

Information om konstruktionsstyrande fall för utbyggnad av SFR

Innehåll

1	Inledning	2
1.1	Bakgrund	2
1.2	Översikt	2
1.3	Iterativ process för utformning av SFR.....	3
2	Fastställande av referensutformning SR-PSU	4
3	Konstruktionsstyrande fall i SR-PSU och återkoppling från analysen av säkerhet efter förslutning till teknikutveckling och projektering	6
3.1	Säkerhetsfunktioner.....	6
3.2	Identifiering av konstruktionsstyrande fall utifrån scenarier i analysen av säkerhet efter förslutning..	8
3.2.1	Huvudscenario	8
3.2.2	Mindre sannolika scenarier	9
3.2.3	Restscenarier	10
3.3	Sammanfattning av konstruktionsstyrande fall i SR-PSU.....	11
3.4	Detaljerad återkoppling från säkerhetsanalysen till teknikutvecklingen och projektering.....	13
4	Vidare iterationer mellan teknikutveckling och säkerhetsanalys efter att ansökan SR-PSU lämnades in	15
5	Referenser	15

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har i en skrivelse till Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), SSM2015-725-43, begärt kompletterande information inom området säkerhetsanalysmetodik i samband med SR-PSU. Begäran inkluderade tio frågor varav en av frågorna rör konstruktionsstyrande fall:

”SSM önskar fördjupad information om konstruktionsstyrande fall resulterande från scenarioanalysen i SR-PSU och hur dessa kopplar till kraven som ställs på barriärernas initialtillstånd samt till utvärderingen av säkerhetsfunktionsindikatorerna efter förslutning”

1.2 Översikt

I Allmänna råd till SSMFS 2008:21 står:

”Med utgångspunkt i scenarier som kan visas vara särskilt viktiga från risksynpunkt bör ett antal konstruktionsstyrande fall identifieras. Dessa fall bör tillsammans med annan information, t.ex. om tillverkningsteknik och kontrollerbarhet, användas för att underbygga konstruktionsförutsättningar såsom krav på barriäregenskaper.”

De konstruktionsstyrande fall som identifieras i en säkerhetsanalys kan användas för att identifiera egenskaper och funktioner hos förvaret så att rätt krav kan ställas på barriärer och lokalisering av förvaret. Återkoppling från analyser av säkerheten efter förslutning är en viktig faktor för fortsatt utveckling av förvarsutformningen. I detta sammanhang bör emellertid också noteras att SKB:s konstruktioner bygger på krav och erfarenheter från många håll vilka ställer olika krav på utformningen som alla måste uppfyllas (figur 1-1).

En förutsättning för att kunna utföra en komplett säkerhetsanalys är att en vald och utarbetad anläggningsutformning med ingående barriärer och komponenter finns tillgänglig. Det innebär att utformning av barriärkonstruktioner och förslutning av SFR är sammankopplad med analysen av säkerhet efter förslutning och därmed en del av en iterativ process där utformningen kan förfinas stegvis. För SFR har flera analyser av säkerhet efter förslutning utförts, vilket har bidragit till att utformningen har utvecklats över tiden.

För den planerade utbyggnaden är möjligheten till förändringar av konstruktioner högre än för befintligt SFR, men även för befintlig del kan en säkerhetsanalys ge information som kan påverka utformningen. Det gäller främst förslutningen men även eventuella åtgärder på barriärer innan eller i samband med förslutning.

Vid identifieringen av krav utifrån konstruktionsstyrande fall är det viktigt att ha i åtanke att slutförvar är ett integrerat system där konstruktionsförutsättningarna för en barriär är beroende av konstruktionsförutsättningarna för en annan barriär. Därför måste konstruktionsförutsättningarna fastställas för hela barriärsystemet på ett integrerat sätt och i vissa avseenden även platsspecifikt. Det innebär också att det kan finnas olika kombinationer av barriär- och platsegenskaper som ger förvaret liknande prestanda. Ett krav på en barriär kan således vid behov ändras så länge som andra delar av barriärsystemet justeras så att skyddsförmågan av hela barriärsystemet bibehålls.

Den iterativa process i vilken säkerhetsanalyser bidrar till utvecklingen av utformningen av ett förvar beskrivs i avsnitt 1.3. I kapitel 2 beskrivs hur referensutformningen för SR-PSU grundar sig på tidigare analyser och utredningar. I kapitel 3 beskrivs konstruktionsstyrande fall som identifieras utifrån SR-PSU och återkoppling till teknikutveckling och krav på förvarets utformning. Slutligen beskrivs, kapitel 4, hur arbetet på SKB fortskrider med fortsatta iterationer mellan analyser av säkerhet efter förslutning och teknikutveckling för att ytterligare detaljera utformningen av SFR.

