



r

**SSI Rapport**

SSI report

**SSI 2003:21** BJÖRN DVERSTORP OCH BENNY SUNDSTRÖM ET.AL.  
**SKI 2003:37**

*SSI:s och SKI:s granskning av SKB:s  
uppdaterade Slutlig Säkerhetsrapport för SFR 1*

*Granskningsrapport*



*Statens strålskyddsinstitut*  
Swedish Radiation Protection Authority

**SKi**

STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION  
Swedish Nuclear Power Inspectorate

**AUTHOR/ FÖRFATTARE:** Rodolfo Avila<sup>1)</sup>, Thomas Berglund (SKI), Björn Dverstorp (Projektledare,<sup>1)</sup>), Bengt Hedberg<sup>2)</sup>, Mikael Jensen<sup>1)</sup>, Fritz Kautsky<sup>2)</sup>, Carl-Magnus Larsson<sup>1)</sup>, Christina Lilja <sup>2)</sup>, Ingemar Lund<sup>1)</sup>, Tomas Löfgren<sup>1)</sup>, Leif Moberg<sup>1)</sup>, Maria Nordén <sup>1)</sup>, Eva Simic <sup>2)</sup>, Bo Strömberg<sup>2)</sup>, Benny Sundström (Projektledare,<sup>2)</sup>), Övind Toverud<sup>2)</sup>, Anders Wiebert<sup>1)</sup>, Stig Wingefors<sup>2)</sup> och Helmuth Zika<sup>2)</sup>.  
<sup>1)</sup>SSI, <sup>2)</sup>SKI

**AVDELNING/ DEPARTMENT:** Avd. för avfall och miljö och Avd. för personal- och patientstrålskydd/ Department of Waste Management & Environmental Protection and and Department of Occupational and Medical Exposures.

**TITEL:** SSI:s och SKI:s granskning av SKB:s uppdaterade Slutlig Säkerhetsrapport för SFR 1. Granskningsrapport

**SSI rapport: 2003:21**

**SKI rapport: 2003:37**

**november 2003**

**ISSN 0282-4434**

*The conclusions and viewpoints presented in the report are those of the author and do not necessarily coincide with those of the SSI.*

Författarna svarar själva för innehållet i rapporten.



Statens strålskyddsinstitut  
Swedish Radiation Protection Authority



STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION  
Swedish Nuclear Power Inspectorate

# Förord

Slutförvaret för radioaktivt driftavfall, SFR 1, är nu föremål för en ny granskning av Statens strålskyddsinstitut (SSI) och Statens kärnkraftinspektion (SKI). Ett av villkoren för att ta SFR 1 i drift var att en ny analys av förvarets långsiktiga funktion och omgivningskonsekvenserna skall göras vart 10:e år av tillståndshavaren för anläggningen, Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB). Under den tid som SFR 1 har varit i drift har erfarenheter av att driva anläggningen gjorts och ny kunskap om SFR 1:s långtidsfunktion vunnits. Nya föreskrifter för kärntekniska anläggningar har tillkommit sedan SFR 1 togs i drift (1988). SKB har till myndigheterna lämnat in en ny säkerhetsanalys, som en del av den nya säkerhetsrapporten för SFR 1, ”Slutförvar för radioaktivt driftavfall, SFR 1, Slutlig säkerhetsrapport 2001” (SSR 2001).

En granskningsgrupp med tjänstemän från SKI och SSI har genomfört granskningen av SSR 2001. Denna granskningsrapport utmynnar i granskningsgruppens bedömning av säkerheten i SFR 1 och är underlag för myndigheternas beslut angående eventuella ändringar i driftvillkoren för SFR 1. I granskningsgruppen har följande personer ingått, vilka även svarar för innehållet i rapporten:

