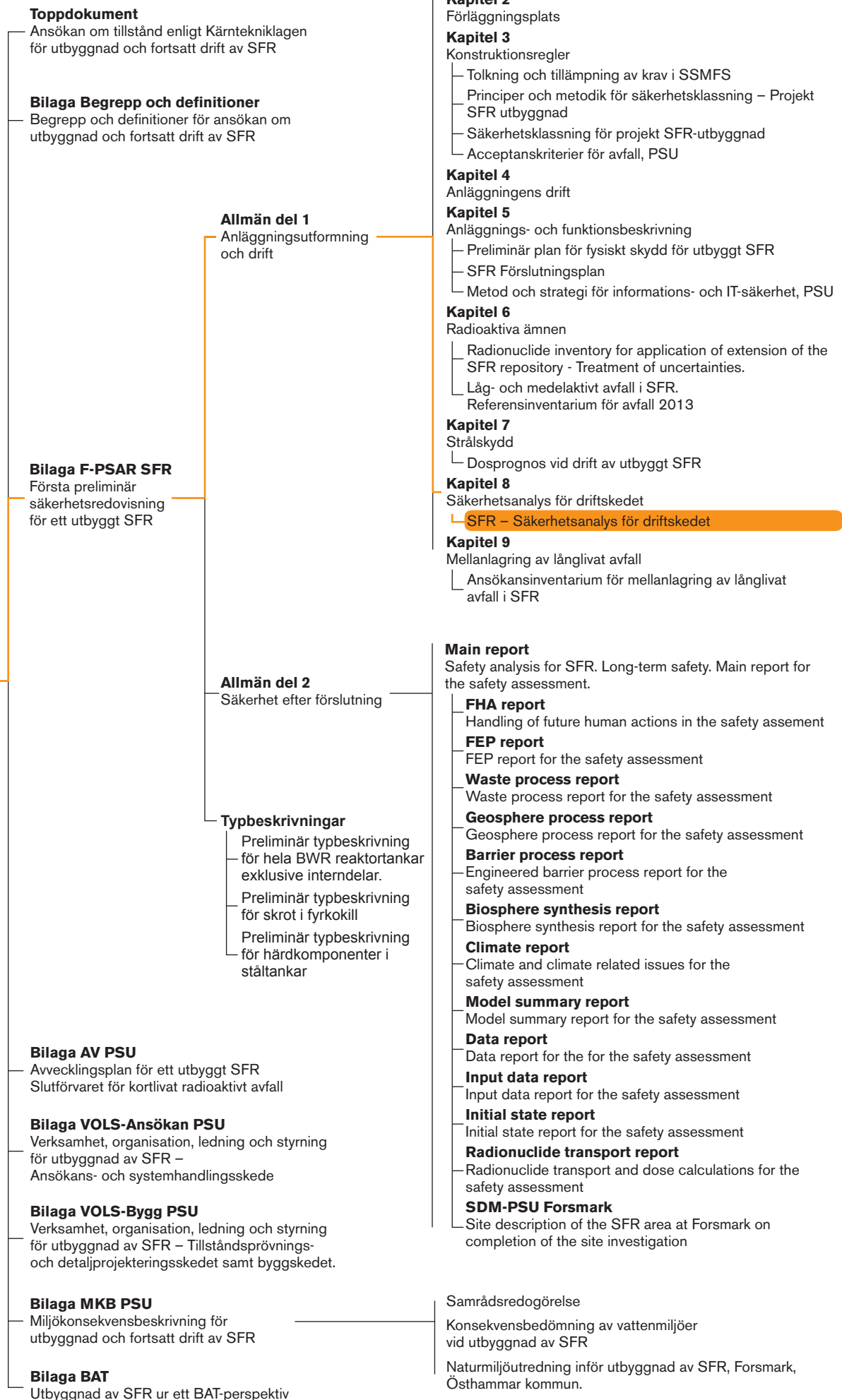


# Ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen





DokumentID 1370971	Version 2.0	Status Godkänt	Reg nr	Sida 1 (24)
Författare Erik Möller			Datum 2014-04-15	
Kvalitetssäkrad av David Persson (KG)			Kvalitetssäkrad datum 2014-11-17	
Godkänd av Peter Larsson			Godkänd datum 2014-11-18	
Kommentar Granskning har skett enligt granskningsprotokoll SKBdoc 1414275				

## SFR - Säkerhetsanalys för driftskedet

<b>1</b>	<b>Inledning</b> .....	<b>2</b>
1.1	Syfte.....	3
1.2	Bakgrund .....	3
1.3	Begränsningar.....	4
<b>2</b>	<b>Krav och förutsättningar</b> .....	<b>5</b>
2.1	Myndighetskrav och rekommendationer .....	5
2.2	Internationella rekommendationer.....	6
2.3	SKB:s krav och tolkningar .....	6
<b>3</b>	<b>Metodik</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Genomförande</b> .....	<b>10</b>
4.1	Inventering av händelser.....	10
4.2	Värdering av händelser .....	11
4.3	Kategorisering av händelser .....	11
4.4	Typhändelser .....	12
4.5	Frekvensidentifiering och bestämning av händelseklass.....	14
<b>5</b>	<b>Analys av händelser</b> .....	<b>17</b>
5.1	Identifiering av paraplyfall inom H2 .....	17
5.2	Identifiering av paraplyfall inom H3 .....	17
5.3	Identifiering av paraplyfall inom H4.....	18
5.4	Hantering av händelser inom Restrisk.....	19
5.5	Osäkerheter.....	20
<b>6</b>	<b>Resultatsammanställning</b> .....	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>Slutsats</b> .....	<b>22</b>
<b>8</b>	<b>Referenser</b> .....	<b>23</b>
<b>Bilaga 1 – Händelseinventering SFR</b> .....		<b>24</b>
<b>Bilaga 2 – Identifiering av paraplyhändelser</b> .....		<b>24</b>

## Revisionsförteckning

Version	Datum	Revidering omfattar	Utförd av	Granskare	Godkänd
1.0	2014-04-21	Dokument utfärdat	Erik Möller	Se granskningsprotokoll 1414275	Peter Larsson
2.0	Se sidhuvud	Justering av acceptanskriterier för H1	Patrik Berg	Se granskningsprotokoll 1414275	Se sidhuvud

# 1 Inledning

SKB planerar för att bygga ut förvaret för radioaktivt avfall i Forsmark (SFR) för att också kunna slutförvara rivningsavfall från det svenska kärnkraftsprogrammet. Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken och kärntekniklagen för denna utbyggnad och utökade lagringskapacitet ska lämnas in. Prövningen enligt kärntekniklagen avser den kärntekniska säkerheten och en uppdaterad säkerhetsredovisning (F-PSAR) erfordras enligt SSMFS 2008:1 4 kap, 1 § [SSM, 2012]. I denna ingår att under onormala betingelser, driftstörningar och haveri visa anläggningars säkerhet och robusthet.

I detta dokument redovisas den säkerhetsanalys som ligger till grund för beskrivning i F-PSAR kapitel 8 avseende om SFR:s kärntekniska säkerhet och omgivningspåverkan vid störningar och händelser under drift.

## 1.1 Syfte

Övergripande syfte med detta dokument är att visa att SFR har såväl barriärer som djupförsvar för att förebygga radiologiska olyckor [SSM, 2012 (4 kap 1 §)].

Rapporten innehåller därför en metodisk inventering av de händelser som kan inträffa under driften av anläggningen och orsaka radiologiska olyckor. Identifierade händelser har analyserats och värderats för att ställas mot angivna acceptanskriterier.

Säkerhetsanalysen av driften vid SFR redovisar anläggningens robusthet utifrån:

- 1) processen för deponering av radioaktivt avfall (inklusive mellanlagring av hårdkomponenter)
- 2) anläggningen som den är konstruerad (rummet) och
- 3) extern påverkan så som väder- och naturfenomen.

Rapporten ska ge en omfattande och spårbar lista av händelser och händelseförlopp. De identifierade inledande händelserna ska tillsammans med konstruerade extrema händelseförlopp representera nuvarande bästa kunskap om samtliga händelser som kan leda till en radiologisk konsekvens under den planerade driften av det utbyggda SFR. Dessa inledande händelser ska sedan screenas och via representerande typhändelser analyseras utifrån händelseklass och konsekvens. Paraplyhändelser ska identifieras utifrån att de representerar de högst beräknade konsekvenserna.

Förutom händelsernas konsekvenser är det också händelserna/händelseförloppens sannolikheter att inträffa som bestämmer risken, en risk som ska vara så låg som möjligt.

Ett grundläggande strategiskt mål med denna säkerhetsanalys är att redovisningen skall vara sådan att den enkelt kan kompletteras med flera händelser, om sådana identifieras, och att dessa enkelt skall gå att jämföra mot de redovisade paraplyhändelserna och deras konsekvenser.

## 1.2 Bakgrund

Säkerhetsanalyset för driften av SFR har sedan planeringen av anläggningen varit prioriterat och har utvecklats i enlighet med rådande krav och rekommendationer. Inför drifttagandet av SFR gjordes ett omfattande analysarbete avseende anläggningens robusthet och säkerhet. Ett flertal analyser av konsekvenser från varierande brandscenarier utfördes bland annat [Appelgren och Hellström, 1986].