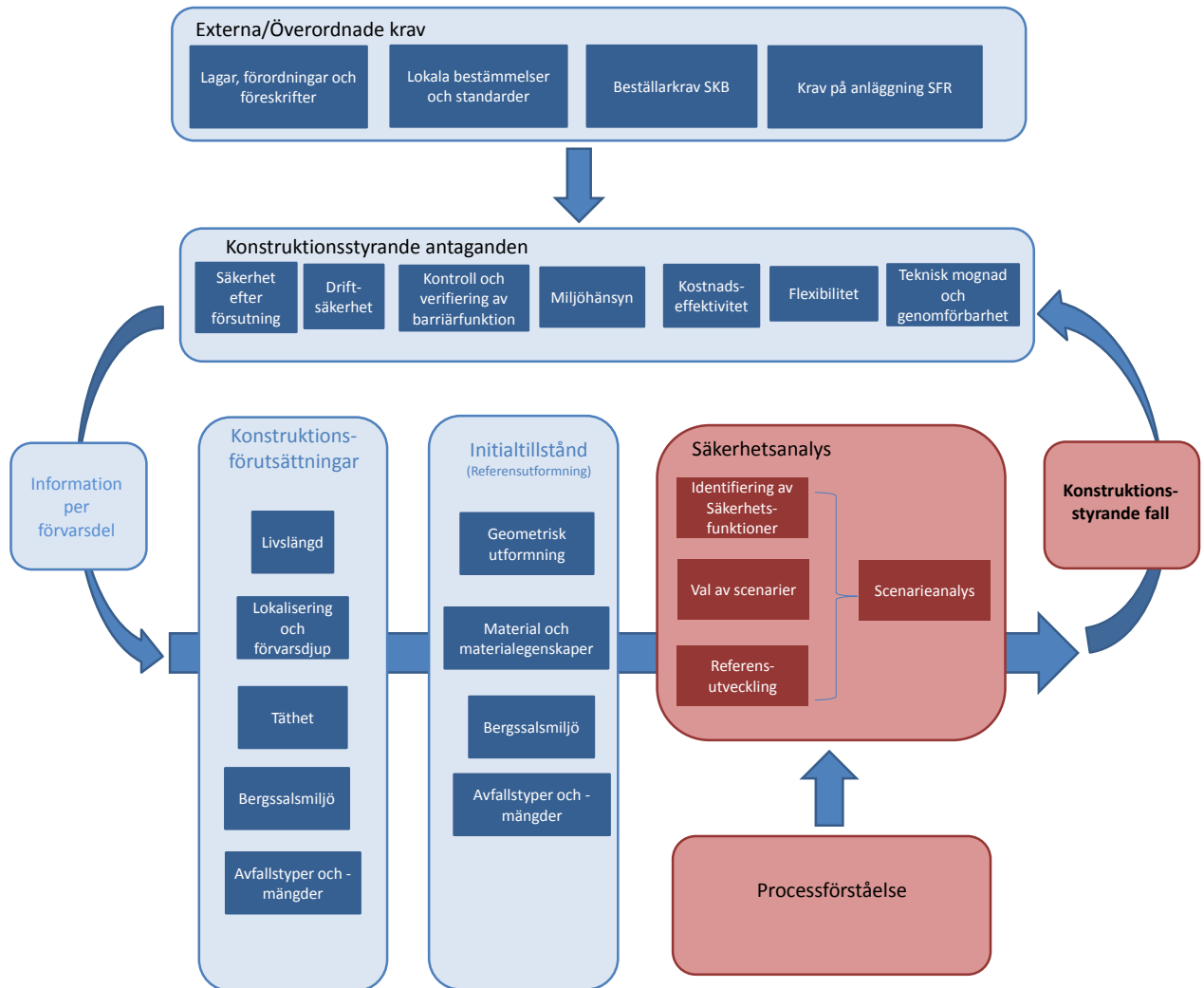
1.3 Iterativ process för utformning av SFR

Som nämnts i inledningen är en förutsättning för att kunna utföra en komplett säkerhetsanalys att en genomarbetad anläggningsutformning som beskriver ingående barriärer och komponenter finns tillgänglig. Först efter en komplett analys kan en styrande kravbild för den aktuella utformningen fastställas med avseende på säkerheten efter förslutning och därefter successivt detaljeras (figur 1-1). I ett initialt skede är det inte möjligt att fastställa en komplett kravbild för utformningen, utan utvecklingen sker i en iterativ process med stegvis detaljering under projektets olika skeden. För SFR har tidigare säkerhetsanalyser av den befintliga anläggningen, bl.a. SAFE (SKB 2001) och SAR-08 (SKB 2008), bidragit till utformningen som ingår i ansökan SR-PSU.

Den iterativa processen innehåller flera steg:

1. Fastställande av en referensutformning, d.v.s. ett barriärsystem med en vald uppsättning egenskaper. Referensutformningen baseras på föregående säkerhetsanalyser och ingående konstruktionsförutsättningar, exempelvis försvardjup. Referensutformningen bygger på säkerhetsprinciper och utgör en av grunderna för att formulera av ett antal säkerhetsfunktioner.
2. Identifiering av de säkerhetsfunktioner som ska vara uppfyllda vid initialtillståndet och så länge det behövs med hänsyn till avfallets farlighet.
3. Beskrivning av utvecklingen av förvaret, dess barriärer och omgivning över tid (referensutveckling). För SFR förväntas säkerhetsfunktionerna påverkas med tiden i takt med att egenskaperna hos barriärerna förändras och en viktig del av analysen av säkerheten efter förslutning är att beskriva hur säkerhetsfunktionerna utvecklas över tiden och hur detta påverkar säkerheten.
4. Identifiering av scenarier baserat på säkerhetsfunktioner och referensutvecklingen där den mest troliga utvecklingen (huvudscenariot) samt mindre sannolika utvecklingar (mindre sannolika scenarier) av förvarssystemet och dess omgivning beskrivs. Ett antal restscenarier identifieras också för att belysa betydelsen av specifika barriärer och händelser.
5. Kvantitativ utvärdering av scenarierna.
6. Utvärdering av resultaten och rekommendationer rörande möjliga förändringar av utformningen. I detta steg kan konstruktionsstyrande fall identifieras och utifrån dessa fall kan nya krav på förvarets utformning ställas. Detta utgör en viktig återkoppling till teknikutvecklingen.
7. Härledning av modifierade krav på utformning och barriäregenskaper baserat på återkopplingen från punkt 6, vilket leder till en utvecklad utformning och stegen 1–6 kan upprepas igen.

För en säkerhetsanalys ansätts en referensutformning som utgångspunkt. Steg 2–6 är den faktiska säkerhetsanalysen medan steg 7 inte formellt är en del av säkerhetsanalysen utan en del av det fortsatta arbetet att utveckla utformningen.



Figur 1-1. Schematisk bild över hur övergripande krav samt krav från olika discipliner inom utredningen av utbyggt SFR styr konstruktionsförutsättningar samt den iterativa process i vilken konstruktionsantagandena kan uppdateras via en analys av säkerheten efter förslutning.

2 Fastställande av referensutformning SR-PSU

Fastställandet av referensutformningen i SR-PSU baserades på tidigare säkerhetsanalyser och ingående konstruktionsförutsättningar, bland annat har SAR-08 använts för att identifiera krav på konstruktionen av utbyggnaden och förslutningen av både befintlig och utbyggt del av SFR.