Rodolfo Avila (SSI)  
Thomas Berglund (SKI)  
Björn Dverstorp (Projektledare, SSI)  
Bengt Hedberg (SKI)  
Mikael Jensen (SSI)  
Fritz Kautsky (SKI)  
Carl-Magnus Larsson (SSI)  
Christina Lilja (SKI)  
Ingemar Lund (SSI)  
Tomas Löfgren (SSI)  
Leif Moberg (SSI)  
Maria Nordén (SSI)  
Eva Simic (SKI)  
Bo Strömberg (SKI)  
Benny Sundström (Projektledare, SKI)  
Öivind Toverud (SKI)  
Anders Wiebert (SSI)  
Stig Wingefors (SKI)  
Helmuth Zika (SKI)

Stockholm, oktober 2003



# Innehållsförteckning

SAMMANFATTANDE BEDÖMNING.....	V
<b>1 INLEDNING.....</b>	<b>1</b>
1.1 SFR 1-anläggningen .....	1
1.2 Bakgrund till SKB:s redovisning .....	2
1.3 Syftet med granskningen .....	2
1.4 Upplägg av granskningen .....	3
1.5 Rapportstruktur.....	3
<b>2 BAKGRUND OCH JURIDISKA FÖRUTSÄTTNINGAR .....</b>	<b>5</b>
2.1 Lagar.....	5
2.2 Tillståndsvillkor.....	6
2.2.1 Bakgrund.....	6
2.2.2 Regeringstillstånd 1983 med tillhörande villkor.....	6
2.2.3 Villkor kopplade till begränsat driftmedgivande .....	8
2.2.4 Villkor kopplade till kompletterande driftmedgivande .....	9
2.3 Föreskrifter .....	10
2.3.1 Strålskydd under drift av kärnteknisk anläggning.....	10
2.3.2 Säkerhet under drift av kärnteknisk anläggning.....	11
2.3.3 Strålskydds krav för slutförvaring av kärnavfall.....	11
2.3.4 Säkerhetskrav för slutförvaring av kärnavfall.....	12
2.4 Tillämpning av regelverk och bedömningsgrunder.....	14
<b>3 SFR 1:S KONSTRUKTION.....</b>	<b>15</b>
3.1 Beskrivning av anläggningen .....	15
3.1.1 Översiktlig beskrivning.....	15
3.1.2 Strålskydd i anläggningen .....	16
3.2 Konstruktions- och dimensioneringsförutsättningar .....	17
3.3 Förslutningsåtgärder.....	18
3.4 Framtida utbyggnad.....	19
<b>4 SFR 1:S DRIFT .....</b>	<b>21</b>
4.1 Organisation .....	21
4.2 Driften av SFR 1.....	21
4.3 Kvalitetsstyrning och kontroll .....	22
4.4 Uppföljning under driftskedet .....	23
4.4.1 Kontrollprogram för driftperioden .....	23
4.4.2 Missödes- och konsekvensanalys.....	23
4.4.3 Analys av inträffade händelser.....	24
4.4.4 Större ombyggnader eller driftförändringar sedan driftstart .....	25
4.4.5 Doser till personal .....	25
4.4.6 Betydelsen av informationsbevarande .....	26
4.5 Deponering av avfall .....	27
4.5.1 Bakgrund.....	27
4.5.2 Tillämpning av optimering och bästa möjliga teknik - BAT .....	27

