden, utom om utsläppen sker under en meters höjd, vilket inte är fallet här. Med en kortare utsläppstid erhålls en högre markdos vid lika totalt utsläppt mängd, eftersom markdosen integreras. Om totala mängden ger bidrag redan från start av andra timmen ger det högre markdos än om utsläppet sker med mindre mängd under längre tid.

LENA-modellen är en gaussisk plymmodell där aktivitetskoncentrationen av en nuklid,  $c_{A,n}$  ( $Bq/m^3$ ) i en punkt på höjden  $z$  (m) över markytan nedströms, det vill säga  $x$ -riktningen, och längs plymens centralaxel ( $y = 0$ ) ges av /Pasquill and Smith 1983/:

$$c_{A,n}(x) = \frac{Q_{A,n}}{2\pi u \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \left\{ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{h-z}{\sigma_z(x)} \right)^2 \right] + \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{h+z}{\sigma_z(x)} \right)^2 \right] \right\}$$

där

$Q_{A,n}$  är utsläppsraten (Bq/s) för nukliden  $n$ , angiven som aktivitet,  $A_n$ , genom utsläppsförloppets varaktighet (utsläppstiden),  $t_{ut}$ ,

$u$  är vindhastigheten (m/s),

$h$  är utsläppshöjden (m),

$\sigma_y(x)$  och  $\sigma_z(x)$  (m) är mått på spridningen i horisontell och vertikal led som funktion av avståndet och varierar med den atmosfäriska stabiliteten, t.ex. angiven som funktion av Pasquill-klass /SSM 2009b/.

Samtliga nuklider har lång halveringstid, se bilagan, i förhållande till den tid som det tar för plymen att ta sig förbi en dosberäkningspunkt i omgivningen, vilken är i storleksordningen timmar. Detta medför att avklingningen kan försummas.

Om man bildar kvoten  $c/Q_{A,n}$  får man den så kallade relativa koncentrationen  $R_c$  (s/m<sup>3</sup>), som är oberoende av utsläppet.

#### 4.4 Nedfall på mark

Nedfall på mark (deposition) modelleras i /SSM 2009b/ med en ämnesspecifik depositions-hastighet,  $v_{d,n}$  (m/s), som multipliceras med aktivitetskoncentrationen för att ge en depositionsrat  $d_{r,n}$  (Bq·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) enligt:

$$d_{r,n}(x) = v_{d,n} c_{A,n}(x) = v_{d,n} Q_{A,n} R_c(x)$$

Genom att multiplicera med utsläppstiden,  $t_{ut}$ , erhålls den totala mängden som deponeras på marken. I /SSM 2009a/ fastställs att en depositions-hastighet på 0,002 m/s ska användas för partiklar. Det antas konservativt att C-14 är helt i form av partiklar, vilket ger det största nedfallet.

#### 4.5 Individdos

De exponeringsvägar som beaktats är extern exponering för radionuklider i plymen (även kallad molnet), extern exponering för nuklider som deponerat på marken, samt extern exponering på grund av inhalation. I samtliga fall har antagits att vistelse sker utomhus, vilket inte ger någon skärmning.

Externdos från molnet för en nuklid,  $D_{mo,n}$  (Sv), integrerat över den tid det tar för molnet att passera en given punkt, vilken är lika med utsläppets varaktighet,  $t_{ut}$ , ges av

$$D_{mo,n}(x) = D_{c,mo,n} c_{A,n}(x) t_{ut}$$

där

$D_{c,mo,n}$  är den nuklidspecifika doskoefficienten för moln (Sv/s per Bq/m<sup>3</sup>)

Externdos från mark,  $D_{ma,n}$  (Sv), ges genom integrering av

$$D_{ma,n}(x) = D_{c,ma,n} d_{r,n}(x) t_{int}$$

där

$D_{c,ma,n}$  är den nuklidspecifika doskoefficienten för mark (Sv/s per Bq/m<sup>2</sup>),

$t_{int}$  är en integrationstid för dos från mark, eftersom nedfallna radionuklider ger bidrag även efter det att plymen passerat. I /SSM 2009a/ anges att markdosen ska integreras för 30 dygn.