Den utbyggnad av SFR som planeras innebär att flera förvarsdelar av BLA-typ ska konstrueras samt ett BMA och ett temporärt lager för hårdkomponenter i ståltankar i 1 BRT. Detta för att slutförvara rivningsavfall från avvecklingen av de svenska kärnkraftsanläggningarna. Avfall som planeras enligt rådande driftsvillkor att deponeras i befintligt SFR har högre aktivitetsinnehåll än det som planeras att deponeras i de nya förvarsdelarna (fyra BLA- och ett BMA-förvar), varför nedanstående analys kan anses inbegripa även det avfall som ska deponeras i de tillkommande förvarsdelarna. Tankarna med hårdkomponenter, vilka har ett större aktivitetsinnehåll än avfallet är inbegripna i nedanstående analys.

Även om den större deponeringsmängden efter utbyggnaden leder till ökat antal transporter bedöms de valda frekvenserna i nedanstående analys täcka in dessa. Den största andelen av transporter kommer att utgöras av lågaktivt avfall för deponering i BLA.

### **1.3 Begränsningar**

Rapporten innehåller inte detaljerade beskrivningar av händelser och incidenter och hur de uppkommit. För sådana hänvisas till den underliggande dokumentationen som omnämns och refereras till i denna rapport. Fokus har varit på att systematiskt identifiera de högst beräknade konsekvenserna och vilka händelser och händelseförlopp som med bedömda sannolikheter har resulterat i dessa.

Antagonistiska hot är ej föremål för säkerhetsanalysen utan analyseras separat (Fysiskt skydd).

## 2 Krav och förutsättningar

### 2.1 Myndighetskrav och rekommendationer

Analysen av en kärnteknisk verksamhets kärntekniska säkerhet och robusthet ska vara grundad på en systematisk inventering av de händelser, händelseförlopp och förhållanden som kan leda till en radiologisk olycka SSMFS:2008:1 [SSM, 2012]. Identifierade händelser och händelseförlopp ska vidare indelas i händelseklasser från H1 till H5, beroende på deras sannolikhet för inträffande.

För varje händelseklass ska det genom analyser visas att gränsvärden för barriärer innehålls och att de radiologiska omgivningskonsekvenserna (i form av dos till mest belastad individ i kritisk grupp) är acceptabla i förhållande till värden som anges med stöd av strålskyddslagen. För driften av kärnkraftreaktorer finns närmare bestämmelser avseende indelning av händelseklasser [SSM, 2008a], se sammanställningen nedan.

Händelseklass	Beskrivning
Normal drift (H1)	Inkluderar störningar som bemästras av ordinarie drift- och reglersystem utan driftavbrott
Förväntade händelser (H2)	Händelser som kan förväntas inträffa under en kärnkraftsreaktors livstid.
Ej förväntade händelser (H3)	Händelser som inte förväntas inträffa under en kärnkraftsreaktors livstid, men som kan förväntas inträffa om ett flertal reaktorer beaktas.
Osannolika händelser (H4)	Händelser som inte förväntas inträffa. Här inkluderas även ett antal övergripande händelser som oberoende av händelsefrekvens analyseras för att verifiera kärnkraftsreaktors robusthet. Dessa händelser benämns ofta konstruktionsstyrande händelser.
Mycket osannolika händelser (H5)	Händelser som inte förväntas inträffa. Om händelsen ändå skulle inträffa kan den leda till stora härdsador. Dessa händelser utgör grunden för kärnkraftsreaktors konsekvenslindrande system vid svåra haverier.
Extremt osannolika händelser (restrisker)	Händelser som är så osannolika att de inte behöver beaktas som inledande händelser i samband med säkerhetsanalys.

I SSMFS 2008:1 anges också att modeller och beräkningsprogram som används för säkerhetsanalyser och för att fastställa konstruktions- och driftsgränser ska vara validerade och verifierade.

Metodiken som används i säkerhetsanalysen, beskriven i kapitel 3, bygger på myndigheternas föreskrifter samt rekommendationer i tillhörande allmänna råd.

## 2.2 Internationella rekommendationer

Övergripande krav på hantering av radioaktivt avfall anges i den av Sverige ratificerade konventionen "Joint convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management".

Konventionen, vars innehåll återges i IAEA INFCIRC/546 (Svensk översättning finns i SÖ 1999:60), har som allmänna mål att uppnå en hög säkerhet när det gäller hantering av använt kärnbränsle och kärnavfall, att skydda människor och miljö från effekterna av skadlig strålning, samt att förhindra radiologiska olyckor och lindra konsekvenserna av sådana om de skulle inträffa. Kapitel 3 "Säkerhet i fråga om hantering av radioaktivt avfall" behandlar anläggningar av den typ som SFR representerar. Artiklarna 15-16 är av särskild vikt avseende säkerhetsanalys för SFR:s driftskede.

Internationella normer är inte formellt styrande för konstruktioner eller verksamheter i Sverige. En utvärdering har dock gjorts av nedanstående lagar/normer:

- US NRC10 CFR Part 60 "Disposal of high radioactive wastes in geological repositories, Subpart E -Technical Criteria". Utvärdering av kraven i US NRC 10 CFR Part 60 har genomförts. Utvärderingen har inte lett till krav utöver de som redan ställs i denna rapport avsnitt 2.1.  
*(Åsytar främst använt bränsle)*
- IAEA:s regelverk "IAEA Safety Standard No WS-R-1 Near Surface Disposal of Radioactive Waste" är värderad mot SFR i rapport [Karnik, 2011] och slutsatsen är att SFR uppfyller kraven mot IAEA Safety Standard i allt väsentligt.
- IAEA-TEC-DOC 719, respektive 1511 har där så varit tillämpligt applicerats i framtagandet av en systematisk metodik.  
*(Åsytar främst på PSA analys, vilket ej genomförs i sin helhet för SFR)*

Slutsatsen är att SKB i allt väsentligt följer det regelverk som återfinns i internationella normer och konventioner.

## 2.3 SKB:s krav och tolkningar

Driften av SFR skiljer sig avsevärt från driften av kärnkraftsreaktorer avseende olyckor och haverier. Främst saknar SFR den eventuella drivkraft som kan påverka frigörelsen av aktivitet till omgivningen vid en störning. Haveri kan således inte uppkomma vid SFR då anläggningen inte innehåller något klyvbart/fissilt material. SKB väljer emellertid att basera stora delar av säkerhetsanalysen för driften av sina anläggningar på av myndigheten framtagen metodik och rekommendationer för reaktorer säkerhetsanalyser samt inriktningsdokument för nya kärntekniska anläggningar.

Den definition av händelseklasser som myndigheten angivit för driften av kärnkraftreaktorer har därför applicerats i denna säkerhetsanalys av SFR:s driftskede, med undantag av svåra haverier. Händelseklass H5 är kopplat till konsekvenslindande system avseende svåra haverier för främst kärnkraftsreaktorer. Anläggningen SFR är ej konstruerad med konsekvenslindrande system och därför anses händelsegruppen H5 ej applicerbar för SFR. Detta är i enlighet med myndighetens inriktningsdokument [SSM, 2013]. Restrisk utgör därför den enda händelseklassen utanför konstruktionsstyrande händelser, det vill säga anläggningen är inte konstruerad för restrisker då de har så låg sannolikhet att inträffa.

Enligt föreskriften ska konsekvensen för händelser i varje händelseklass vara acceptabel enligt strålskyddslagen. SSM har givit ut ett inriktningsdokument för referensvärden för radiologiska omgivningskonsekvenser, dvs dos till tredje man [SSM, 2013]. Dessa värden har använts som kriterier i utvärdering av anläggningens robusthet, se tabell 2-1 nedan.

**Tabell 2-1.** Acceptanskriterier för händelseklasserna

<b>Händelseklass</b>	<b>Acceptanskriterier</b>			
	<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>H3</b>	<b>H4</b>
Händelsefrekvens	Normal drift	$10^{-2} \leq f < 1$	$10^{-4} \leq f < 10^{-2}$	$10^{-6} \leq f < 10^{-4}$
Dos till mest belastad individ (Effektiv dos)	0,1 mSv	0,1 mSv	1 mSv	20 mSv
Dos till personal (Effektiv dos) <sup>1</sup>	20 mSv	50 mSv	50 mSv	50 mSv

Förutom deterministiska analyser kräver myndigheten i sin föreskrift att probabilistiska analyser ska utföras. Det anges dock i de allmänna råden till SSMFS 2008:1 (allmänna råden 4 kap 1 §) att för ”enklare anläggningar med liten risk för omgivningspåverkan kan ett enkelt resonemang om sannolikhet för olika händelser vara tillräckligt”. SKB har i denna säkerhetsanalys tolkat att inga probabilistiska analyser krävs för SFR, på grund av dess enkla konstruktion, få system och inga drivande krafter samt jämfört med kärnkraftreaktorer mycket begränsade källtermer.

SSM:s krav på validerade och verifierade modeller [SSM, 2012] har uppfyllts genom att allmänt vedertagna spridningsmodeller för utsläpp av aktivitet till luft har använts i analysen av omgivningskonsekvenser.