<b>5</b>	<b>LÅNGTIDSFUNKTIONEN AV SFR 1 .....</b>	<b>29</b>
5.1	SKB:s tolkning av myndigheternas krav .....	30
5.2	Metodik för säkerhetsanalys .....	31
5.3	Nuklidinventarium och avfall .....	32
5.3.1	Materialmängder i SFR 1 .....	32
5.3.2	Metodik för bestämning av nyckelnukliderna i avfallet .....	34
5.3.3	Korrelationsfaktorer .....	35
5.3.4	Totalaktivitet och aktivitetsfördelning mellan de olika förvarsdelarna .....	36
5.3.5	Inventarier av betydelsefulla radionuklider .....	38
5.3.6	Granskningsgruppens sammanfattande bedömning .....	42
5.4	Systembeskrivning .....	44
5.4.1	Interaktionsmatriser .....	44
5.4.2	Informationsflödesdiagram .....	47
5.4.3	Fullständighet i systembeskrivningen .....	48
5.5	Val av scenarier .....	49
5.5.1	Metodik för val av scenarier .....	49
5.5.2	Basscenario .....	51
5.5.3	Initiala defekter .....	52
5.5.4	Klimatförändringar .....	53
5.5.5	Tektoniska händelser .....	54
5.5.6	Mänsklig verksamhet .....	55
5.6	Initialtillstånd och utveckling av slutförvaret och geosfären .....	55
5.6.1	Hydrogeologi .....	55
5.6.2	Strukturgeologi och bergmekanik .....	59
5.6.3	Vattenkemi .....	60
5.6.4	Degradering av tekniska barriärer .....	62
5.6.5	Gasutveckling och gastransport .....	66
5.6.6	Mikroorganismer .....	68
5.6.7	Inbördes påverkan mellan förvarsdelarna .....	69
5.6.8	Komplexbildare .....	69
5.7	Initialtillstånd och utveckling av biosfären .....	70
5.7.1	Dagens biosfärsförhållanden .....	70
5.7.2	Processer som bidrar till biosfärens utveckling .....	72
5.7.3	Biosfärens utveckling för olika scenarier .....	74
5.8	Konsekvensberäkningar .....	74
5.8.1	Modeller för konsekvensanalys .....	74
5.8.2	Modellering av slutförvaret .....	76
5.8.3	Modellering av geosfären .....	78
5.8.4	Modellering av radionuklidomsättning i biosfären .....	79
5.8.5	Metoder för beräkning av doser till människan och effekter på miljön .....	80
5.8.6	Beräkningsfall .....	80
5.8.7	Val av data .....	85
5.8.8	Redovisning av beräkningsresultat .....	88
5.9	Karakterisering av risk och SKB:s slutsatser .....	91
<b>6</b>	<b>NYCKELFRÅGOR FRÅN GRANSKNINGEN .....</b>	<b>95</b>
	<b>REFERENSER .....</b>	<b>103</b>

## Sammanfattande bedömning

Granskningsgruppen har gjort följande sammanfattande bedömning av SKB:s ”Slutförvar för radioaktivt driftavfall, SFR 1, Slutlig säkerhetsrapport 2001” (SSR 2001).

### *Säkerhet och strålskydd under driftskedet*

Granskningsgruppen anser att SKB har presenterat en acceptabel redovisning av anläggningens drifts- och konstruktionsmässiga status i SSR 2001.

Granskningen har dock påvisat brister i uppföljningen av den normutveckling av konstruktionsförutsättningar som skett sedan anläggningen uppfördes liksom tillvaratagandet av driftserfarenheter. Den övergripande bedömningen är dock att driften av anläggningen sker på ett från säkerhetssynpunkt acceptabelt sätt.

Med hänsyn till slutförvarets långsiktiga funktion är det en brist att SSR 2001 inte redovisar hur de föreskrivna strålskyddskraven på optimering och användandet av bästa möjliga teknik (BAT) beaktas under drift.

Granskningsgruppen bedömer att personalstrålskyddsfrågorna hanteras på ett tillfredsställande sätt och konstaterar att de driftrelaterade utsläppen av radioaktiva ämnen är mycket små.

### *Säkerhet och strålskydd efter förslutning*

SKB:s säkerhetsanalys av slutförvarets långsiktiga funktion innehåller väsentliga uppdateringar och förbättringar jämfört med de tidigare säkerhetsanalyserna för SFR 1. Granskningsgruppen vill särskilt framhålla den goda kvaliteten i den platsspecifika beskrivning som tagits fram för biosfären och dess framtida utveckling. Betydande framsteg har även gjorts vad gäller underlaget för analyser av inventariet av radioaktiva ämnen och modellbeskrivningar för hydrogeologi och närområdestransport. Säkerhetsanalysen har nu även uppdaterats med en modern systembeskrivning och databas för processer, egenskaper och händelser.