Interndos på grund av inhalation av en nuklid,  $D_{inh,n}$  (Sv), uttrycks som:

$$D_{inh,n}(x) = D_{c,inh,n} I c_{A,n}(x) t_{ut}$$

där

$D_{c,inh,n}$  är den nuklidspecifika doskoefficienten för inhalation (Sv/Bq),

$I$  är inhalationen ( $m^3/s$ ). I /VPC 2010/ används inhalationen för en vuxen:  $0,000256 m^3/s$ .

## 4.6 Val av nuklider

En stor del av de nuklider som ingår i utsläppet finns inte i LENA-modellens databas. Därför gjordes ett urval beroende på beräknat relativt bidrag till dosen, vilket kan fås genom att kombinera termerna i dosekvationerna, innan man utför spridningsberäkningarna. När nukliderna är långlivade i förhållande till integrationstiden för markdos, och den senare är mycket större än utsläppstiden, kan utsläppstiden förkortas bort från dosuttrycken, och relativa koncentrationen,  $R_c$ , förekommer i både täljare och nämnare så att uttrycket för det relativa bidraget blir oberoende av denna parameter. Det relativa dosbidraget,  $D_{rel,n}$ , ges då för radionukliden  $n$  som:

$$D_{rel,n} = \frac{\frac{D_{mo,n}}{R_c} + \frac{D_{ma,n}}{R_c} + \frac{D_{inh,n}}{R_c}}{\sum_{n=1}^N \left( \frac{D_{mo,n}}{R_c} + \frac{D_{ma,n}}{R_c} + \frac{D_{inh,n}}{R_c} \right)} = \frac{D_{c,mo,n} A_n + D_{c,ma,n} A_n v_{d,n} t_{int} + D_{c,inh,n} A_n I}{\sum_{n=1}^N (D_{c,mo,n} A_n + D_{c,ma,n} A_n v_{d,n} t_{int} + D_{c,inh,n} A_n I)}$$

där  $N$  är det totala antalet radionuklider.

De doskoefficienter som användes redovisas i bilagan.

I bilagan redovisas även beräkningarna av det relativa dosbidraget.

För tappad BFA-tank användes summan av fallen 5-8 /Håkansson 2008/ som maximal källterm. Dosen domineras till 97 % av Co-60, varför enbart denna behövde användas för dosberäkningarna.

För brand i bitumenfat visade det sig att nukliderna Co-60, Sr-90, Cs-134 och Cs-137 bidrog till dosen, och användes därför i beräkningarna.

## 5 Resultat

Beräknat bidrag till dos till en vuxen individ ges i Tabell 5-1 och Tabell 5-2. Den maximala dosen för fallet tappad BFA-tank (fall 5-8 i /Håkansson, 2008/) erhöles på ett avstånd av 1 km, och var cirka 30  $\mu\text{Sv}$ . Motsvarande för brand i bitumenfat var ett maximum på 50  $\mu\text{Sv}$  på ett avstånd av 1 km. Dosbidragen från extern strålning från moln, liksom intern strålning på grund av inhalation, integreras under 1 timme. Bidrag från dessa exponeringsvägar ger endast bidrag under tiden som plymen passerar.

**Tabell 5-1 Tappad BFA-tank i planerat Bergrum för mellanlagring av långlivat avfall. Beräknat bidrag till dos till en vuxen (mSv). Resultaten avser ett värsta fallet, vilket är summering av inventariet för fall 5-8 i /Håkansson, 2008/.**