SFR är en anläggning som skall förslutas och bli ett slutförvar för radioaktivt avfall. Säkerhetsanalys för driftskedet, vilket behandlas i denna rapport, inkluderar ej analys av säkerheten efter förslutning av förvaret. Säkerhetsanalys för driftskedet analyserar inte barriärer avsedda för långtidssäkerhet utan det radioaktiva avfallet ansätts att under driftskedet vara bundet och inneslutet i härtill avsedda och godkända avfallskollin.

För att radiologisk konsekvens skall uppstå krävs att antingen avfallskollits egenskaper förloras eller att den planerade processen att deponera avfallskolli frångås och att personal utsätts för en icke planerad radioaktiv dos på grund av detta.

Vidare tolkas myndighetens föreskrift så att säkerhetsanalysen ska visa SFR:s robusthet, det vill säga uppfyllandet av de ovan visade acceptanskriterierna för konsekvenser från direkta utsläpp av aktivitet.

Personals dosbelastning för iordningställande efter t ex kontamination av en bergssal ingår inte.

<sup>1</sup> Undantag från dessa gränser kan ges vid behov av SSM [SSM, 2008b].



### 3 Metodik

För att uppnå målet, vilket är att visa att SFR är en ur kärnteknisk synpunkt säker anläggning och uppfyller strålskyddslagens krav, har paraplyfall för varje händelseklass identifierats, konsekvenser beräknats och dessa utvärderats mot de gällande kriterierna, se föregående avsnitt.

Denna metodik har valts då det inte är möjligt att med säkerhet påstå att en säkerhetsanalys av detta slag innehåller alla händelser och händelseförlopp som kan uppkomma under en anläggnings driftstid. Det är inte heller behövligt och rationellt att analysera konsekvenser för samtliga händelser och händelseförlopp, beroende på deras sannolikheter att inträffa i kombination med deras förväntade konsekvenser.

Metodiken bygger på följande steg:

1. Inventering
2. Värdering/bedömning
3. Gruppering/Kategorisering
4. Typhändelser och händelseklassning
5. Paraplyfall
6. Utvärdering mot acceptanskriterier

En genomgång av tidigare redovisade samt nyidentifierade händelser har genomförts och dokumenterats i en lista, se Bilaga 1.

Första värderingskriterium är att det endast är händelser som kan leda till utsläpp av aktivitet eller direkt förhöjd stråldos till personal som avses i denna analys, andra värderingskriterium är att likartade händelser sammanslås och representeras av en typhändelse.

Indelningen av händelser/händelseförlopp i kategorier baseras på en av strålsäkerhetsmyndigheten publicerad forskningsrapport avseende PSA (probabilistisk säkerhetsanalys) [Hallman *et al*, 2004] och anses vara tillämplig på en anläggning av den typ som SFR utgör.

1. **Processhändelser:** Händelser vars orsak finns inom processen.
2. **Rumshändelser:** Händelser vars orsak återfinns utanför processen men inom anläggningen.
3. **Externa händelser:** Händelser vars orsak återfinns utanför processen och utanför anläggningen, tidigare även benämns ”yttre händelse”.

Respektive kategori av händelser kan där så anses lämpligt delas upp i underkategorier för att tydliggöra typhändelserna, till exempel delas processhändelsen Brand in i underkategorier (Transport/Avfallsmatris/Komponent).

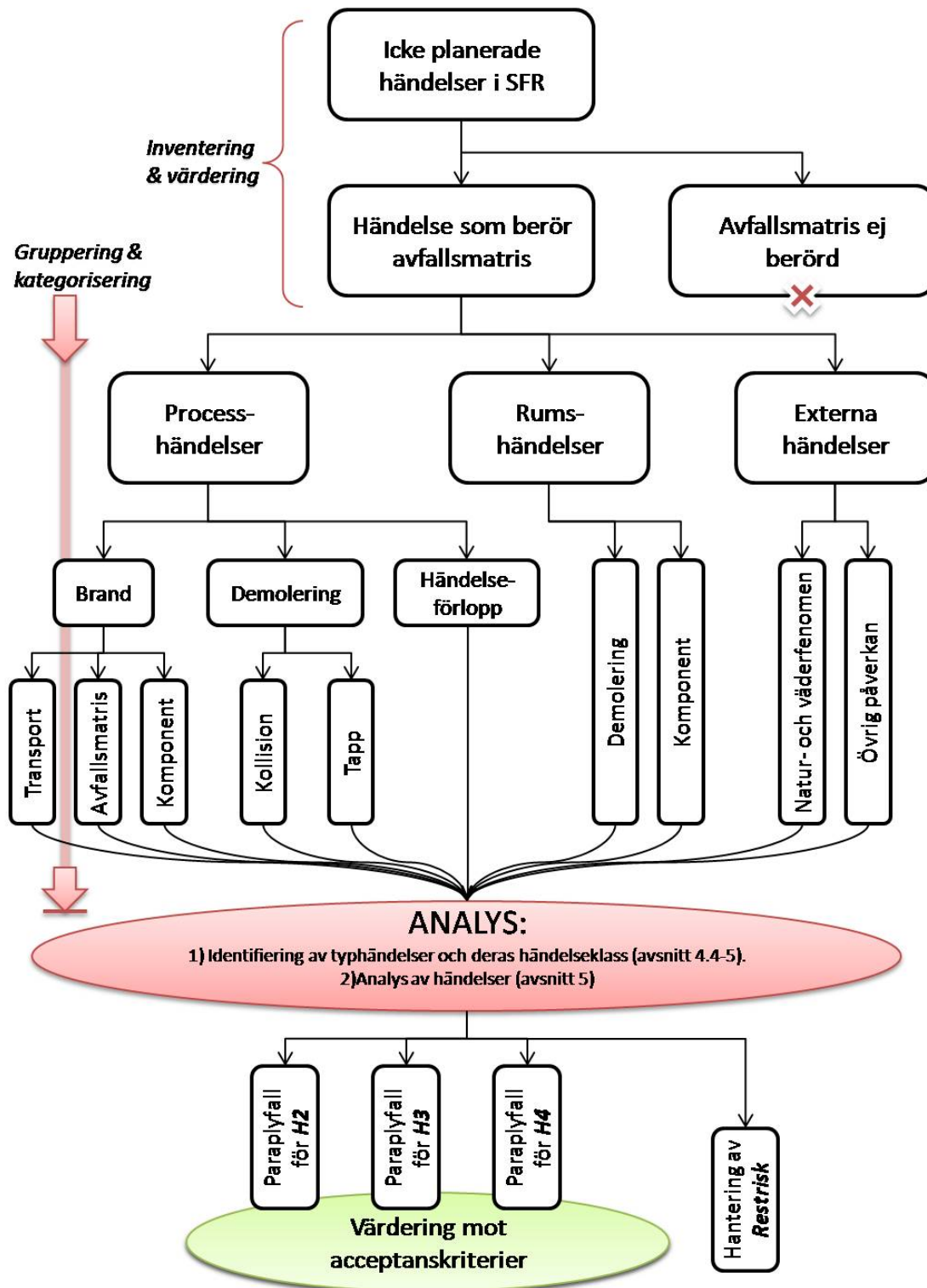
Som komplement till de inledande händelser som redovisas i kategori processhändelser behandlas även händelseförlopp, vilket representerar de fiktiva och konstruerade händelser där flera inledande händelser inträffar i ett och samma händelseförlopp (som konsekvens eller oberoende varandra). Till exempel är ”brand i fordon” och ”kollision med bergvägg” inledande händelser vilka är analyserade var för sig samt i underkategorin händelseförlopp.

De identifierade paraplyfallen, som representerar konservativa fall av flera händelser, analyseras vidare och deras frekvens och konsekvens presenteras. Frekvensen styr vilken händelseklass som paraplyhändelsen tillhör, en paraplyhändelse kan representera flera händelseklasser men det är den lägsta klassen (med högst frekvens) som är den som redovisas.

Med paraplyfall avser vi i detta sammanhang händelser alternativt händelseförlopp som ger den högst beräknade konsekvensen för samtliga händelser/händelseförlopp inom respektive händelseklass. De är

också så bestämda att det inte är sannolikt att någon ej nu behandlad händelse/händelseförlopp inom någon händelseklass framledes skulle ge högre exponering. Beräkningar av konsekvenser görs genom försiktiga val av beräkningsförutsättningar och parametervärden.

Schematisk beskrivning hur händelse och händelseförlopp hanterats i säkerhetsanalysen åskådliggörs i figur 3-1 och följer de ovan beskrivna stegen i metodiken.



Figur 3-1 Schematisk beskrivning.

## 4 Genomförande

I nedanstående kapitel beskrivs hur det systematiska arbetet genomförts.

### 4.1 Inventering av händelser

En omfattande genomgång av identifierade händelser och händelseförlopp som skulle kunna leda till störningar eller en radiologisk olycka har utförts och sammanställts i en lista där varje händelse kortfattat beskrivs med referens och när så givet anges resultat av tidigare konsekvensanalys vilket medför komplett spårbarhet, se bilaga 1.