Resultatet av de analyserade scenarierna i SAR-08 visade på betydelsen av olika säkerhetsfunktioner för SFR. De säkerhetsfunktioner och säkerhetsfunktionsindikatorer som introducerades och utarbetades i SAR-08 avser befintlig anläggning och har gett vägledning i arbetet med utformningen av SFR-utbyggnaden. De har gett kunskaper om vilka egenskaper som är fördelaktiga för olika komponenter i utbyggt del av SFR med avseende på säkerheten efter förslutning. Bland annat visade scenarieanalysen i SAR-08 vikten av sorption i närzonen, begränsat flöde i förvarsutrymmen, begränsad aktivitet och att undvika brunnar i förvaret. Behovet av begränsad aktivitet har lett till krav på avfallet (acceptanskriterier för avfall, WAC). Behovet av god sorption och begränsat flöde i förvarsutrymmen har lett till krav på

Information om konstruktionsstyrande fall för utbyggnad av SFR

materialval i konstruktionerna och placeringen av utbyggd del av SFR. Behovet av lågt flöde genom förvarsutrymmena liksom säkerhetsfunktionen 'inga brunnar' har bidragit till lokalisering under havet och valet av förvarsdjup för utbyggd del av SFR. Initialtillståndet för de olika säkerhetsfunktionsindikatorerna från SAR-08 blev med andra ord konstruktionsstyrande antaganden, som ställer krav på barriärer och avfall, och utgör grund för referensutformningen.

Det finns krav på lokaliseringen av ett slutförvar som kan härledas ur lagkrav enligt kärntekniklagen, strålskyddslagen och miljöbalken. Dessa krav innebär sammanfattningsvis att platsen ska vara lämplig med hänsyn till ändamålet med verksamheten, att konsekvenserna ska vara rimliga samt att vid en jämförelse av platserna ska den plats väljas som innebär minst intrång och störning. Lokaliseringsfaktorer som bedömts av SKB för utbyggd del av SFR inkluderar utöver säkerhet efter förslutning även teknik för genomförande, miljö och hälsa samt samhällsaspekter (SKB 2013). För säkerheten efter förslutning ställdes krav på en plats med låga vattenflöden och det noterades att en placering under havet är fördelaktig på grund av låga flöden, mindre risk för permafrost och liten risk för brunnsborring.

Referensutformningen tar hänsyn till inbördes placering av bergssalar så att negativ påverkan mellan olika bergssalar undviks. Erfarenhet av olika utredningar har lett till att 2-5BLA placerats nedströms från 2BMA för att minimera transporten av komplexbildare till 2BMA.

Framtagningen av referensutformningen inför ansökan var en iterativ process. Som exempel ingick inte kringgjutning av reaktortankarna i referensutformningen av BRT i ett tidigt skede av SR-PSU. Beräkningar, med ett preliminärt inventarium, visade på behov av fler barriärer, varför beslut om kringgjutning togs. Ett annat exempel på den iterativa processen är valet av förläggningsdjup, där analyser av bergets egenskaper inom ramen för säkerhetsanalysen ledde fram till valet av det större förläggningsdjupet.

Sammanfattningsvis har ingående konstruktionsförutsättningar, tidigare säkerhetsanalyser och teknikutveckling lett fram till en referensutformning. Avfallet har placerats i förvarsutrymmen med olika barriärer anpassade efter avfallets egenskaper.

3 Konstruktionsstyrande fall i SR-PSU och återkoppling från analysen av säkerhet efter förslutning till teknikutveckling och projektering

SFR1 är ett befintligt förvar men säkerhetsanalysen kan ändå användas för att identifiera konstruktionsstyrande fall. Dels kan informationen användas till att identifiera krav på förbättrande åtgärder eller krav på förslutningen, dels ger säkerhetsanalysen konstruktionsförutsättningar för den planerade utbyggnaden.

I analyser av säkerheten efter förslutning beräknas dos från olika scenarier: huvudscenario, mindre sannolika scenarier och restsценarier. I de två senaste säkerhetsanalyserna för SFR, SAR-08 och SR-PSU, har säkerhetsfunktioner använts för att identifiera mindre sannolika scenarier. Säkerhetsfunktioner används för att beskriva viktiga aspekter av förvarets skyddsförmåga och kan om ett scenario identifieras som konstruktionsstyrande användas för att definiera krav på konstruktionen.

De flesta av scenarierna från SR-PSU relaterar till analys av förvarets funktion och ger således en grund för att identifiera konstruktionsförutsättningar. I avsnitt 3.1 beskrivs säkerhetsfunktionerna i SR-PSU och deras utveckling över analysperioden. I avsnitt 3.2 identifieras konstruktionsstyrande fall utifrån scenarierna i SR-PSU och en sammanfattning av de konstruktionsstyrande fallen ges i avsnitt 3.3. I avsnitt 3.4 ges exempel på detaljerade krav på konstruktionen som ställs utifrån analysen av säkerheten efter förslutning och de säkerhetsfunktioner och säkerhetsfunktionsindikatorer som använts i analysen.