Avstånd km	Dos mSv			
	Moln	Mark	Inhalation	Totalt
0,2	3.7E-05	1.4E-06	6.1E-07	3.9E-05
0,5	3.0E-04	7.2E-03	3.1E-03	1.1E-02
1	2.4E-04	2.1E-02	8.7E-03	3.0E-02
2	1.3E-04	1.5E-02	6.2E-03	2.1E-02
3	8.2E-05	9.9E-03	4.2E-03	1.4E-02
4	5.9E-05	7.0E-03	2.9E-03	1.0E-02
5	4.6E-05	5.2E-03	2.2E-03	7.4E-03
6	3.7E-05	4.1E-03	1.7E-03	5.8E-03
7	3.1E-05	3.3E-03	1.4E-03	4.7E-03
8	2.7E-05	2.8E-03	1.2E-03	4.0E-03
9	2.3E-05	2.3E-03	9.9E-04	3.3E-03
10	2.0E-05	2.0E-03	8.5E-04	2.9E-03

**Tabell 5-2 Brand i fem bitumenfat i planerad ny förvarsdal. Beräknat bidrag till dos till en vuxen (mSv). Resultaten avser det värsta fallet (fall EB-9, konservativt).**

Avstånd km	Dos mSv			
	Moln	Mark	Inhalation	Totalt
0,2	5,3E-05	2,2E-06	1,2E-06	5,7E-05
0,5	4,4E-04	1,1E-02	6,3E-03	1,8E-02
1	3,5E-04	3,2E-02	1,7E-02	5,0E-02
2	1,9E-04	2,3E-02	1,2E-02	3,5E-02
3	1,2E-04	1,5E-02	8,6E-03	2,4E-02
4	8,8E-05	1,1E-02	6,0E-03	1,7E-02
5	6,8E-05	8,0E-03	4,5E-03	1,3E-02
6	5,5E-05	6,3E-03	3,6E-03	9,9E-03
7	4,6E-05	5,1E-03	2,9E-03	8,0E-03
8	3,9E-05	4,2E-03	2,4E-03	6,6E-03
9	3,4E-05	3,6E-03	2,0E-03	5,7E-03
10	3,0E-05	3,1E-03	1,7E-03	4,9E-03

Följande konservativa antaganden har gjorts:

- I fallet med tappad BFA-tank antas hela mängden till luften i lokalen frigjorda ämnen medfölja luften obehindrat till omgivningen.
- Hela mängden nuklider räknas med att släppas ut under en timme i fallet med tappad BFA-tank, även fast förloppet är längre, vilket dels skulle ge tid för konsekvenslindrande åtgärder, och dels ge mer variation i väderförhållandena medförande mer spridning och därmed lägre dos
- En person står utan skärmning utomhus mitt under plymen under hela utsläppsförloppet.
- De meteorologiska förhållandena varierar inte.