Underlag för att identifiera händelser har i huvudsak varit fyra dokument varav det första togs fram inför den första licensieringen av SFR och det andra i samband med en gapanalys inför denna F-PSAR. Den tredje redovisar resultaten från en workshop medan den fjärde baseras på en litteraturinventering. De fyra dokumenten är:

1. SFR 1 – Forsmark - Analys av onormala driftsituationer ("Missödesanalys")<sup>2</sup>
2. PSU- Identifiering av inledande händelser [Backström, 2010]
3. Protokoll från workshop inledande händelser [Nygren, 2012]
4. SFR – Externa händelser [Möller, 2013]

Utöver händelser i de ovan listade och dokumenterade källorna har det i samband med identifieringsarbetet framkommit ett fåtal kompletterande händelser. Dessa har införts i bilagan med tydlig hänvisning till stödjande dokumentation när så varit möjligt. Sådana utgörs främst av händelser relaterade till utbyggnaden och den lagring av tankar med hårdkomponenter som planeras.

Händelserna har identifierats via tre huvudmetoder;

- Händelsestyrd inventering
- Processtyrd inventering
- Inventering av externa händelser

#### 4.1.1 Händelsestyrd inventering

Den händelsestyrda inventeringen baserades på den tidigare subindelningen av händelser i grupper beroende på deras ursprungliga orsak såsom:

- Brand
- Komponentfel
- Operatörsfel
- Bortfall av kraftmatning
- Yttre händelser (Externa händelser)

De fyra först nämnda grupperna benämndes tidigare för inre händelser, men kategoriseras vidare i två grupper – process- respektive rumshändelser. Tidigare benämnda händelser kopplade till yttre påverkan benämns fortsättningsvis Externa händelser, se avsnitt 4.1.3.

#### 4.1.2 Processtyrd inventering

Den processtyrda inventeringen innebar att huvudprocessen för SFR, mottagning, överflyttning till transportfordon, transport, inplacering i bergrum av avfallskolli gick igenom detaljerat och händelser/händelseförlopp som skulle kunna orsaka störningar identifierades i varje moment [Nygren, 2012]. Detta utfördes i en brainstorming med representanter med erfarenhet och kompetens från såväl driften av anläggningen som från utförande av säkerhetsanalyser.

---

<sup>2</sup> Dokumentet är SKB:s interna dokument, SKBdoc 1271413 version 1.0

### 4.1.3 Inventering av externa händelser

Gruppen externa händelser inkluderar händelser av typen Vind- och snölast, Temperatur, Havsvattennivå, Nederbörd, Jordbävning och Antagonistiska händelser. Det sistnämnda hanteras dock ej i säkerhetsanalysen utan som del av redovisningen av det fysiska skyddet.

En fristående inventering och analys av de externa händelserna redovisas [Möller, 2013]. Resultaten utgör en redovisning av vilka externa händelser som tas in i denna säkerhetsanalys.

### 4.1.4 Sammanfattning och slutsatser

Sammanställningen i bilaga 1 över samtliga händelser utgör en plattform för att kunna spåra händelser/händelseförlopp och vid behov komplettera dessa.

Sammanställningen utgör basen över händelser som ingår i säkerhetsanalysen och den innehåller drygt 150 dokumenterade händelser/händelseförlopp.

Brand är som förväntat den dominerande orsaken till utsläpp av aktivitet och beräknade doser för olika händelseförlopp är från 0,000012 mSv upp till 0,2 mSv [Appelgren och Hellström, 1986]. (De 0,2 mSv har i en senare dosberäkning justerats till 0,05 mSv [Hallberg och Huutoniemi, 2012].)

SKB bedömer att det ovan beskrivna arbetssättet utgående från de två skilda utgångspunkterna uppfyller myndighetens krav på en systematisk inventering av de händelser/händelseförlopp och förhållanden som kan leda till en radiologisk olycka.

## 4.2 Värdering av händelser

Händelserna har bedömts ur radiologisk synpunkt. Det vill säga, endast händelser som kan leda till aktivitetsfrigörelse med möjlig konsekvens för tredje man eller leda till att personal utsätts för icke planerad exponering behandlas vidare i analysen. Analys av övriga händelser sker inte. Bedömningen dokumenteras direkt i sammanställningslistan.

Utifrån sammanställningslistan har händelser av olika ursprung men som i princip är beskrivningar av samma sak sammanförts, utan att spårbarheten till ursprungsdokumentationen gått förlorad.

## 4.3 Kategorisering av händelser

För att strukturera och systematiskt analysera händelser och speciellt de ur konsekvenssynpunkt mer intressanta händelseförloppen vidare har de kategoriindelats. Indelningen baseras som ovan nämnts på en av strålsäkerhetsmyndigheten publicerad forskningsrapport avseende tillsyn av PSA [Hallman Et al. 2004] och anses vara tillämplig på en anläggning av den typ som SFR utgör. Dessa är Processhändelser, Rumshändelser och Externa händelser:

I kategorin Processhändelser inkluderas alla de incidenter som kan inträffa inom alla de moment som ingår i anläggningens process under driftskedet. För SFR innebär detta att störningar, incidenter vid ompackning, transport, och placering av avfallskollin i respektive förvarsdela innehålls i denna kategori. Som exempel kan nämnas brand, tapp av kולי vid omflyttning, demolering av avfallsförpackningar, etc.

Rumshändelser avser de processer som inte ingår explicit i huvudprocessen men inverkar på de förhållanden som krävs för att huvudprocessen ska fungera. De avser sådana faktorer som kan orsaka störningar i tillgång till t ex behövlig elenergi, ventilation, dränage. Även fysisk demolering av avfallskollin kan orsakas av rumshändelsen bergas.

De externa händelserna inbegriper samtliga yttre, utanför SFR rådande förhållanden eller händelser som kan påverka förutsättningar för anläggningens kärntekniska säkerhet. Exempel på sådana händelser kan vara extrema vattenflöden eller jordbävningar.

Som komplement till de inledande händelser som redovisas i kategorin ”processhändelser” ingår även kategorin händelseförlopp, vilket är sekvenser av inledande händelser såsom till exempel:

*kollision => brand => aktivitetsfrigörelse*

Införandet av händelseförlopp avser att täcka in de fiktiva och konstruerade händelser som är en kombination av två eller flera inledande händelser, där händelserna tillsammans kan leda till ökad konsekvens.

## 4.4 Typhändelser

Händelserna som påverkar säkerheten i SFR:s huvudprocess, slutdeponera radioaktivt avfall, är de som påverkar avfallets integritet och kan leda till aktivitetsutsläpp eller förhöjd dos till personal.

Då förvaret i sig är passivt är det endast via brand och eventuellt ventilation som aktivitet kan nå omgivningen. Personal kan också utsättas för extern exponering via demolering av förpackningar eller oplanerade kontakter med avfallskollin. Analysen belyser dessa situationer.

Utifrån den totala listan av identifierade händelser har dessa grupperats och kategoriserats och typhändelser har bestämts. Flera inledande händelser kan representeras av en typhändelse, de inledande händelserna eller typhändelserna återfinns i figur 3-1, angivna direkt ovanför analysen.

Trots att de externa händelserna identifierats till att inte ge några direkta konsekvenser diskuteras ändå sannolikheten för deras inträffande nedan.

### 4.4.1 Processhändelser

#### **Brand**

Fordon, komponenter (traverser) och avfall kan antändas. Detta kan teoretiskt ske spontant eller för fordon som resultat av kollision. Brand uppkommen i fordon och traverser påverkar inte avfallskollina, om den inte överförs till dessa, se avsnitt 4.5.3 ”Processhändelser – Händelseförlopp”. Brand i avfall orsakar frigörelse av aktivitet. Det är endast BLA-avfall som teoretiskt kan antändas spontant, då det består av sopor, skrot etc, dvs ej konditionerat avfall. BTF-avfallet i betongtankar är inte brännbart, och det bitumeninjutna avfallet deponerat i silo och BMA kan inte antändas spontant utan en initierande händelse krävs.

Slutsatsen är således att enbart brand i fordon och komponenter inte orsakar några konsekvenser medan brand i BLA-avfall teoretiskt kan leda till konsekvenser och således behandlas vidare i denna analys.

#### **Demolering av avfallskolli**

Demolering av avfallskolli kan leda till lokala aktivitetsutsläpp och exponering till personalen. Det bör dock påpekas att i acceptanskriterierna för avfall att deponeras i SFR ställs krav på att avfallskollina ska ha hög hållfasthet mot yttre påverkan. Demoleringen kan ske via tapp av kollin. De kan tappas vid lastning och vid inplacering i respektive bergssal. Containerar med avfall på fordon som kör över rampen ner i vattnet kan demoleras och aktivitet frigöras. Tappen av kollin kan bero på komponentfel alternativt operatörsfel. Kollision under transport av avfallskollina kan leda till skador på transportbehållarna alternativt containerarna för BLA-avfall. Vid deponering kan avfallskollin stöta till underliggande avfallskollin och orsaka skador på emballaget. Valda fall för sådana händelser har analyserats vidare, se nedan.

#### **Händelseförlopp**

Under sammanställningen identifierades relativt omgående att de ur kärnsäkerhetssynpunkt högst beräknade konsekvenserna orsakas av händelseförlopp, som leder till frigörelse av aktivitet. Baserat på

den systematiska genomgången, har några typiska sådana (sådana som har bedömts ha störst betydelse för exponering till tredje man) valts ut för vidare analys.