De krav som ställs på ett slutförvar och på innehåll och presentation av en säkerhetsredovisning har preciserats i nya föreskrifter sedan driftmedgivande gavs för SFR 1. Föreskrifterna anger bl.a. att konsekvenserna av utsläpp av radioaktiva ämnen skall bedömas mot ett riskkriterium och att effekter på miljön skall redovisas. Vid bedömningen av SKB:s förnyade säkerhetsanalys har myndigheterna identifierat vissa avvikelser i förhållande till kraven i de nya föreskrifterna.

En betydande avvikelse är att SSR 2001 saknar en genomgripande analys som visar hur identifierade osäkerheter inverkar på framtida konsekvenser. Det finns också brister i dokumentationen som gör det svårt att reproducera eller bedöma tillämpligheten av vissa modeller och data, t.ex. för närområde och biosfär. Tilltron till SKB:s riskanalys begränsas av otydligheter i scenarioformuleringarna. SKB har inte heller på ett övertygande sätt visat att analysen kan begränsas till 10 000 år.

Granskningsgruppen bedömer att det inventarium av radionuklider som SKB benämner som konservativt, och som använts som en beräkningsförutsättning, inte rymms inom gällande tillstånd. För det s.k. realistiska inventariet är överensstämmelsen tillräckligt god med det tillståndsgivna inventariet. Det kan inte uteslutas att inventariet av vissa långlivade och betydelsefulla radionuklider kan vara underskattat jämfört med det inventarium som använts i säkerhetsanalysen.

Sammantaget bedömer granskningsgruppen att SKB:s beräkningsresultat är rimliga. Men bristande uppgifter om osäkerheter i beräkningsresultat och riskuppskattningar gör det svårt att bedöma om SSI:s krav på slutförvarets skyddsförmåga är uppfyllda. Situationen kompliceras ytterligare av att den beräknade totala risken är i nivå med SSI:s riskkriterium. Granskningsgruppen anser därför att SKB:s säkerhetsredovisning bör kompletteras i ett antal avseenden. En viktig komplettering är en mer fullständig känslighets- och osäkerhetsanalys, för att ge en bättre bild av de säkerhetsmarginaler som SKB åberopar i sin bedömning av resultaten. Dessutom behövs en förbättrad uppskattning av inventariet av vissa långlivade radionuklider.