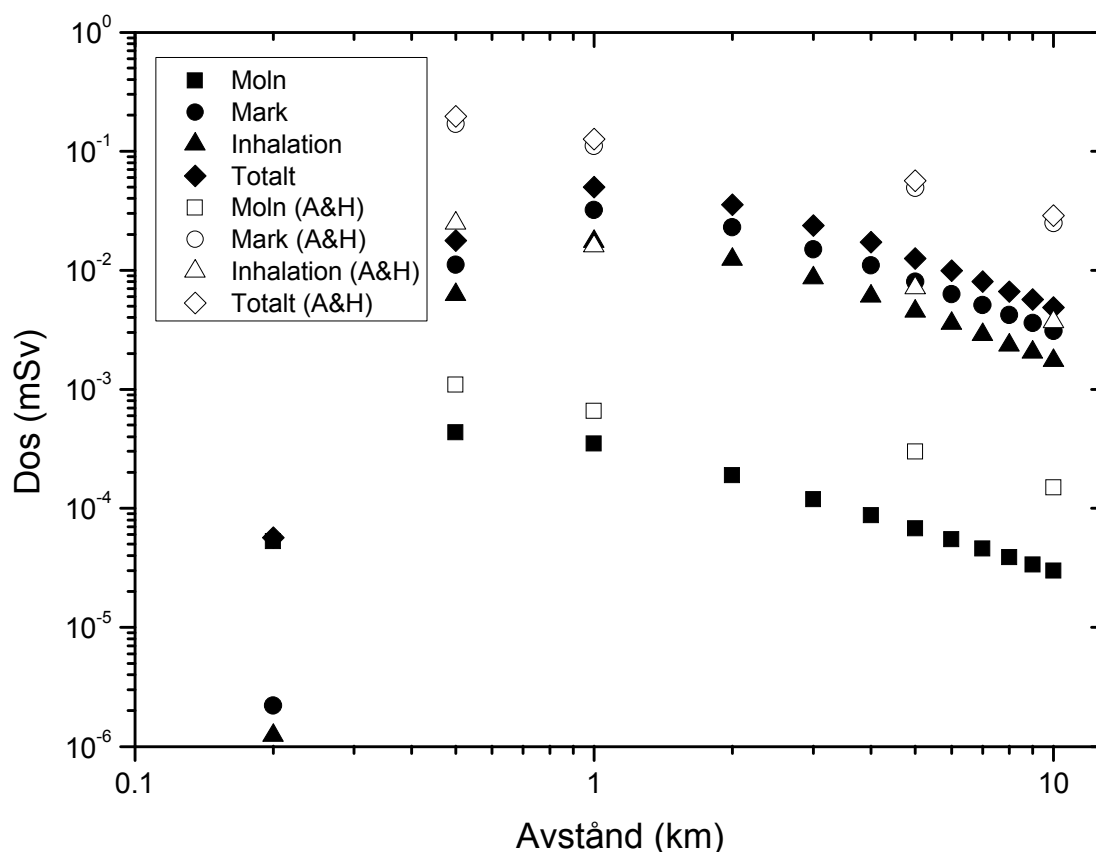
En del av den i anläggningen frigjorda aktiviteten kommer att fastna på ytor i lokalen och ventilationssystemet. I /Appelgren och Hellström 1986/ antogs att 30% av frigjord aktivitet deponerar i tunnelvägar och 10% i kanalsystem.

Eftersom utsläppet i fallet med tappad BFA-tank beräknas vara under lång tid är antagandena om att en person vistas utomhus på samma plats och att de meteorologiska förhållandena inte varierar mycket konservativa. Att dosen skulle underskattas är därför knappast troligt.

## 6 Jämförelse med tidigare beräkningar

Tidigare beräkningar för brand i bitumenfat redovisas i /Appelgren och Hellström 1986/. I den studien användes programkoden RELCON /Löwenhielm 1988/. I RELCON används statistik för relativ koncentration, se avsnitt 4.3, för beräkning av aktivitetskoncentrationen för olika avstånd. Relativa koncentrationen som används är 95%-percentilen för mest belastad vindriktning för Forsmark. Det avser de spridningsförhållanden som bara överträffas 5 % av tiden i den riktning dit vinden oftast blåser. Den relativa koncentrationen beräknas för varje avstånd, vilket innebär att det för olika avstånd inte behöver vara samma meteorologiska förhållanden som gett de 5% högsta fallen.

I Figur 6-1 ges en jämförelse mellan resultaten i denna rapport och de tidigare beräkningarna.



**Figur 6-1** Resultat av beräkningar i denna rapport och tidigare beräkningar /Appelgren och Hellström 1986/ (A&H).

Dosen från markbeläggning dominerar. De tidigare beräkningarna ger cirka 10 gånger högre dos från mark än de som utförts för denna rapport. De parametrar som avgör dos från mark är depositions hastighet, koncentration ( $Q_{A,n} \cdot R_c$ ), integrationstid och doskoefficient för extern dos från mark.

Samma utsläppsmängd och integrationstid för dos från mark användes. Dos från moln och inhalation ger endast bidrag under den tid plymen passerar, vilket är utsläppstiden. För dessa exponeringsvägar har integrationstiden ingen betydelse, eftersom man t.ex. får samma dos från 1 Bq som man utsätts för i 2 timmar som 2 Bq som man utsätts för i 1 timme. En torrdepositions hastighet på 0,01 m/s anges i /Löwenhielm 1988/ användas för både jod och andra ämnen, förutom ädelgaser som inte deponerar. I beräkningarna för denna rapport användes 0,002 m/s. I de tidigare beräkningarna får man då en 5 gånger högre markbeläggning, vilket tillsammans med skillnaden i meteorologiska förhållanden kan förklara skillnaden i dos.