Förvaret har till skillnad mot driften av reaktorer ingen aktiv process som kan orsaka frigörelse av aktivitet. Det har således tidigt identifierats att brand är den enda drivande kraften som orsakar spridning av aktivitet. Ventilationen kan också, i mindre utsträckning, leda till utsläpp av gasformig aktivitet alternativt aktivitet förekommande på aerosoler.

Brand i terminalfordon eller truck kan orsakas av kollision med berg eller annat fordon alternativt via spontan antändning. Kollisionen kan bero på komponentfel på fordonet eller operatörsfel. Komponentfel i lyftdonen kan leda till brand i desamma. Sådana bränder kan under ogynnsamma förhållanden överföras till avfallet. Avfallet med den högsta aktivitetskoncentrationen transporteras i transportbehållare ned till silo alternativt BMA för deponering. Denna avfallsbehållare har gott motstånd mot bränder och när avfallet är konditionerat och ingjutet i betong har det låg brännbarhet. Endast när sådant avfall är ingjutet i bitumen kan det antändas. För antändning krävs också att transportbehållaren skadats så att elden nått avfallet. Avfallet till BTF och BLA körs med truck ner för deponering. Betongtankarna som deponeras i BTF är inte brännbara medan BLA-avfallet innehållande sopor och skrot har högre brandbenägenhet. En truckbrand som överförs till BLA-avfall studeras sålunda vidare, likväl fallet att det bitumeningjutna avfallet antänds.

#### 4.4.2 Rumshändelser

Bergssalarna kan översvämmas om uppföringen av dränagevatten bortfaller. Detta kan bero på komponentfel alternativt operatörsfel. Totalt elbortfall leder till att pumparna inte fungerar. Missiler såsom bergras kan skada emballaget. Komponentfel eller operatörsfel kan påverka ventilationen och den normalt rådande miljön i förvaret. Inga sådana förändringar orsakade av enstaka fel har kunnat påvisas som direkt påverkar den kärntekniska säkerheten, varför de inte behandlas vidare som enskilda händelser. Rumshändelser ingår dock när så är relevant i de händelseförlopp som beaktas vidare i analysen.

Vid elkraftavbrott avstannar traverserna i silo och BMA, varvid avfallet blir hängande till dess att kraftförsörjningen återupptagits. En sådan händelse orsakar inte några utsläpp av aktivitet, ej heller någon exponering av personalen. Om avbrottet inte kan åtgärdas utan att manuella insatser krävs kan personalen bli exponerad. Insatser för åtgärder och reparation planeras innan genomförande och specifik dosbudget ställs upp för insatsen. Denna typ av insats ingår dock ej i säkerhetsanalysen av händelser utan utgör del av planerad drift.

#### 4.4.3 Externa händelser

Förhållanden i förvaret kan påverkas av extrema externa förhållanden. Om vattenståndet i havet överstiger höjden av skyddande vallar kan vattenmassor flöda in i förvaret. Extrema nederbördsmängder kan orsaka att delar av förvaret vattendränks. Andra externa extremhändelser är tromb/orkanvindar, flygplanskrasch på avfallstransporterna ovan mark samt jordbävning [Möller, 2013].

Avseende jordbävning skulle en sådan visserligen kunna innebära att utrustning eller bergutfall leder till att avfallskollin skadas så att kollinas integritet bryts. Aktiviteten är emellertid bunden till avfallsmaterialet d v s det finns ingen drivande kraft för att detta ska nå omgivningen, förutom avseende hårdkomponenter i ståltankar samt skadade contrainrar i BFA, där aktivitet skulle kunna spridas via ventilationen. Skadeverkningarna av en jordbävning kan generellt sett bli omfattande och det bedöms att en eventuell aktivitetsfrigörelse i undermarksdelen inte bidrar till något svårare konsekvens för förvarets omgivning än den allmänna skadebilden som man kan förvänta efter en eventuell jordbävning.

## 4.5 Frekvensidentifiering och bestämning av händelseklass

De ovan identifierade händelserna och händelseförloppen analyseras vidare med syftet att kunna frekvensbestämma dessa för klassificering i händelseklasser. Som ovan påpekats kan samma konsekvens, t ex tapp av avfallskolli, bero på orsaker såsom komponentfel eller operatörsfel, med olika sannolikheter för att inträffa.

Som hjälp för att bestämma frekvenserna används de tidigare analyserna samt jämförelser mot liknande förhållanden. Det senare avser främst brandöverföringar från brinnande fordon till avfall. Det bör också påpekas att under de snart trettio år som anläggningen varit i drift har inga liknande händelser eller förlopp som här analyserats förekommit.

Brandskyddslaget har på uppdrag av SKB granskat de tidigare utförda brandanalyserna [Nyman och Wahlqvist, 2013]. Deras slutsats är att fallen är relevanta och ur kärnteknisk säkerhets synpunkt konservativt behandlade.

I nedanstående avsnitt diskuteras respektive undergrupp och i bilaga 2 sammanställs detta i tabellformat.

### 4.5.1 Processhändelser – Brand

Som tidigare identifierats är det endast BLA-avfallet, som via pyrolys kan brinna i containern och därför under släckningsarbetet orsaka utsläpp av aktivitet. Via ventilationen frigörs aktiviteten och når omgivningen. I den initiala analysen av en pyrolysisbrand ansattes en frekvens för dess uppträdande till att understiga  $10^{-3}$  per år [Bjälvenlid, 1987a]. Ansatt frekvens bedöms konservativ då det även finns krav på lagring av avfallet vid kärnkraftverken innan transport till SFR, vilket ytterligare minskar sannolikheten för spontanbrand. Inga andra scenarion utgående från självantändning har identifierats.

### 4.5.2 Processhändelser – Demolering

#### *Tapp*

De mest kritiska momenten för avfallskollina är i samband med förflyttningen från en plats till en annan, dvs från transportbehållaren till deponering för silo- och BMA-avfall. Lyftdon och operatörer ska därvidlag fungera felfritt. I fall av komponentfel alternativt operatörsmisstag kan olika situationer uppkomma där de allvarligaste innebär att avfallskollin demoleras och aktivitet kan frigöras.

#### *Silo-avfall och BMA-avfall*

Via en portaltralla deponeras silokollina fjärrstyrt till sin förutbestämda plats i silon och traversen i BMA-förvaret gör motsvarande med kollina med BMA-avfall. Att en komponent eller ett operatörsfel skulle orsaka så allvarligt fel att ett avfallskolli därvid skulle demoleras har låg sannolikhet, varför den klassats till händelseklassen H4.

#### *BTF-avfall och BLA-avfall*

Det har bedömts att tapp av BTF- och BLA-avfallskolli har större sannolikhet än tapp av ovan nämnda avfallskolli varför dessa händelser klassas till H3.

### 4.5.3 Processhändelse – händelseförlopp

#### **Kollision**

Slutfasen för händelseförloppen är frigörelse av aktivitet eller för personalen oplanerad kontakt med avfallet eller dess kolli. Brand utgör därvidlag den drivande kraften för spridning.

Brand kan uppkomma i fordon eller lyftanordningar. De förra kan uppstå som en konsekvens av kollision med bergvägg alternativt annat fordon.

Första analysen avseende konsekvenser från händelser och missöden under driften av SFR påvisade att brand i bitumeninjutet avfall orsakade den högsta konsekvensen dvs högsta dosen till mest belastad individ i kritisk grupp [Appelgren och Hellström, 1986]. Fem bitumenfat med medelaktivt avfall antogs antändas efter det att avfallstransportbehållaren påverkats på grund av att terminalfordonet har kolliderat och fattat eld. I de utförda beräkningarna antogs vidare att samtliga fat innehöll maximal mängd aktivitet, baserat på tillåten ytdosrat.

Sannolikheten för ett sådant händelseförlopp är låg och har bedömts till försumbar [Bjälvenlid 1987b], det vill säga händelseklass Restrisk. Terminalfordonet framförs långsamt och skulle en kollision inträffa är det inte sannolikt att avfallstransportbehållaren skadas eller att brand uppstår. Det är att förvänta att terminalfordonet tar upp stöten vid en kollision.

Den låga sannolikheten bekräftas av jämförelse med sannolikhetsberäkningar för transportolyckor i samhället i samband med byggnation av vägar, bostäder och industrier. Avseende fordonsolyckor beräknas dessa schablonmässigt, beroende på omständigheter till 0,26 trafikolyckor per  $10^6$  km körda kilometer. SFR är byggt för att innehålla cirka 200 000 m<sup>3</sup> konditionerat avfall. Varje transport tar i snitt ner 5 m<sup>3</sup> avfall och varje deponering ger en körsträcka av cirka 5 km, varav hälften körs utan last. I beaktande av dessa siffror skulle 0,05 olycksfall inträffa under förvarets drifttid. Sannolikheten för fordonsbrand i samband med krock, enligt statistik från fordonsbränder vid inrapporterade olyckshändelser har beräknats till 0,4 % [Midholm, 2009].