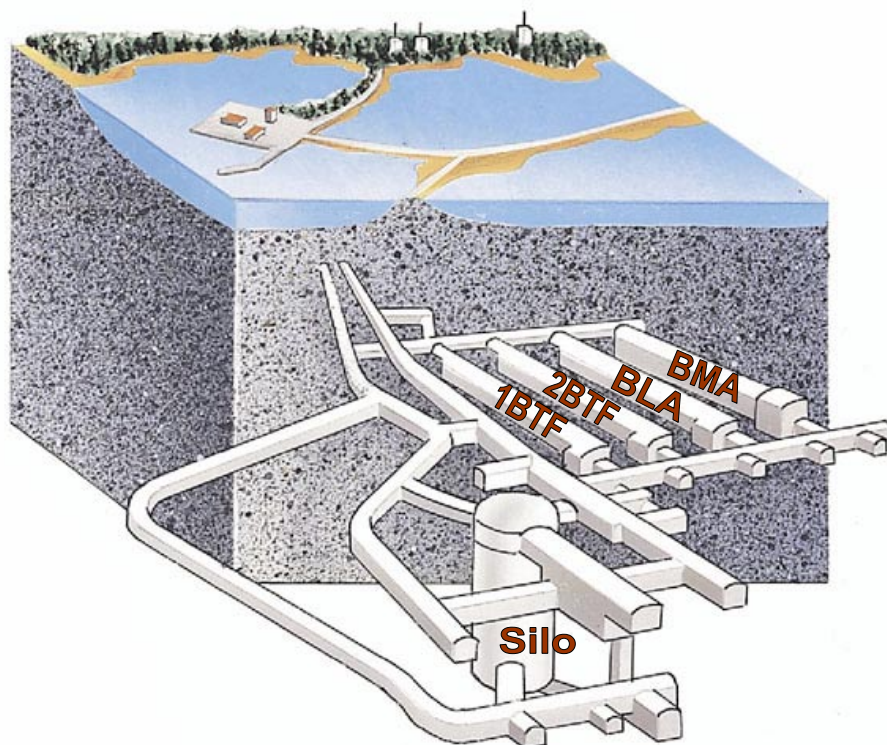


# 1 Inledning

## 1.1 SFR 1-anläggningen

De svenska kärnkraftverken producerar, förutom elkraft, även låg- och medelaktivt driftavfall och använt kärnbränsle. För att ta hand om det låg- och medelaktiva driftavfallet har kärnkraftsindustrin, med Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) som huvudansvarig, byggt ett slutförvar vid Forsmarks kärnkraftverk ca 160 km norr om Stockholm. Slutförvaret som benämns SFR 1 (slutförvar för radioaktivt driftavfall) togs i begränsad drift 1988 och i full drift fyra år senare. I SFR 1 slutförvaras också vissa kvantiteter radioaktiva ämnen från industri, forskningsinstitutioner och sjukvård.

Slutförvaret består av en ovanjordsdel och en underjordsdel. Ovanjordsdelen är förlagd i direkt anslutning till hamnen vid Forsmarks kärnkraftverk. Förutom kontors- och verkstadsbyggnad omfattar ovanjordsdelen en ventilationsbyggnad för underjordsdelen samt en terminalbyggnad för tillfällig uppställning av transportbehållare med avfall i avvaktan på nertransport till förvarsutrymmet. Transporterna av avfallet till SFR 1 sker främst med transportfartyget M/S Sigyn. Tillfart till underjordsdelen sker via två stycken 1 km långa tunnlar som mynnar vid hamnanläggningen. Den ena tunneln används för avfallstransporter, den andra används för persontransporter.



**Figur 1.1** Schematisk illustration av underjordsdelen för låg- och medelaktivt driftavfall (SFR 1) utanför Forsmarks kärnkraftverk.

Slutförvarsplatsen ligger i underjordsdelen och består av två stycken bergsalar för slutförvar av betongtankar (1BTF och 2BTF), en bergsal för lågaktivt avfall (BLA), en bergsal för medelaktivt avfall (BMA) och en betongsilo (Silo), samt ett tillhörande tunnelsystem, se figur 1.1. Underjordsdelen ligger ca sextio meter under havsbotten.

Från början var SFR 1 planerat att rymma totalt ca 90 000 m<sup>3</sup> låg- och medelaktivt avfall, varav ca 60 000 m<sup>3</sup> i den nuvarande utbyggnadsetappen. Det avfall som deponeras i SFR 1 består huvudsakligen av jonbyttarmassor från rening av reaktorvatten och bassängvatten, samt fast avfall i form av sopor, skrot, mekaniska komponenter från underhållsarbete etc. Det mest radioaktiva avfallet deponeras i Siloförvaret.

## **1.2 Bakgrund till SKB:s redovisning**

Mot bakgrund av det under driftperioden pågående kontrollprogrammet för anläggningen, drifterfarenheter samt den kontinuerliga förbättringen av kunskapsläget ansåg Statens kärnkraftinspektion (SKI) och Statens strålskyddsinstitut (SSI) i samband med att drifttillstånd för SFR 1 utfärdades att säkerhetsredovisningen successivt borde förbättras. Som villkor till driftmedgivandena angavs därför att SKB minst var tionde år så länge som slutförvaret ej är förslutet skall inlämna en uppdaterad analys av säkerheten och strålskyddet för anläggningen (SSI, 1988) och (SKI, 1988). Motsvarande krav på återkommande uppdatering av säkerhetsredovisningen återfinns även i SKI:s föreskrifter SKIFS 1998:1 (SKI, 1998). SKB har för att möta dessa driftsvillkor och föreskriftskrav vid halvårsskiftet 2001 lämnat in en säkerhetsanalys, med underlagsrapporter, för SFR 1 (SKB, 2001).