I /SSM 2009a/ är en beräkningsförutsättning att torrdepositions hastigheten för oorganisk jod ska vara 0,01, fast fördubblad för att ta hänsyn till nedfall på grund av nederbörd. Det verkar som att det i de tidigare beräkningarna ansatts ett konservativt värde på depositionen genom att värdet för jod använts även för andra nuklider.



## Referenser

**Appelgren, E. och Hellström, P. 1986.** SFR1 - Forsmark. Omgivningskonsekvenser av missöden. Vattenfall KS-60/86.

**Hallberg, B, 2001.** Dosomräkningsfaktorer för normaldriftsutsläpp. E. Områdesbeskrivningar och kritisk grupp. STUDSVIK/ES-01/37, Studsvik Eco & Safety AB.

**Håkansson, L, 2008.** Uppskattning av aktivitetsfrigörelse vid transport av hårdkomponenter. Rapport 07-0035R rev. 2, ALARA Engineering. (SKBdoc id. 1088554, ver. 1.0).

**Karlsson, S. och Aquilonius, K, 2001.** Dosomräkningsfaktorer för normaldriftsutsläpp. C. Exponeringsvägar och radioekologiska data. STUDSVIK/ES-01/35, Studsvik Eco & Safety AB.

**Löwenhielm, G, 1988.** RELCON – program som beräknar doskonsekvenserna av utsläpp vid haveri. Statens vattenfallsverk. Rapport KS-61/84.

**Nedergård, B. (2011).** Personlig kommunikation 2011-05-06.

**Pasquill, F. and Smith, F. B, 1983.** Atmospheric diffusion, 3rd ed. Ellis Horwood Ltd, Chichester. ISBN 0-85312-426-4.

**SSM, 2009a.** Föreläggande avseende analys av omgivningskonsekvenser för kärnkraftsreaktorerna Forsmark 1, Forsmark 2 och Forsmark 3. Strålsäkerhetsmyndigheten dnr. 2008/1945.

**SSM, 2009b.** LENA 2003. Version 2.2.2. Användarhandledning. Strålsäkerhetsmyndigheten

**VPC, 2010.** Methodology Handbook for realistic Analysis of Radiological Consequences. Vattenfall Power Consultant, Report T-NA 10-24.