3.1 Säkerhetsfunktioner

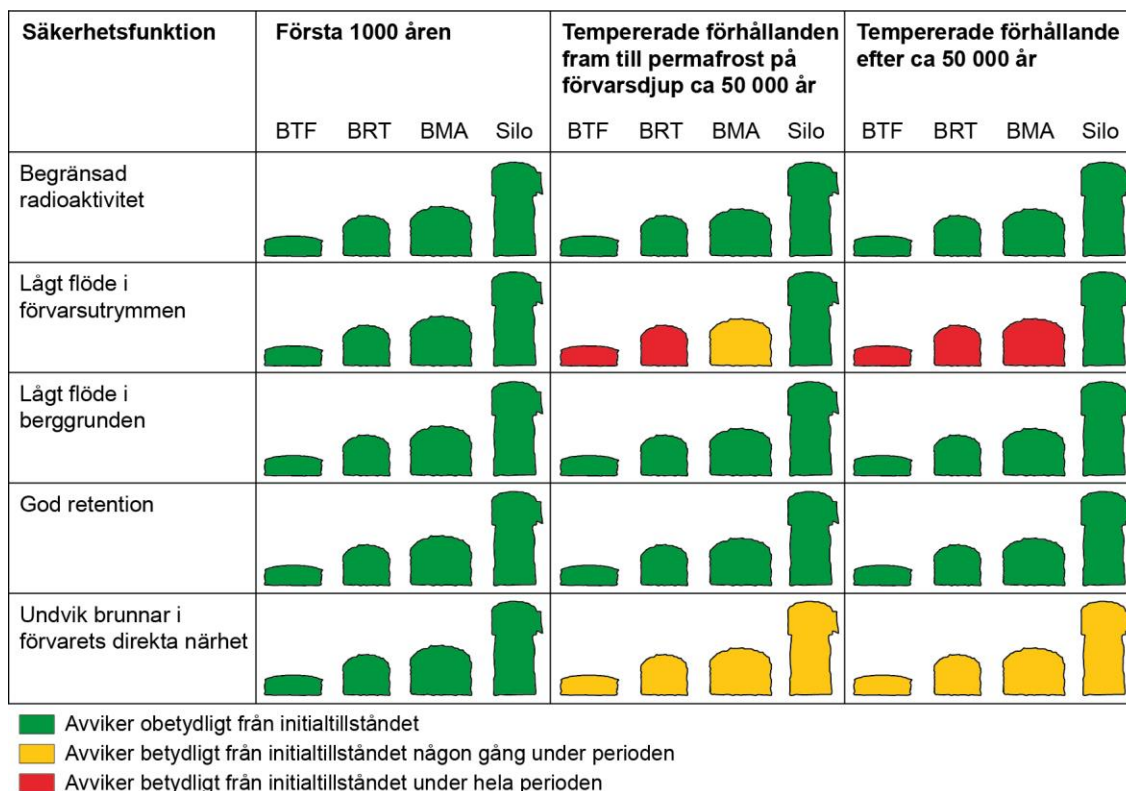
I SR-PSU identifierades fem säkerhetsfunktioner med tillhörande säkerhetsfunktionsindikatorer: 1) begränsad radioaktivitet, 2) lågt flöde i förvarsutrymmen, 3) lågt flöde i berggrunden, 4) god retention, och 5) undvik brunnar i förvarets direkta närhet (tabell 3-1). För SFR där barriärernas egenskaper ändras med tiden påverkas säkerhetsfunktionerna under analysperioden. Att en säkerhetsfunktion inte upprätthålls behöver inte betyda att förvaret inte upprätthåller sin skyddande förmåga. Det är dock en signal om att konsekvenserna av att funktionen ifråga faller bort behöver analyseras vidare. För ett förvar med säkerhetsprincipen *fördröjning av uttransport av radionuklider* är det viktigt att mängden långlivade radionuklider begränsas. Samt att barriärernas skyddande förmåga upprätthålls under tillräckligt lång tid så att radioaktiviteten i avfallet hinner avklinga till låga nivåer innan barriärernas skyddande förmåga inte kan upprätthållas. Utvecklingen av säkerhetsfunktionerna över tid baserades på referensutvecklingen och summeras i figur 3-1.

Information om konstruktionsstyrande fall för utbyggnad av SFR

Tabell 3-1 Säkerhetsfunktioner och säkerhetsfunktionsindikatorer som definierats för SR-PSU (Redovisning av säkerhet efter förslutning för SFR). Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU, tabell 5-3).

Säkerhetsfunktion	Säkerhetsfunktionsindikator	Komponent
Säkerhetsprincip: Begränsad mängd långlivade radionuklider		
Begränsad radioaktivitet	Aktiviteten av varje radionuklid i de olika förvarsutrymmena	Avfall i 1BMA, 2BMA, 1BTF, 2BTF, silo, 1BLA, 2-5BLA och BRT.
Säkerhetsprincip: Fördröjning av uttransport av radionuklider		
Lågt flöde i förvarsutrymmen	Hydraulisk kontrast	1-2BMA, 1-2BTF
	Hydraulisk konduktivitet	Bentonit i silo och pluggar
	Gastryck	Silo
Lågt flöde i berggrunden	Hydraulisk gradient	Geosfär
	Hydraulisk konduktivitet	Geosfär
God retention	pH	Cementbaserade material i avfallskollin Betongbarriärer i 1-2BMA, 1-2BTF, silo och BRT
	Redoxpotential	Cementbaserade material i avfallskollin Betongbarriärer i 1-2BMA, 1-2BTF, silo och BRT Geosfär
	Koncentration av komplexbildare	Cementbaserade material i avfallskollin Betongbarriärer i 1-2BMA, 1-2BTF och silo
	Tillgänglig sorptionsyta	Cementbaserade material i avfallskollin Betongbarriärer i 1-2BMA, 1-2BTF, silo och BRT
	Korrosionshastighet	Reaktortankar i BRT
Undvik brunnar i förvarets direkta närhet	Intrångsbrunnar	Ytekosystemet
	Brunnar nedströms förvaret	Ytekosystemet

Information om konstruktionsstyrande fall för utbyggnad av SFR



Figur 3-1. Bedömning av hur säkerhetsfunktionerna upprätthålls över tid baserat på referensutvecklingen i SR-PSU.

3.2 Identifiering av konstruktionsstyrande fall utifrån scenarier i analysen av säkerhet efter förslutning

I analysen av säkerheten efter förslutning i SR-PSU studerades flera scenarier. Huvudscenariot baseras på initialtillståndet och referensutvecklingen (kapitel 4 och 6 i *Redovisning av säkerhet efter förslutning för SFR*). Osäkerheter i utvecklingen av säkerhetsfunktioner användes för att identifiera mindre sannolika scenarier. Dessutom analyserades ett antal restscenarier för att visa på effekter av specifika barriärer. Huvudscenariot samt de scenarier som gav en stor effekt på dos eller av annan anledning visar på stor betydelse av specifika barriärer räknas som konstruktionsstyrande fall. Nedan ges en kort sammanfattning av respektive scenario och en beskrivning om de räknas som konstruktionsstyrande fall och vilka krav på konstruktionen som kan identifieras utifrån dem. En utförlig beskrivning av scenarierna och doser från tillhörande beräkningsfall ger i kapitel 7 och 9 i *Redovisning av säkerhet efter förslutning för SFR*.

3.2.1 Huvudscenario

Huvudscenariot, varianten med global uppvärmning och varianten med tidigt periglacialt klimat - Huvudscenariot utgår från referensutformningen och kan därmed ses som en utgångspunkt för att utvärdera konstruktionen såsom den är antagen i initialtillståndet och med referensutvecklingen. Detta scenario ger en maxdos på 7,7 μSv vid 6500 e Kr.

I detta scenario analyseras hela systemet integrerat utifrån initialtillståndet, och den förväntade utvecklingen av säkerhetsfunktionerna. Resultatet visar att systemet som helhet uppfyller kraven på säkerheten efter förslutning och scenariot kan därmed räknas som konstruktionsstyrande. För att identifiera krav från scenariot kan man utgå från säkerhetsfunktionerna och valda parametervärden för säkerhetsfunktionsindikatorerna. Alla initiala parametervärden för förvaret inklusive avfallet finns presenterade i initialtillståndsrapporten (SKB 2014, kapitel 12). Om dessa initiala parametervärden uppnås visar säkerhetsanalysen att det utbyggda SFR uppfyller kraven på säkerhet efter förslutning.