## **1.3 Syftet med granskningen**

Sedan SFR 1 tillståndsprövades och togs i drift under 1980-talet har delar av kravbildens utvecklats, i synnerhet genom en uppdatering av tidigare föreskrifter och genom utfärdande av nya föreskrifter med relevans för SFR 1. Därutöver gäller de krav, i form av villkor och begränsningar, som SSI, SKI och regeringen tidigare har utfärdat för verksamheten. I granskningen ingår också att bedöma hur SKB tagit hänsyn till erfarenheterna från drygt 10 års drift och de uppdaterade kunskaper som tillkommit om SFR 1 och dess långsiktiga funktion.

Syftet med föreliggande granskning är således att utifrån den av SKB inlämnade slutliga säkerhetsredovisningen, SSR 2001 (SKB, 2001) ta ställning till i vilken utsträckning slutförvaret uppfyller gällande tillståndsvillkor (se avsnitt 2.2 i denna rapport) och föreskrifter (se avsnitt 2.3 i denna rapport). Denna granskningsrapport utgör ett underlag för myndigheternas ställningstaganden och eventuella beslut om ändringar i driftvillkoren för anläggningen.

## **1.4 Upplägg av granskningen**

Myndigheternas granskning har utförts av tjänstemän från SKI och SSI (se lista i förordet).

För att ta fram fördjupade analyser inom viktiga områden, för den långsiktiga säkerheten för SFR 1, t.ex. hydrologi, biosfär och transport av radionuklider från slutförvaret ut i biosfären, har myndigheterna utnyttjat svensk såväl som utländsk expertis inom de olika vetenskapliga disciplinerna. Dessa experter har även givit utlåtande över de flesta underlagsrapporterna till SKB:s säkerhetsanalys. Tabell 1.1 visar de av myndigheterna anlätade experterna och deras rapportering.

Denna rapport utgör granskningsgruppens samlade bedömningar av säkerheten och strålskyddet vid SFR 1, utgående från SKB:s redovisning.

## **1.5 Rapportstruktur**

Granskningsgruppens sammanfattande bedömning av SKB:s Slutlig säkerhetsrapport 2001 för SFR 1 återfinns i början av denna rapport.

I kapitel 2 redovisas den legala statusen och de regelverk som gäller för SFR 1 samt tillämpliga föreskrifter för driften av slutförvaret och för dess långsiktiga funktion. Kapitel 3 tar upp frågor kring konstruktionen av SFR 1. I kapitel 4 behandlas hur SKB har genomfört driften av SFR 1-anläggningen. Kapitel 5 redovisar granskningsgruppens bedömningar av den långsiktiga funktionen och de resulterande omgivningskonsekvenserna efter förslutningen av SFR 1. Nyckelfrågor från granskningen avseende slutförvarets långsiktiga säkerhet sammanfattas i kapitel 6.