## Bilaga. Nuklider, halveringstider, doskoefficienter för vuxna, och relativt bidrag till dos

### Nukliddata

Nuklid	T <sub>½</sub> dygn	Doskoefficienter			
		Extern exponering från plym <i>D<sub>c,mo,n</sub></i> Sv/s per Bq/m <sup>3</sup>	Extern exponering från mark <i>D<sub>c,ma,n</sub></i> Sv/s per Bq/m <sup>2</sup>	Intern exponering av inhalation <i>D<sub>c,inh</sub></i> Sv/Bq	Referens (se nedan)
Ag-110m	250	1,27E-13	2,58E-15	3,60E-08	[1]
Ag-108m	46355	5,56E-14	1,22E-15	3,70E-08	[2]
Al-26	261705000			2,00E-08	[2]
C-14	2091450	0,00E+00	0,00E+00	5,80E-09	[2]
Sc-46	83,8	3,61E-16	1,56E-15	6,80E-09	[2]
Co-57	270	4,72E-15	8,06E-17	1,00E-09	[2]
Co-58	71	4,44E-14	9,25E-16	8,90E-09	[1]
Co-60	1920	1,19E-13	2,30E-15	5,20E-08	[1]
Cl-36	109500000			7,30E-09	[2]
Cr-51	28	1,11E-15	2,25E-17	3,70E-11	[2]
Cs-134	750	7,06E-14	1,48E-15	6,00E-09	[1]
Cs-135	839500000			8,60E-09	[2]
Cs-137	1100	2,55E-14	5,51E-16	4,30E-09	[1]
Fe-55	985,5	0,00E+00	0,00E+00	7,70E-10	[2]
Fe-59	44,5	5,00E-14	9,17E-16	4,00E-09	[2]
Mn-54	314	3,33E-14	6,39E-16	1,50E-09	[2]
Mo-93	1277500			2,30E-09	[2]
Nb-93m	4964			1,80E-09	[2]
Nb-94	7409500	6,11E-14	1,22E-15	4,90E-08	[2]
Nb-95	37	3,49E-14	7,28E-16	9,50E-09	[1]
Ni-59	27375000	0,00E+00	0,00E+00	4,40E-10	[2]
Ni-63	35040	0,00E+00	0,00E+00	1,30E-09	[2]
Sb-124	58	7,50E-14	1,42E-15	8,60E-09	[2]
Sb-125	1007	1,58E-14	3,06E-16	1,20E-08	[2]
Sn-113	115	9,44E-15	1,83E-16	2,70E-09	[2]
Sn-117m	13,6	3,89E-15	6,39E-17	2,40E-09	[2]
Sn-121m	20075			4,50E-09	[2]
Sr-90	10585	9,83E-17	1,64E-18	2,10E-07	[1]
Ta-182	115			1,00E-08	[2]
Tc-99	77745000	0,00E+00	0,00E+00	1,30E-08	[2]
Zn-65	245	2,33E-14	4,44E-16	2,20E-09	[2]
Zr-93	558450000			2,50E-08	[2]
Zr-95	66	3,36E-14	7,04E-16	3,10E-08	[1]
Eu-154	3212	5,00E-14	9,17E-16	5,30E-08	[2]
Eu-155	1810,4	2,28E-15	3,61E-17	6,90E-09	[2]
Pu-238	321000	3,50E-18	6,26E-19	3,70E-05	[1]
Pu-239	8760000	3,48E-18	2,84E-19	3,30E-05	[1]
Pu-240	2400000	3,42E-18	6,01E-19	3,30E-05	[1]
Pu-241	5256	6,33E-20	1,72E-21	6,60E-08	[1]
Am-241	15100	6,74E-16	2,33E-17	3,70E-05	[1]
Cm-244	6570	3,40E-18	6,44E-19	3,90E-05	[1]

Referenser för doskoefficienter

Nummer	Moln	Mark	Inhalation
[1]	<p><b>Eckerman K.F. and Leggett R.W, 1996.</b> DCFPAK: Dose coefficient data file package for Sandia</p>	<p><b>Eckerman K.F. and Leggett R.W, 1996.</b> DCFPAK: Dose coefficient data file package for Sandia</p>	<p><b>ICRP, 1995.</b> ICRP 71, Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4 inhalation dose coefficients. Annuals of ICRP vol 25, Nos 3-4, 1995</p> <p><b>ICRP, 1996.</b> Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5. Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients. Annals of the ICRP, ICRP Publication 72, Vol. 26, No. 1. Pergamon Press.</p>
[2]	<p><b>Svensson, L, 1979.</b> Dose conversion factors for external photon radiation. Försvarets Forskningsanstalt, Sweden (FOA Report C 40060-A3).</p> <p><b>NCRP, 1996.</b> Screening models for releases of radionuclides to atmosphere, surface water, and ground. National Council on Radiation Protection and Measurements, USA, NCRP Report No. 123.</p> <p><b>ICRP, 1996.</b> ICRP 72. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5. Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients. Annals of the ICRP, ICRP Publication 72, Vol. 26, No. 1. Pergamon Press.</p>	<p><b>Svensson, L., 1979.</b> Dose conversion factors for external photon radiation. Försvarets Forskningsanstalt, Sweden (FOA Report C 40060-A3).</p> <p><b>NCRP, 1996.</b> Screening models for releases of radionuclides to atmosphere, surface water, and ground. National Council on Radiation Protection and Measurements, USA, NCRP Report No. 123.</p> <p><b>ICRP, 1996.</b> Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5. Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients. Annals of the ICRP, ICRP Publication 72, Vol. 26, No. 1. Pergamon Press.</p>	<p><b>Europeiska Unionen, 1996.</b> Rådets direktiv 96/29/Euratom av den 13 maj 1996. Publicerad i Europeiska gemenskapernas officiella tidning L 159, 29 juni 1996.</p> <p><b>Europeiska Unionen, 1998.</b> Meddelande från kommissionen om genomförandet av rådets direktiv 96/29/Euratom om fastställande av grundläggande säkerhetsnormer för skydd av arbetstagarnas och allmänhetens hälsa mot de faror som uppstår till följd av joniserande strålning. Publicerad i Europeiska gemenskapernas officiella tidning 98/C 133/03, 30 april 1998 (ISSN 1024-3046).</p>