Information om konstruktionsstyrande fall för utbyggnad av SFR

Säkerhetsfunktioner och säkerhetsfunktionsindikatorer används därför vidare i teknikutvecklingen när konstruktionen vidareutvecklas.

Referensutformningen kan vidareutvecklas om man tar hänsyn till påverkan på säkerhetsfunktioner men det är också möjligt att initiala parametervärden för säkerhetsfunktionsindikatorerna ändras. Det finns en mängd olika kombinationer av barriär- och platsegenskaper som kan ge förvaret liknande prestanda som det analyserade i huvudscenariot. Ett krav på en barriär kan således vid behov ändras så länge som andra delar av barriärsystemet justeras så att skyddsförmågan av hela barriärsystemet bibehålls. Till exempel skulle man kunna byta från kringgjutning till användandet av mer konstruktionsbetong utan att påverka säkerhetsfunktionerna lågt flöde i förvarsutrymmen och god retention. I detta exempel så ändras de initiala parametervärdena på säkerhetsfunktionsindikatorerna marginellt. Säkerheten efter förslutning kan även uppnås med större förändringar i initiala parametervärden för säkerhetsfunktionsindikatorerna så länge försämring av en barriärfunktion kompenseras av förbättring i en annan barriärfunktion. För utveckling av konstruktionen eftersträvas dock vanligen att parametervärdena som är antagna för säkerhetsfunktionsindikatorerna bibehålls.

Betydelsen av enskilda säkerhetsfunktioner och barriärer belyses i mindre sannolika scenarier och restsценarier.

3.2.2 Mindre sannolika scenarier

Högt inventarium - Scenariot med högt inventarium utvärderas till följd av osäkerheter i inventariet vid förslutning och kopplar till säkerhetsfunktionen begränsad aktivitet. Detta scenario ger en maxdos på 17 μSv vid år 7500 e Kr. Den relativt höga dosen jämfört med huvudscenariot gör att detta räknas som ett konstruktionsstyrande fall och visar på vikten av att begränsa mängden radioaktivitet i förvaret. Därför ställs krav på avfallet som tillåts i SFR genom acceptanskriterier för avfall (WAC).

Högt flöde i berggrunden - I detta scenario antas säkerhetsfunktionen lågt flöde i berggrunden vara försämrade på så sätt att flödet i berggrunden och förvarsdelar antas vara högre än i huvudscenariot. Detta scenario analyseras för att spegla osäkerheter i den hydrogeologiska flödesmodellen. Scenariot ger en maxdos på 9,7 μSv vid 6250 e Kr, vilket är 2 μSv mer än maxdosen i huvudscenariot. Sannolikheten för detta scenario är låg och för att inte underskatta det maximala flödet genom bergssalarna i scenariot beräknades flödet genom bergssalar genom en ofysikalisk kombination av höga flöden i olika realiseringar (max från 17 bergmodeller och fem tidpunkter, dvs. totalt 85 vattenflöden) trots att det inte är en möjlig kombination av flöden (se även *Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – säkerhetsanslysmetodik SR-PSU*, fråga 4). Den låga sannolikheten i kombination med måttlig effekt gör att detta scenario inte räknas som ett konstruktionsstyrande fall. Istället visar scenariot att vald lokalisering har tillräckligt låga flöden och att inga ytterligare åtgärder behöver vidtas för att åstadkomma lågt flöde i berggrunden. Det bör i sammanhanget poängteras att utbyggd del av SFR är förlagd till djupet 120 meter just av anledningen att erhålla låga flöden, för ett grundare förvarsdjup skulle höga flöden i berggrunden kunna bli konstruktionsstyrande.

Accelererad betongdegradering - I detta scenario antas säkerhetsfunktionen lågt flöde i förvarsutrymmen vara försämrade till följd av att de fysikaliska degraderingsprocesser som verkar på betongen i förvaret antas ske snabbare och vara mer omfattande än i huvudscenariot. Detta scenario gav en maxdos på 10,6 μSv vid 5550 e Kr, vilket är ca 3 μSv mer än maxdosen i huvudscenariot. Effekterna är högst för 1BMA där dosen blir ca 3 gånger högre i detta scenario jämfört med huvudscenariot. Den ökade dosen för 1BMA visar på vikten av en god betongbarriär för denna bergssal och därför kan scenariot ses som ett konstruktionsstyrande fall, vilket leder till krav på betongbarriärerna. Antagandena om degraderingsprocesser i referensutvecklingen är realistiska men med snarare något pessimistiska än optimistiska värden. Scenariot med accelererad betongdegradering bedöms ha betydligt mindre sannolikhet än 10 %. Förutsatt att initialtillståndet för betongbarriärerna som används i säkerhetsanalysen uppfylls behöver därför inga ytterligare krav på betongbarriärerna ställas än de som ställs på initialtillståndet.

Bentonitdegradering - I detta scenario antas säkerhetsfunktionen lågt flöde i förvarsdelar vara försämrade till följd mer omfattande bentonitdegradering än antagen i huvudscenariot. Den mer omfattande

Information om konstruktionsstyrande fall för utbyggnad av SFR

bentonitdegraderingen härleds från osäkerheter i konsekvenserna av långvariga periglaciala förhållanden i kombination med osäkerheter i de tätande egenskaperna hos bentoniten. Detta scenario gav en maxdos på 7,7 μSv och avviker därmed inte från huvudscenariot. Detta visar att konsekvenserna av osäkerheterna i funktionen hos bentonit är små och inga ytterligare krav på bentoniten behöver ställas. Scenariot ses därför inte som ett konstruktionsstyrande fall.

Jordskalv - I detta scenario antas säkerhetsfunktionen lågt flöde i förvarsutrymmen vara försämrad till följd av ett jordskalv. Jordskalvsanalysen visar att silon inte skadas allvarlig för jordskalv med årlig överskridande frekvens på 10^{-5} . Vid årlig överskridande frekvens på 10^{-6} visar på uppsprickning i stora delar av konstruktionen och denna frekvens analyserades i jordskalvsscenarioet. Sannolikheten för ett sådant skalv i Forsmarksområdet är mycket liten vilket gör att scenariot bidrar lite till risken från förvaret. Då krav från bland annat säkerhet under drift styr utformningen av förvaret blir inte scenariot jordskalv ett konstruktionsstyrande fall.