Således har vi fått sannolikheten  $2 \cdot 10^{-4}$  för att det under SFR:s drifttid sker en olycka och brand bryter ut i ett fordon. En fordonsbrand medför inte automatiskt att branden överförs till lasten. Sannolikheten för påverkan på farligt gods vid fordonsbrand har beräknats utgående från dess egenskaper och lastbilarnas utrustning [Midholm, 2009]. För explosivt gods anses 10 % vara ett försiktigt valt värde. Om således hänsyn tas till denna minskar sannolikheten till  $2 \cdot 10^{-5}$  för att händelseförloppet kollision ledande till fordonsbrand som överförs till brand på det transporterade avfallet skall uppkomma.

Dessa ovan valda värden representerar normalt förekommande trafikförhållanden, varför olyckstillbudet torde ha en lägre sannolikhet för att uppkomma i SFR där transporter sker inom slutna områden med för uppgiften utbildad personal, som även drog- och alkoholkontrolleras.

Om olyckor och incidenter för transportverksamheten i SFR beräknas med de sannolikhetsberäkningar som används i samhällsplaneringen blir det mycket låga sannolikheter. Händelseförloppet representerar därför Restrisk och konsekvensen har beräknats och visas nedan.

### **Traversbrand**

Brand i travers som sprids ner till avfallet har studerats genom antagandet att brinnande smörjolja droppat ner på underliggande avfallskolli i BMA och antänt detta [Bjälvenlid 1987b]. Brandbekämpningssystemet leder till en begränsad brand, varför utsläppen av aktivitet till omgivningen blir låga. I konsekvensberäkningarna av denna händelse erhöles doser i storleksordningen  $10^{-4}$  mSv [Appelgren och Hellström, 1986]. Bedömningen i denna analys är att även om inte brandbekämpning eller andra aktiva åtgärder vidtas är sannolikheten för händelsen så pass låg att den anses tillhöra Restrisk. Traversbrand vid silon har lika låg eller ännu lägre sannolikhet än för traversbrand i BMA.

Slutsatsen är att sannolikheten för brand i travers som sprider sig ned till de underliggande avfallskollina är låg och har bedömts tillhöra händelseklassen Restrisker.

### **4.5.4 Rumshändelser**

Rumshändelser innefattar till exempel bergras eller fel i servicesystem. Sådana händelser har inte ansetts leda till några utsläpp eller ökad dos till personal, varför de inte behandlas vidare.



#### 4.5.5 Externa händelser

##### Tromber

Tromber är ett relativt sällsynt väderfenomen i Sverige, men kan bli allt vanligare i takt med den globala uppvärmningen. Tromber bildas oftast i samband med intensiva åskväder. Det bildas åtminstone något tiotal i Sverige årligen men det exakta antalet är osäkert. Detta eftersom tromberna är små och ofta kortvariga, och då Sverige på många håll är glest befolkat och skogsklätt upptäcks långt ifrån alla. Tromberna som uppstår över vatten bryts ofta ner snabbt när de drar in över land där friktionen mot marken tömmer tromben på energi. Styrkan på tromberna i Sverige är oftast begränsad men det har rapporterats om tromber som givit stor lokal förödelse där de dragit fram. Sannolikheten för att bilda en tromb är låg ( $<10^{-5}$  för små lokala) och för de med energier som skulle påverka avfallskollin är sannolikheten ännu lägre.

##### Flygplansstörtning

Antalet flygplanskrascher är lågt i Sverige och sannolikheten för en flygkrasch vid ovanjordsdelen av SFR samtidigt som avfall befinner sig där är extremt låg.

##### Jordbävning

SFR är beläget i den svenska berggrunden, vilken är av gammalt ursprung med generellt låg sannolikhet för jordskalv med magnituder, vilka skulle kunna påverka förvaret. Förvarsutrymmena vid SFR har lokaliserats till en bergmassa som begränsas av omgivande svaghetszoner. Eventuella rörelser på grund av jordskalv koncentreras till dessa zoner. Sannolikheten för jordskalv har studerats i området i beaktande av de kärntekniska anläggningarna och intensifierats under de platsundersökningar som utförts för det planerade slutförvaret av använt kärnbränsle [Bödvarsson *et al*, 2006]. Alla studier och slutsatser tyder på en mycket låg sannolikhet för en så allvarlig jordbävning att förvardsdelen skulle påverkas under driftskedet. Beräkningar har visat en sannolikhet av  $10^{-5}$  per år för skalv med markacceleration av 0,13 g i Forsmarksområdet, detta motsvarar skalv av magnitud 6 och däröver. Jordskalvsstatistiken påvisar inga skalv över 0,0006 g i området. Dessutom påverkas underjordsanläggningar mindre av jordskalv än ovanjordsanläggningar.

##### Hög havsvattennivå

Infarten till underjordsdelen av SFR är omgiven av vallar för att förhindra att vatten vid höga vattenstånd kan tränga in i förvaret, med ett högsta krön av 3,5 m ö h. Vattenstånden vid Forsmark har tidigare bedömts med hjälp av uppmätta vattenstånd vid Björns fyr. Under en 80-årsperiod (1895-1975) erhöles högsta vattenstånd i Forsmark ca 170 cm över normalt medelvattenstånd samt lägsta vattenstånd ca 110 cm under normalt medelvattenstånd. Utgående från statistiken beräknades extrema hög- respektive lågvattenstånd i Forsmark till 3,1 m över och 1,5 à 2 meter under normalt medelvattenstånd [Näslund, 2013]. SKB mäter havsvattenståndet i Forsmarks hamn sedan maj 2003. Det lägsta vattenstånd som uppmätts är -0,66 m och det högsta +0,94 m.

Sannolikheten för att havsvatten ska strömma in i förvaret under den återstående driftstiden får därmed anses låg. För att ytterligare verifiera att vallen är tillräckligt hög för att motstå extrema vattenstånd vid stormtillfällen har en studie om förhöjda havsvattennivåer i Forsmark utförts [Näslund, 2013]. Denna studie visar att vid samverkan av för vattenståndet flera ogynnsamma processer kan år 2100 ett högsta vattenstånd av 3,3 m uppträda (enl. höjdsystem RHB70), dvs. den nu planerade nivån skulle vara tillräcklig och sannolikheten för översvämning p.g.a. högt vattenstånd är mycket låg.

Baserat på den inventering och genomgång av externa händelser vilka skulle kunna inträffa på/vid anläggningen SFR har ingen av de enskilda externa processerna analyserats vidare explicit utan de kan anses ingå i händelseklassen Restrisker [Möller, 2013].

## 5 Analys av händelser

Baserat på den metodiska genomgången av samtliga händelser har paraplyfall för typhändelser inom händelseklasserna H2-H4 identifierats. Dessa beskrivs kortfattat nedan och deras konsekvenser redovisas. I de flesta fall finns dokumenterade analyser från vilka förutsättningar och resultat har hämtats och återgivits. I några fall har det funnits behov av kompletterande analyser eller diskussion avseende resultat.

På motsvarande sätt diskuteras restriskshändelser och ett kvantifierat fall lyfts fram.

Avseende säkerheten för allmänheten har som tidigare beskrivits spridningsberäkningar utförts och totala dosen till den mest belastade individen beräknats. Intern exponering via inhalation och extern exponering från moln samt från aktivitet som deponerat på mark har beaktats. Den senare har beräknats utgående från en månads vistelse på den aktuella platsen.

### 5.1 Identifiering av paraplyfall inom H2

Händelser som med stor sannolikhet uppträder någon gång under SFR:s drifttid ingår i H2. I den genomgång av händelser som redovisas i Bilaga 1 har problem med lyftdon ansetts kunna inträffa någon gång under anläggningens drifttid. Detta kan bero på fel i komponenter alternativt brott i elkrafttillförseln, dvs händelser relaterade till processen.

Vid elkraftavbrott avstannar traverserna i silo och BMA, varvid avfallet blir hängande tills elkrafttillförseln återkommit. En sådan händelse orsakar inte några utsläpp av aktivitet men situationer kan uppkomma där exponering av personal inte kan uteslutas. Några akuta insatser är dock inte förväntade utan tid finns för att planera åtgärderna, speciellt av betydelse för silo och BMA-avfallskollina då de har de för förvaret högsta aktivitetskoncentrationerna.

Om trucken stoppar vid inplacering av betongtankar i BTF-bergsalarna alternativt BLA kan den behöva bogseras ut. Händelsen orsakar dock primärt inga akutdoser utan arbetet med att åtgärda den havererade trucken kan planeras. BTF-avfallet har begränsade ytdoser (upp till 10mSv/h). En utredning av de externa doserna för förhållandena för inplacering av betongtankar styrker att doser på cirka 2 meters avstånd är relativt begränsade [Buhr och Andgren, 2013].

I händelseklass H2 har inga händelser som kan leda till omgivningskonsekvens identifierats. Endast förhöjd exponering av personal kan inträffa, dock utan att överskrida acceptanskriterierna för dos till personal.

### 5.2 Identifiering av paraplyfall inom H3

Inom händelseklass H3 har endast tapp av avfallskolli för BLA eller BTF identifierats, varav den senare på grund av sitt högre aktivitetsinnehåll och typ av avfall valdes ut för vidare behandling, motsvarande paraplyfall för händelseklass H3.