## Tappad BFA-tank

För beräkningsfallen 1-4 beräknades inget frigöras /Håkansson 2008/, så de tas inte med. Av vissa nuklider frigjordes så liten mängd att de inte kan bidra till dosen, så doskoefficienter för dessa togs inte fram.

### Relativt bidrag för summan av fall 5-8

Depositionshastighet,  $v_d$ , var 0,002 m/s /SSM 2009a/, och inhalationsrat,  $I$ , var 0,000256 m<sup>3</sup>/s /SSM 2009a/.

Nuklid	T <sub>½</sub> (dygn)	Aktivitet (Bq)	$D_{c,mo,n}A_n$	$D_{c,ma,n}A_n v_d n t_{int}$	$D_{c,inh,n}A_n I$	$A_n D_{c,mo,n} + A_n D_{c,ma,n} v_d n t_{int} + A_n D_{c,inh,n} I$	Relativt bidrag (%)
Ag-110m	250	1.32E+07	1.68E-06	1.77E-04	1.22E-04	3.01E-04	0
Ag-108m	46355	1.65E+06	9.17E-08	1.05E-05	1.56E-05	2.62E-05	0
Al-26	261705000	4.03E+00	0	0	2.07E-11	2.07E-11	0
C-14	2091450	4.03E+07	0	0	5.98E-05	5.98E-05	0
Sc-46	83,8	3.81E+06	1.37E-09	3.07E-05	6.62E-06	3.73E-05	0
Co-57	270	9.55E+06	4.51E-08	3.99E-06	2.44E-06	6.47E-06	0
Co-58	71	1.08E+06	4.80E-08	5.18E-06	2.46E-06	7.69E-06	0
Co-60	1920	6.38E+10	7.59E-03	7.61E-01	8.49E-01	1.62E+00	<b>97</b>
Cl-36	109500000	1.32E+04	0	0	2.47E-08	2.47E-08	0
Cr-51	28	3.90E-01	4.34E-16	4.55E-14	3.70E-15	4.96E-14	0
Cs-134	750	3.05E+06	2.15E-07	2.34E-05	4.68E-06	2.83E-05	0
Cs-135	839500000	1.50E+02	0	0	3.30E-10	3.30E-10	0
Cs-137	1100	2.77E+07	7.06E-07	7.91E-05	3.05E-05	1.10E-04	0
Fe-55	985,5	1.27E+11	0	0	2.49E-02	2.49E-02	<b>1</b>
Fe-59	44,5	3.40E+02	1.70E-11	1.61E-09	3.48E-10	1.98E-09	0
Mn-54	314	1.54E+09	5.14E-05	5.11E-03	5.92E-04	5.75E-03	0
Mo-93	1277500	4.22E+05	0	0	2.48E-07	2.48E-07	0
Nb-93m	4964	7.25E+09	0	0	3.34E-03	3.34E-03	0
Nb-94	7409500	8.97E+06	5.48E-07	5.68E-05	1.12E-04	1.70E-04	0
Nb-95	37	1.05E+00	3.65E-14	3.95E-12	2.54E-12	6.53E-12	0
Ni-59	27375000	4.82E+08	0	0	5.43E-05	5.43E-05	0
Ni-63	35040	6.18E+10	0	0	2.06E-02	2.06E-02	<b>1</b>
Sb-124	58	7.38E+03	5.54E-10	5.42E-08	1.63E-08	7.10E-08	0
Sb-125	1007	1.14E+08	1.81E-06	1.81E-04	3.51E-04	5.33E-04	0
Sn-113	115	1.75E+05	1.65E-09	1.66E-07	1.21E-07	2.89E-07	0
Sn-117m	13,6	1.21E-15	4.71E-30	4.01E-28	7.45E-28	1.15E-27	0
Sn-121m	20075	3.11E+07	0	0	3.58E-05	3.58E-05	0
Sr-90	10585	7.42E+04	7.29E-12	6.31E-10	3.99E-06	3.99E-06	0
Ta-182	115	1.56E+07	0	0	4.00E-05	4.00E-05	0
Tc-99	77745000	7.56E+04	0	0	2.52E-07	2.52E-07	0
Zn-65	245	1.23E+07	2.87E-07	2.84E-05	6.93E-06	3.56E-05	0
Zr-93	558450000	9.96E+04	0	0	6.38E-07	6.38E-07	0
Zr-95	66	1.55E+04	5.19E-10	5.64E-08	1.23E-07	1.80E-07	0
Eu-154	3212	2.73E+03	1.37E-10	1.30E-08	3.70E-08	5.02E-08	0
Eu-155	1810,4	6.33E+02	1.44E-12	1.18E-10	1.12E-09	1.24E-09	0
Pu-238	321000	1.66E+02	5.81E-16	5.39E-13	1.57E-06	1.57E-06	0
Pu-239	8760000	2.16E+01	7.52E-17	3.18E-14	1.82E-07	1.82E-07	0
Pu-240	2400000	3.53E+01	1.21E-16	1.10E-13	2.98E-07	2.98E-07	0
Pu-241	5256	3.79E+03	2.40E-16	3.38E-14	6.40E-08	6.40E-08	0