Höga koncentrationer komplexbildare – I detta scenario antas säkerhetsfunktionen god retention vara försämrad till följd av osäkerheter i den initiala mängden cellulosa. Detta scenario gav en maxdos på 10,7 μSv vid 44 500 e Kr, vilket är ca 3 μSv mer än maxdosen i huvudscenariot. Mängden cellulosa var högt uppskattad redan i huvudscenariot så detta scenario är ytterst osannolikt. Den ökade dosen visar dock att komplexbildare kan ha betydelse för dos och att högre mängder komplexbildare än de som antagits i huvudscenariot inte är att föredra. Scenariot visar därmed på betydelsen av att begränsa mängden komplexbildare och kan ses som ett konstruktionsstyrande fall då det leder till krav på mängden komplexbildare i WAC.

Brunnar nedströms förvaret och intrångsbrunnar - I detta scenario antas säkerhetsfunktionen undvika brunnar i förvarets direkta närhet inte upprätthållas till följd av osäkerheter i framtida mänskliga handlingar. Scenariot med nedströms brunnar gav en maxdos på 15,6 μSv vid 5000 e Kr och scenariot med intrångsbrunnar gav en maxdos på 4 500 μSv för en intrångsbrunn i IBLA år 3050 e Kr. Detta visar att en intrångsbrunn kan ge upphov till höga doser. Sannolikheten för detta scenario är dock mycket låg och dessutom är det troligt att man noterar avvikelser från den normala dricksvattenkvaliteten och därför inte utnyttjar brunnen såsom antagits i scenariot. Utbyggd del av SFR förläggs till ett större djup än befintligt SFR, vilket minskar risken för intrångsbrunnar. Både befintligt SFR och SFR-utbyggnaden är placerade under hav vilket minskar risken för brunnar under de första 1 000 åren när radioaktiviteten är som högst. Förutsatt att lokaliseringen kvarstår anses inga ytterligare krav behövas för att minska risken för brunnar och därmed räknas inte detta scenario som ett konstruktionsstyrande fall.

3.2.3 Restscenarier

Förlust av barriärfunktion – ingen sorption i förvaret - Detta scenario illustrerar betydelsen av sorption i förvaret. Scenariot gav en maxdos på 41,4 μSv vid 25 500 e Kr. Detta visar att sorption har stor betydelse för förvarets skyddsförmåga och detta scenario kan räknas som ett konstruktionsstyrande fall. En god sorption i SFR erhålls genom användandet av cement som ingående komponent i konstruktionerna i de förvarsdelar som har säkerhetsfunktionen god retention. I vidare teknikutveckling kan alltså inte cementmängderna minskas utan en analys av effekterna på säkerheten efter förslutning.

Förlust av barriärfunktion – ingen sorption i berggrunden - Detta scenario illustrerar betydelsen av sorption i berget. Sorption i berggrunden uteslöts helt genom att K_d -värden sattes till 0 för alla radionuklider i geosfären. Trots att detta är ett osannolikt restscenario gav det inte en högre maxdos än 10,4 μSv . Detta visar att sorption i berggrunden har relativt liten betydelse för förvarets skyddsförmåga och detta scenario räknas inte som ett konstruktionsstyrande fall.

Förlust av barriärfunktion – högt vattenflöde i förvaret - Detta scenario illustrerar betydelsen av de tekniska barriärernas förmåga att begränsa vattenflöde genom den del av förvarsutrymmena som innehåller avfall. I detta scenario ansätts parametervärden för fullständigt degraderade förhållanden av betong och bentonit redan vid förslutning. Det innebär att parametervärden för porositet och diffusivitet ändras, vilket leder till ändrad hydraulisk konduktivitet. Scenariot gav en maxdos på 68,8 μSv vid 4650 e Kr. Detta scenario visar att de flödesbegränsande egenskaperna hos barriärerna är viktiga och scenariot

Information om konstruktionsstyrande fall för utbyggnad av SFR

kan anses vara ett konstruktionsstyrande fall. För BMA-salarna är det betongkonstruktionerna och för silon är det bentoniten som reglerar det advektiva flödet. Antagande om betongens och bentonitens flödesbegränsande förmåga i referensutvecklingen är realistiska, men med tonvikt på pessimistiska värden snarare än optimistiska. Förutsatt att initialtillståndet för betongbarriärerna och bentonitbarriärerna som används i säkerhetsanalysen uppfylls behöver därför inga ytterligare krav på barriärerna ställas utifrån detta scenario utan de krav som ställs på initialtillståndet är tillräckliga.

Ändrade redoxförhållanden i SFR 1 - Detta scenario belyser effekten av tillräckligt reducerande förhållanden i förvaret för valet av K_d -värden. Detta scenario gav en maxdos från befintligt förvar på 7,4 μSv vid 51 500 e Kr, vilket är en ökning av dosbidraget från befintligt förvar på ca 1 μSv jämfört med huvudscenariot. Detta visar att ändrade redoxförhållanden skulle ha liten betydelse för sorptionen. Eftersom det finns stor tilltro till de förhållandena som antas i huvudscenariot, samt att effekten på dos är begränsad i detta scenario, räknas detta scenario inte som ett konstruktionsstyrande fall.

Förlängd global uppvärmning - Detta scenario illustrerar betydelsen av varmare och våtare klimat än dagens och representerar osäkerheter i framtida klimatutveckling. Scenariot gav en maxdos på 7,0 μSv vid 6150 e Kr vilket är lägre än maxdosen i huvudscenariot. Detta visar att ett varmare och våtare klimat inte negativt skulle påverka säkerheten efter förslutning för SFR och scenariot räknas inte som ett konstruktionsstyrande fall.

Ej förslutet förvar - Detta scenario illustrerar effekten av att man inte försluter förvaret. Scenariot gav en maxdos 13 300 μSv , trots att det långlivade avfall som SKB planerade att mellanlagra i SFR-utbyggnaden inte inkluderades i analysen. Resultatet från detta scenario visar att förslutningen har stor betydelse för förvarets skyddsförmåga. Scenariot räknas som ett konstruktionsstyrande fall och visar på nödvändigheten av förslutning av förvaret. Krav på förslutning har identifierats i en förslutningsplan (Luterkort et al. 2014) och kraven på förslutning kommer ytterligare förfinas längre fram.