#### 5.2.1 Tapp av betongtank

Som konsekvens av komponentfel eller operatörsmisslag har ett avfallskolli antagits tappas vid inplacering i BTF så att delar av tanken demoleras och aktivitet kontaminerar golvet. Via damning och resuspension (partiklar virvlar upp från ett medium och blandas med annat medium) kan en smärre andel aktivitet bli luftburen. Kontamineringen åtgärdas genom planerade insatser medan den luftburna aktiviteten kan nå omgivningen via ventilationen. Någon explicit beräkning av konsekvenser från luftburen aktivitet för ett sådant scenario har inte gjorts, ej heller har något brandscenario behandlats för BTF, då avfallsmaterialet är inneslutet i betongtankar och brandbelastningen i bergrummet är begränsad. Därför bedöms konsekvensen försiktigtvis via jämförelser av källtermer från beräkningar av dos från utsläpp av aktivitet vid brand av silo-avfall. Koncentrationen av aktivitet i BTF-kollin är

begränsad, cirka en faktor 0,001 av silo-avfall. Även scenariot med utsläpp av aktivitet på grund av skadad tank innehållande härdgaller har använts i jämförelsen via en enkel skalning mot aktivitetsmängder [Hallberg och Huutoniemi, 2012]. Dessa bedömningar då kvoter mellan koncentrationen av aktivitet i de olika avfallskategorierna beaktas gav dosuppskattningar från  $2 \cdot 10^{-5}$  upp till  $7 \cdot 10^{-4}$  mSv.

### 5.3 Identifiering av paraplyfall inom H4

Genomgången av händelserna i avsnitt 4 identifierar tre händelser inom händelseklassen H4 som skall analyseras utifrån konsekvens. Dessa är:

- Brand i BLA-container
- Tapp av kokill i BMA eller silo
- Tapp av ståltank med härdkomponenter

#### 5.3.1 Brand i BLA-container

Brand som enstaka företeelse som orsakar utsläpp av aktivitet kan endast förekomma i BLA-avfall då detta är det enda avfall som innehåller tillräcklig mängd organiskt material för en sådan företeelse. I scenariot antas att brand uppkommer i den slutna containern och vid släckningsarbetet frigörs aktivitet då containrarna öppnas. Konsekvenser av detta har beräknats av Appelgren och Hellström [Appelgren och Hellström, 1986]. Förutsättningen var att cirka 50 kg avfall kan hinna förgasas under tre timmar innan släckningsarbetet påbörjas. Detta orsakar ett utsläpp av 18 % av aktiviteten i de 50 kg avfall som förbränts. Beräknad viktad helkroppsdos till mest belastad individ i kritisk grupp blir  $1,5 \cdot 10^{-5}$  mSv.

#### 5.3.2 Tapp av kokill

Tapp av kokill i silo orsakar, p.g.a. den högre aktiviteten i silokollin, högre utsläpp och doser än tapp av BMA-avfallskollin, varför siloavfallet valdes som paraplyfall. Några explicita beräkningar för detta finns inte men för dos till mest belastad individ i kritisk grupp kan de jämföras med utsläpp och dos från brand i siloavfall. Doser har beräknats för utsläpp av aktivitet motsvarande den i 0,42 kg avfall. Detta gav en viktad helkroppsdos av  $7 \cdot 10^{-4}$  mSv till en person som vistas i plymens centrallinje under en månads tid [Appelgren och Hellström, 1986].

#### 5.3.3 Tapp av ståltank med härdkomponenter

Mellanlagring av härdkomponenter sker i ståltankar. Vid inplacering i bergrummet, 1 BRT, tappas tanken och demoleras så att aktivitet kan nå omgivningen via ventilationen. All löst bunden aktivitet samt den i gasform antas släppas ut utan någon reduktion. Ett härdgaller från OKG valdes som ursprungsinventarium då detta har en hög aktivitetsnivå,  $5 \cdot 10^{16}$  Bq totalt, varav inducerad aktivitet dominerar. I tanken förekommer luftburen aktivitet som frigjorts under transporten samt aktivitet i oxider på ytan som antas resuspendera [Hallberg och Huutoniemi, 2012].

Resultande viktad helkroppsdos har beräknats till 0,03 mSv och baseras på att en individ under en månads tid befinner sig cirka 1 km från utsläppet i plymens centrallinje.

#### 5.3.4 Resultande paraplyfall för H4

Analyserna av de tre fallen visar som förväntat att tapp av ståltanken med åtföljande utsläpp av aktivitet orsakar den högsta konsekvensen och har således valts att representera händelseklass H4.

## 5.4 Hantering av händelser inom Restrisk

I analysen och processen att kategorisera händelser har flera händelser identifierats med så låg sannolikhet att inträffa att de tillhör händelseklassen Restrisk, se bilaga 1. Samtliga händelser tillhörande kategorin externa händelser och händelseförlopp tillhör händelseklassen restrisk.

Typhändelse för externa händelser representeras av tromb i samband med att avfallskollin är uppställda ovan jord. Konsekvensen av denna händelse anses vara lägre än konsekvensen för identifierad typhändelse för ”Händelseförlopp”.

Händelseförloppet ”*Kollision i kombination med brand i bitumeningjutet avfall*” har valts att kvantifiera konsekvenser för händelser inom händelseklassen restrisk, dvs de icke konstruktionsstyrande händelserna.

Händelseförloppet har valts utgående från sin, jämfört med andra händelseförlopp, relativt högt bedömda konsekvens.

Terminalfordonet innehållande bitumeningjutet siloavfall kolliderar. Kollisionen leder till skador på avfallstransportbehållaren samt att fordonet antänds och branden sprids till avfallet. Detta avfall består av fem fat med bitumeningjutet medelaktivt avfall för slutdeponering i silo. Varje fat har ett aktivitetsinnehåll som ger maximal tillåten ytdosrat dvs 500 mSv/timme. Detta innebär att  $2 \cdot 10^{11}$  Bq släpps ut under händelseförloppet [Appelgren och Hellström, 1986].

I den första konsekvensanalysen [Appelgren och Hellström, 1986] beräknades viktad helkroppsdos till 0,2 mSv till en person i plymens centrinje på ett avstånd på 0,5 km och som förblir där under en månads tid, dvs utsätts för extern exponering under 1 månads tid. I den uppdatering av detta fall som utfördes för att bestämma dimensionerande fall för beredskapen beräknades dosen om med den metod som enligt SSM ska användas för olycksutsläpp från Forsmarks kärnkraftverk. Detta innebar att blandningshöjden ska sättas till 25 meter samt vindhastigheten till 2 m/s, dvs ur spridningssynpunkt ogynnsamma förhållanden [Hallberg och Huuoniemi, 2012]. En övrig förändring mot de tidigare beräkningarna är en lägre depositionsastighet. Detta gav en viktad helkroppsdos av 0,05 mSv, dvs en faktor 4 lägre, främst beroende på den lägre depositionsastigheten, då den externa exponeringen ger dominant bidrag till totaldosen.

Detta händelseförlopp ledande till brand av bitumeningjutet avfall har satts som övre dimensionerande fall för händelseklass Restrisk då det ger den högsta konsekvensen. Detta är logiskt då det berör siloavfall, som har den för förvaret högsta aktivitetsnivån och konsekvensanalysen är baserad på såväl försiktiga antaganden som försiktiga val av parametervärden. Även aktivitetsinnehållet i siloavfallet är maximerat då det är beräknat utgående från att vart och ett av de fem bitumeningjutna faten som anses brinna har den för siloavfallskollin maximalt tillåtna ytdosraten 500 mSv/h. Ej heller antas någon reduktion av aktivitetsinnehållet ske utan all aktivitet sprids, utan lokal fasthållning.

## 5.5 Osäkerheter

De bedömda händelsernas konsekvenser för mest belastad individ i kritisk grupp har beräknats med spridningsmodeller. Antaganden om exponering har valts för att inte underskatta dosen till den högst exponerade individen. Denna befinner sig i plymens centrallinje då utsläppet pågår och förblir där i en månad. Exponering sker via inhalation och strålning från molnet och mark. Den senare dominerar exponeringen [Hallberg och Huutoniemi, 2012].

Alla modeller är en förenkling av en komplicerad serie av processer och deras resultat är därför behäftade med osäkerheter av olika ursprung. Framst kan osäkerheterna bero på

- Konceptuella modeller
- Osäkerheter i den matematiska behandlingen
- Parametervärden

I denna analys har konsekvenser för paraplyfallen beräknats med den av SSM framtagna spridnings- och dosmodellen ”Lena” vilket säkerställer att beräkningarna utförts med av myndigheten accepterad modell. Osäkerheter i den matematiska behandlingen kan därför inte heller anses ge något dominant bidrag till osäkerheten.

För att dock ta osäkerheter i beaktande i de deterministiskt utförda beräkningarna har dosberäkningarna utförts med försiktiga antaganden och val av parametervärden för att inte underskatta de beräknade doserna. Sammanfattningsvis har:

- Alla beräkningar utförts med maximala källtermer
- Värden på spridningsparametrar valts försiktigt
- Maximala exponeringstider använts i dosberäkningarna

## 6 Resultatsammanställning

I tabell 6-1 redovisas dos till mest belastad individ i kritisk grupp för paraplyhändelserna och utvärderas mot respektive acceptanskriterium. Doser från alla paraplyhändelser uppfyller med god marginal acceptanskriterierna. Analysen visar också att resultaten inte är känsliga för klassningen av händelsen till händelseklass, då ingen konsekvens har beräknats som inte uppfyller det lägsta acceptanskriteriet.