Nuklid	$T_{1/2}$ (dygn)	Aktivitet (Bq)	$D_{c,mo,n}A_n$	$D_{c,ma,n}A_n$ $v_{d,n}t_{int}$	$D_{c,inh,n}A_n$	$A_n D_{c,mo,n} + A_n D_{c,ma,n} v_{d,n}t_{int} + A_n D_{c,inh,n}$	Relativt bidrag (%)
Am-241	15100	1.16E+02	7.82E-14	1.40E-11	1.10E-06	1.10E-06	0
Cm-244	6570	1.35E+02	4.59E-16	4.51E-13	1.35E-06	1.35E-06	0
		<b>2.62E+11</b>				<b>1.67E+00</b>	

### Brand i bitumenfat

Fallet med de största utsläppen var fall EB-9 (konservativa fallet) /Appelgren och Hellström 1986/. Depositionshastighet,  $v_d$ , var 0,002 m/s /SSM 2009a/, och inhalationsrat,  $I$ , var 0,000256 m<sup>3</sup>/s /SSM 2009a/. Doskoefficienter ges ovan för fallet tappad BFA-tank.

Nuklid	T <sub>½</sub> (dygn)	Aktivitet (Bq)	$D_{c,mo,n}A_n$	$D_{c,ma,n}A_n v_{d,n}t_{int}$	$D_{c,inh,n}A_n I$	$A_n D_{c,mo,n} + A_n D_{c,ma,n} v_{d,n}t_{int} + A_n D_{c,inh,n} I$	$D_{rel,n}$ %
Fe-55	996	2,487E+10	0,00E+00	0,00E+00	4,90E-03	4,90E-03	0
Co-60	1920	3,535E+10	4,21E-03	4,21E-01	4,71E-01	8,96E-01	41
Cs-134	754	7,102E+10	4,34E-03	4,50E-01	3,64E-01	8,18E-01	37
Cs-137	11000	7,102E+10	1,81E-03	2,03E-01	7,82E-02	2,83E-01	13
Ni-63	36500	3,600E+09	0,00E+00	0,00E+00	1,20E-03	1,20E-03	0
Sr-90	10500	3,600E+09	3,54E-07	3,06E-05	1,94E-01	1,94E-01	9
						2,20E+00	