Framtida mänskliga handlingar - Framtida mänskliga handlingar inkluderar bland annat vattenverksamhet, underjordskonstruktioner och påverkan av material som tas upp vid en borring direkt in i förvaret. Utnyttjandet av brunnsvatten från en intrångsbrunn direkt in i förvaret analyseras dock i inte inom detta scenario i SR-PSU utan inom det mindre sannolika scenariot *intrångsbrunnar*. Vattenverksamhet samt underjordskonstruktioner är relaterade till lokalisering. Även borring direkt i förvaret kan anses vara förknippat med lokalisering då SFR förlagts så att borring inte är trolig de första 1000 åren. Dosen till borrhpersonal och jordbrukare/byggpersonal som odlar/arbetar på mark där borrhkax har lämnats visar på relativt små doser, vilka är betydligt lägre än de referensnivåer som anges av ICRP för att indikera ett systems robusthet. Därför anses inga ytterligare åtgärder behövas och scenariot räknas inte som ett konstruktionsstyrande fall.

Glaciation och postglaciala förhållanden - Detta scenario inkluderades för att täcka in osäkerheter i tidpunkten för nästa glaciation på det norra halvklotet och undersöka de radiologiska konsekvenserna från SFR till följd av en glaciation i Forsmarksområdet. I scenariot antogs en glaciation mellan år 59 600 e Kr och år 68 200 e Kr, varefter barriärerna antas ha förlorat sin skyddande förmåga. Scenariot gav en maxdos på 2,8 μSv . Eftersom avfallet i SFR innehåller till största delen kortlivade radionuklider blir dosen låg även om en glaciation förväntas förstöra barriärernas skyddande förmåga. Detta gör att inga krav ställs på förvaret att motstå en glaciation och scenariot räknas inte som ett konstruktionsstyrande fall.

3.3 Sammanfattning av konstruktionsstyrande fall i SR-PSU

Som framgår av sammanställningen av scenarier i tabell 3-2 kan flera av de analyserade scenarierna räknas som konstruktionsstyrande fall. Scenarierna baserades på utvärderingen av säkerhetsfunktioner och säkerhetsfunktionsindikatorer. Resultat från utvärderingen av scenarier har visat vilka egenskaper som är fördelaktiga för olika komponenter i förvaret med avseende på säkerheten efter förslutning. I huvudscenariot ingick antaganden om och utvärdering av alla säkerhetsfunktioner. Eftersom analysen visade att riskkriteriet uppfylls kan de antaganden som gjorts för säkerhetsfunktionerna anses vara vägledande för en säker konstruktion. I de mindre sannolika scenarierna och restscenarierna påvisades effekten av att olika säkerhetsfunktioner avviker från antaganden i huvudscenariot. Dessa scenarier visar

Information om konstruktionsstyrande fall för utbyggnad av SFR

bland annat vikten av begränsad radioaktivitet, god retention i närzonen, och barriärernas flödesbegränsande förmåga. För att uppnå begränsad radioaktivitet ställs krav på avfallet vilket formuleras i acceptanskriterierna för avfallet (WAC). Scenariot med höga koncentrationer av komplexbildare visar på behovet av god retention och leder till begränsning av den tillåtna mängden cellulosa i 2BMA. Vikten av god retention visades även i det restscenario som utvärderade betydelsen av sorption i närområdet. Detta scenario visar på betydelsen av att använda konstruktionsmaterial som också har en kvarhållande förmåga utöver dess funktion som flödesbegränsande barriär och som strålskydd under driftskedet. För att upprätthålla en flödesbegränsande förmåga hos barriärerna ställs krav på tätheten hos barriärerna (inklusive frekvens och storlek på genomgående sprickor i betongbarriärer) i initialtillståndet.

Tabell 3-2. Scenarier från SR-PSU, om de är konstruktionsstyrande eller inte (motiv till bedömningen ges i texten i avsnitt 3-2). Dessutom anges vilka säkerhetsfunktioner som utvärderats eller om scenariot belyser en specifik företeelse/barriärfunktion.

Scenario	Konstruktionsstyrande	Säkerhetsfunktion, specifika barriärer eller företeelse
Huvudscenario		
Varianten med global uppvärmning	Ja	Alla säkerhetsfunktioner, utvärdering av hela systemet
Variant med tidigt periglacialt klimat	Ja	Alla säkerhetsfunktioner, utvärdering av hela systemet
Mindre sannolika scenarier		
Högt inventarium	Ja	Begränsad radioaktivitet
Högt flöde i berggrunden	Nej	Lågt flöde i berggrunden
Accelererad betongdegradering	Ja	Lågt flöde i förvarsutrymmen
Bentonitdegradering	Nej	Lågt flöde i förvarsutrymmen
Jordskalv	Nej	Lågt flöde i förvarsutrymmen och berggrunden
Höga koncentrationer av komplexbildare	Ja	God retention
Brunnar nedströms och intrångsbrunnar	Nej	Undvika brunnar i förvarets direkta närhet
Restscenarier		
Förlust av barriärfunktion – ingen sorption i förvaret	Ja	Betydelse av sorption i närområdet
Förlust av barriärfunktion – ingen sorption i berggrunden:	Nej	Betydelse av sorption i berggrunden
Förlust av barriärfunktion – högt vattenflöde i förvaret:	Ja	Betydelsen av barriärernas flödesbegränsande förmåga
Ändrade redoxförhållanden i SFR 1	Nej	Betydelse av ändrade redoxförhållande för sorption
Förlängd global uppvärmning	Nej	Betydelsen av varmare klimat
Ej förslutet förvar	Ja	Betydelsen av förslutning
Framtida mänskliga handlingar	Nej	Betydelse av framtida handlingar
Glaciation och postglaciala förhållanden	Nej	Betydelse av en glaciation

3.4 Detaljerad återkoppling från säkerhetsanalysen till teknikutvecklingen och projektering

Från scenarierna identifieras konstruktionsstyrande fall och krav på initialtillståndet. I säkerhetsanalysen görs ett antal antaganden som kopplar till barriärernas utveckling över tiden och som därmed leder till krav på material och konstruktionernas egenskaper. Nedan ges exempel på återkoppling från säkerhetsanalysen till teknikutveckling och projektering.