Resultaten är förväntade i beaktande av anläggningens låga källtermer samt avsaknad av drivkrafter för utsläpp. Brand är den enda drivande kraften genom vilken aktivitet kan effektivt spridas till omgivningen. Samtidigt är andelen brännbart material i förvaret begränsat, vilket bidrar till låg sannolikhet för att bränder som kan påverka den kärntekniska säkerheten inträffar. Via ventilationen kan smärre mängder aktivitet i aerosoler nå omgivningen, men brand är den enda aktiva termodynamiska process som kraftigt kan öka utsläppet av aktivitet genom ventilationssystemet.

Tabell 6-1. Paraplyfall per händelseklass, beräknade doser samt kvoter av dessa mot acceptanskriterier.

Händelseklass (acceptanskrit.)	Beskrivning	Frekvens (största värdet i H-klassen)	Dos till mest belastad individ i kritisk grupp <sup>3</sup> (mSv)	Kvot (dos/acceptanskriteriet)	Kommentar
H2 (0,1 mSv)					Endast dos till personal
H3 (1 mSv)	Tapp av betongtank	$1 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-4}^{(*)}$ $2 \cdot 10^{-5}^{(*)}$	$7 \cdot 10^{-4}$ $2 \cdot 10^{-5}$	<sup>(*)</sup> Konsekvensuppskattning baserad på beräkningsfall för andra händelser. Två separata händelser har nyttjats.
H4 (20 mSv)	Tapp av ståltank (BFA)	$1 \cdot 10^{-4}$	0,03	$2 \cdot 10^{-3}$	
Restrisk	Kollision med åtföljande brand av bitumeningjutet avfall	$1 \cdot 10^{-6}$	0,05		

<sup>3</sup> Beräkning av effektiv dos har varierat historiskt och i tabeller återges de resultat som ursprunglig referens angivit. Variationen anses ej påverka tabellens syfte att visa på anläggningens robusthet.

## 7 Slutsats

En systematisk genomgång av händelser och händelseförlopp som kan inverka på den kärntekniska säkerheten vid driften av det planerade utökade SFR-förvaret har utförts.

En sammanställningslista som dokumentation av samtliga händelser och händelseförlopp har skapats med syfte att fungera som en bas för framtida kompletteringar och skapa spårbarhet till tidigare genomförda analyser.

Typhändelser har identifierats och sannolikheten har bedömts för att händelseklassa dessa.

Begränsande kriterier har varit utsläpp till omgivningen och dos till mest belastad individ.

Dosberäkningar för de dimensionerande fallen har utförts i enlighet med myndigheternas anvisningar för utsläpp från Forsmarks kärnkraftverk och med gängse spridningsmetodik för utsläpp av aktivitet till luften.

Försiktiga antaganden och val av parametervärden användes i beräkningarna.

Diskussion av sannolikheter för händelserna/händelseförloppens inträffande har ersatt probabilistiska beräkningar.

Paraplyfall har valts utgående från att de representerar de fall inom varje respektive händelseklass som orsakar högst beräknad dos till mest belastad individ i kritisk grupp.

Beräknade konsekvenser för paraplyfallen har jämförts mot acceptanskriterier. Resultaten visar att konsekvenser från händelser och händelseförlopp i samtliga händelseklasser väl uppfyller acceptanskriterier.

SFR är en robust anläggning som uppfyller myndighetens krav på den kärntekniska säkerheten. Inga händelser eller händelseförlopp som orsakar något signifikant bidrag för exponering till allmänheten har identifierats. Analyserna har baserats på konservativa antaganden, utifrån konsekvens till mest belastad individ i kritisk grupp.

## 8 Referenser

**Appelgren E och Hellström P, 1986.** ”SFR 1 – Forsmark - Omgivningskonsekvenser av missöden”, Rapport KS-60/86, Vattenfall, 1986-05-22, Arbetsrapport SFR 87-14. SKBdoc 1271418 v1.0

**Backström J, 2010** PSU- Identifiering av inledande händelser SKBdoc 1252330 v2.0

**Bjälvenlid N, 1987a.** ”SFR 1 – Forsmark – Brandanalys för bergssal BLA. Överslagberäkningar för tänkbara brandsituationer Vattenfall BVN-PM-57/85, SKBdoc 1271422 v1.0

**Bjälvenlid N, 1987b.** ”SFR 1 – Forsmark – Brandanalys för bergsal BMA, BVN-PM-63/85, Vattenfall, 1987-05-11. SKBdoc 1271423 v1.0

**Buhr A och Andgren K, 2013.** Dosprognos vid drift av utbyggt SFR, Vattenfall, Report number AE-NN 12-117, SKBdoc 1386216 v1.0

**Bödvarsson R, Lund B, Roberts R and Slunga R, 2006.** Earthquake activity in Sweden, SKB Rapport R-06-67

**Hallberg B och Huutoniemi T, 2012** Individuella i omgivningen – dimensionerande fall för beredskapen efter utbyggd SFR. SKBdoc 1273308, v2.0

**Hallman A, Nyman R, och Knochenhauer M, 2004.** Tillsynshandbok PSA, SKI Rapport 2003:48

**Karnik P, 2011** SFR - Jämförelse mot IAEA:s Safety Standard SKBdoc 1231771, v.2.0

**Knochenhauer M, Louko P, 2003** Guidance for External Events Analysis. SKI Report 02:27

**Midholm E, 2009** Detaljerad riskanalys Infracity Öst, Upplands Väsby SKBdoc 1399668 , v1.0

**Möller E, 2013** SFR – Externa händelser SKBdoc 1405658 v1.0

**Nygren M, 2012** Protokoll från workshop inledande händelser SFR utbyggnad. SKBdoc 1367224 v1.0

**Nyman H och Wahlqvist P, 2013** Granskning av brandanalyser för SFR SKBdoc 1377909

**Näslund, JO, 2013** Climate and climate-related issues for the safety assessment SR-PSU. SKB TR-13-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SSM 2008a** Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om konstruktion och utförande av kärnkraftreaktorer SSMFS 2008:17

**SSM 2008b** Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om grundläggande bestämmelser för skydd av arbetstagare och allmänhet vid verksamhet med joniserande strålning; SSMFS 2008:51

**SSM 2012.** Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om säkerhet i kärntekniska anläggningar. Strålsäkerhetsmyndighetens allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna (SSMFS 2008:1), SSMFS 2008:1 Konsoliderad version med ändringar t o m 2011:3

**SSM 2013.** Inriktning avseende referensvärden för nya kärntekniska anläggningar och ESS. SSM2013.5169-2.



## Bilaga 1 – Händelseinventering SFR

SKBdoc: 1385286 version1.0

## Bilaga 2 – Identifiering av paraplyhändelser.

H	H - kat	Undergrupp	Typhändelser	Värdering	Paraplyfall	Avsnitt	
Samtliga identifierade händelser vid inventering, se Bilaga 1.	Processhändelser	Brand – transport	Truck ovan el under jord	IAF*			
			Terminalf. ovan el under jord				
		Brand – självantändning i avfallsmatris	BLAcontainer, ovan jord	Typhändelserna representeras av: <b>Brand i BLA (H4)</b>			
			BLAcontainer, drift tunnel				
			BLAcontainer, förvarssal				
		Brand – komponent	Travers BMA	IAF*			
			Portaltralla				
		Demolering – fordon	Kollision under transport på land el. i tunnel.	IAF*			
		Demolering – genomslag (tapp)	Tapp i BTF	Representeras av: Tapp av betongtank(H3)	<b>H3:</b> Tapp av betongtank	5.2.1 (löpnr 113, bilaga 1)	
			Tapp container (BLA)	Representeras av: Tapp av betongtank (H3)			
			Tapp av kokill i silo el BMA	Representeras av: Tapp av kokill (H4)			
			Tapp BFA tank (hårdkomp.)	Representeras av: Tapp av BFA tank(hårdkomp.) (H4)	<b>H4:</b> Tapp BFA tank (hårdkomp.)	5.3.3 (löpnr 58, bilaga 1)	
	Händelse-förlopp	Kollision, leder till brand	Representeras av: Kollision kombinerat med brand (Restrisk)	<b>Restrisk:</b> Kollision kombinerat med brand	5.4 (löpnr 12, bilaga 1)		
		Traversbrand, överförs till avfallskolli					
	Rumshändelser	Demolering	Bergas, utfall på avfallkolli.	IAF*			
		Komponent	Elkraftbortfall	IAF*			
			Länshållnings-bortfall				
	Datafel						
Externa händelser	Natur- och väderfenomen	Jordskalv	Representeras av: Tromb (Restrisk)				
		Extrema vattenflöden					
		Extrema väderförhållande					
	Övrig påverkan	Extern initierad demolering	Behandlas ej i säkerhetsanalys				
Antagonistiska händelser							

\* IAF = ingen aktivitetsfrigörelse