Krav på betongbarriärer i 2BMA, kringgjutning av reaktortankar och mothåll

För 2BMA och BRT är säkerhetsfunktionen god retention viktig. För 2BMA är även lågt flöde i förvarsutrymmet en viktig säkerhetsfunktion .

En av säkerhetsfunktionsindikatorerna för god retention är pH. Högt pH begränsar också korrosionshastigheten för järn och stål och begränsar den mikrobiella aktiviteten. Begränsad korrosion leder till retention av radionuklider. Som exempel beror frigörelsen av radionuklider från reaktortankarna i BRT av korrosionshastigheten, vilket leder till kravet att pH i BRT ska vara så pass högt att metallytorna är passiverade så att korrosionen blir långsam. Högt pH erhålls genom användandet av betongmaterial. Den betong som ska användas vid uppförandet av betongbarriärer, kringgjutning av reaktortankar (hela eller segmenterade) och mothåll för bentoniten i pluggarna ska vara högpresterande betong av CEM1-typ. Denna betongtyp bidrar med det höga pH som är ett krav från SR-PSU. Flyttillsatsmedel och luftporbildare får användas förutsatt att de inte påverkar sorptionen/lösligheten av radionuklider.

För att erhålla lågt flöde i förvarsutrymmen behöver betongen som används i betongbarriärer vara av bra kvalitet och grundläggningen behöver vara stabil. För att undvika genomgående sprickor i betongbarriärerna, initialt och efter förslutning, ställs krav på ballasten. För att undvika reaktioner mellan ballast och cement, som leder till svällning, ska ballasten vara alkali-silikaresistent. Vid konstruktionen av betongbarriären i 2BMA minimeras användningen av material som kan orsaka genomgående sprickor i konstruktionen, exempelvis genomgående formstag .

Betongkonstruktionen i 2BMA ska grundläggas på bergkross utan kantförstyvning för att reducera tvånget för rörelser på grund av temperaturändring och betongens krympning. I BRT grundläggs bottenplattan också på bergkross. Kassunerna i 2BMA ska dimensioneras och konstrueras så att förekomsten av sprickor med en vidd $>0,1$ mm undviks. Betongens vatten-cement-tal ($vct = \text{kg vatten/kg cement}$) optimeras för att ge största möjliga motstånd mot degradering av betongen och för att undvika genomgående sprickor vid uppförandet. I SR-PSU har en betong med 22 % hydratiserade cementmineral analyserats för 2BMA med avseende på sorption av radionuklider. Utifrån detta sätts 22 % cement i betongen som en nedre gräns, eftersom lägre cementshalt ligger utanför det analyserade området i SR-PSU. Mer cement påverkar inte säkerheten efter förslutning negativt. För betongen som används till mothåll för pluggarna är detta inte ett krav.

Krav på återfyllnadsmaterial

Återfyllnadsmaterialet är viktigt för säkerhetsfunktionen lågt flöde i förvarsutrymmen. I bergssalarna är säkerhetsfunktionsindikatorn hydraulisk kontrast mellan betong och återfyllnad betydelsefull. I förslutningsplanen föreslås återfyllnaden för 1BMA och 2BMA bestå av makadam (Luterkort et al. 2014). Detta material har en hydraulisk konduktivitet på minst 10^{-2} m/s. I beräkningarna av vattenflöde i SR-PSU har en hydraulisk konduktivitet på 10^{-3} m/s använts för återfyllnadsmaterialet, vilket ger en säkerhetsmarginal till möjliga förändringar av den hydrauliska konduktiviteten med tiden. I BRT och tunnlar där återfyllnaden inte har samma funktion, är kravet att den hydrauliska konduktiviteten ska vara minst 10^{-5} m/s.

Krav på bentonit

För silon, och pluggar i bergsalar och nedfartstunnlar, påverkar bentoniten säkerhetsfunktionen lågt flöde i förvarsutrymmen. Egenskaper hos bentoniten påverkar säkerhetsfunktionsindikatorn hydraulisk konduktivitet. För att erhålla en låg hydraulisk konduktivitet ställs krav på bentonitens

Information om konstruktionsstyrande fall för utbyggnad av SFR

svällningsegenskaper. För att erhålla de svällningsegenskaper som efterfrågas ska den bentonit som används i tunnelpluggar, återfyllnad av silon och i bergssalspluggar utgöras av en naturlig kompakterad Ca-montmorillonit eller en okompakterad bentonit som konverterats till Na-montmorillonit.

4 Vidare iterationer mellan teknikutveckling och säkerhetsanalys efter att ansökan SR-PSU lämnades in

Kraven som identifierat i säkerhetsanalysen SR-PSU utvärderas och ger information till teknikutveckling och projektering. Efter inlämnandet av säkerhetsanalysen har arbetet med teknikutveckling fortsatt. Som exempel har en uppdaterad layout av 2BMA utarbetats (*Vidareutvecklad utformning av förvarsutrymmet 2BMA i SFR3*). Den nya layouten har bättre förutsättningar att uppfylla initialtillståndet och tar hänsyn till osäkerheter rörande vissa processer i avfallet såsom gasbildning och svällande avfall, och dess effekter på betongkonstruktionens flödesbegränsande förmåga. Framtagandet av den nya layouten har tagit hänsyn till analysen av säkerhet efter förslutning så att inga av de krav på konstruktionen som identifierats äventyras. Vidare iterationer mellan säkerhetsanalys och teknikutveckling/projektering kan ske under hela projektet.

Referenser

Luterkort D, Nyblad B, Wimelius H, Pettersson P, Aghili B, 2014. SFR förslutningsplan. SKBdoc 1358612 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2001. Slutförvar för radioaktivt avfall SFR 1. Slutlig säkerhetsrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2008. Säkerhetsredovisning SFR 1. Allmän del 2 – Långsiktig säkerhet. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2013. Plats för slutförvaring av kortlivat rivningsavfall. SKB P-13-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2014. Input data report for the safety assessment SR-PSU. SKB TR-14-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Dokument som ingår i ansökan

Redovisning av säkerhet efter förslutning. Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – säkerhetsanslysmetodik SR-PSU. SKBdoc 1564154 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Vidareutvecklad utformning av förvarsutrymmet 2BMA i SFR. SKBdoc 1569813 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.