**Tabell 1.1** De av myndigheterna anlitate experterna och deras rapportering.

Referens (rapport)	Ämnesområde	Författare
Benbow m.fl., 2002	pH-buffring i återfyllnads-material i SFR 1	<b>Benbow S.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> ) <b>Robinson P. C.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> ) <b>Savage D.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> )
Chapman m.fl., 2002	Kommentarer på SSR 2001	<b>Chapman N. A.</b> ( <i>Quintessa Ltd Associate Consultant</i> ) <b>Maul P. R.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> ) <b>Robinson P. C.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> ) <b>Savage D.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> )
Egan m.fl., 2001	FEP-lista och modell för biosfären	<b>Egan M. J.</b> ( <i>Enviros QuantiSci</i> ) <b>Maul P. R.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> ) <b>Watkins B. M.</b> ( <i>Enviros QuantiSci</i> ) <b>Venter A.</b> ( <i>Enviros QuantiSci</i> )
Egan m.fl., 2003	Biosfärsmodellering	<b>Egan M. J.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> ) <b>Thorne M. C.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> ) <b>Little R. H.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> ) <b>Pasco R. F.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> )
Ingemansson , 2001	Nuklidinventariet i SFR 1	<b>Ingemansson T.</b> ( <i>ALARA Engineering AB</i> )
Klos m.fl., 2002	Granskning av SKB:s konceptuella biosfärsmodell och karakterisering av risk	<b>Klos R.</b> ( <i>Galson Sciences Ltd</i> ) <b>Wilmot R.</b> ( <i>Galson Sciences Ltd</i> )
Lundgren m.fl., 2002	Kol-14 från BWR-reaktorer	<b>Lundgren K.</b> ( <i>ALARA Engineering AB</i> ) <b>Ingemansson T.</b> ( <i>ALARA Engineering AB</i> ) <b>Wikmark G.</b> ( <i>Advanced Nuclear Technology</i> )
Maul m.fl. 2002	Radionuklidberäkningar för SFR 1	<b>Maul P. R.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> ) <b>Robinson P. C.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> )
Savage m.fl., 2000	Fysiska och kemiska egenskaper hos förvaret	<b>Savage D.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> ) <b>Stenhouse M. J.</b> ( <i>Monitor Scientific, LLC</i> ) <b>Benbow S.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> )
Savage m.fl., 2001	Växelverkan mellan bentonit och hyperalkaliska flöden	<b>Savage D.</b> ( <i>Quintessa Ltd</i> ) <b>Noy D.</b> ( <i>British Geological Survey</i> ) <b>Mihara M.</b> ( <i>Japan Nuclear Fuel Cycle Development Institute (JNC)</i> )
Shaw, 2002	Granskning av SKB:s modeller för dosberäkningar	<b>Shaw G.</b> ( <i>Imperial College of Science Technology and Medicine i England</i> )
Smith m.fl., 2002	Kol-14 i SFR 1-inventariet	<b>Smith G.</b> ( <i>Enviros Quantisci</i> ) <b>Merino J.</b> ( <i>Enviros Quantisci</i> ) <b>Kerrigan E.</b> ( <i>Enviros QuantiSci</i> )
Stenhouse m.fl., 2001	Utveckling av Process Influens Diagram	<b>Stenhouse M. J.</b> ( <i>Monitor Scientific, LLC</i> ) <b>Miller W. M.</b> ( <i>QuantiSci Ltd</i> ) <b>Chapman N. A.</b> ( <i>Quintessa Ltd Associate Consultant</i> )
Stenhouse, 2002	Jämförelse mellan SKB:s och SKI:s FEPs	<b>Stenhouse M. J.</b> ( <i>Monitor Scientific, LLC</i> )
Stephansson m.fl. 2003	Bergutfall i bergsal i SFR 1	<b>Stephansson O.</b> ( <i>KTH</i> ) <b>Jing L.</b> ( <i>KTH</i> )
Sundqvist, 2001	Organiskt material, metaller och kemikalier i SFR 1	<b>Sundqvist J. O.</b> ( <i>IVL Svenska Miljöinstitutet AB</i> )
Tirén m.fl. 2002	Alternativa lineamentkartor och strukturmodell för SFR 1 området	<b>Tirén S. A.</b> ( <i>Geosigma AB</i> ) <b>Sträng T.</b> ( <i>Geosigma AB</i> ) <b>Nilsson G.</b> ( <i>Geosigma AB</i> )

## 2 Bakgrund och juridiska förutsättningar

### 2.1 Lagar

År 1982 ansökte Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, om att få anlägga och driva ett slutförvar för låg- och medelaktivt radioaktivt avfall, SFR 1. Till ansökan bifogades en preliminär säkerhetsrapport som granskades av SKI och SSI. Baserat på SKI:s yttrande beviljade regeringen 1983 SKB tillstånd till verksamheten enligt atomenergilagen och tillstånd enligt 136 a § byggnadslagen baserat på yttrande bl.a. från SKI och SSI. Koncessionsnämnden för miljöskydd utfärdade samma år SKB tillstånd och villkor till verksamheten enligt miljöskyddslagen.

De lagar som gällde vid tiden för prövningen av SFR 1, atomenergilagen, byggnadslagen, miljöskyddslagen och 1958 års strålskyddslag har idag ersatts av kärntekniklagen (1984:3), miljöbalken (1998:808) och strålskyddslagen (1988:220). Dessa nya lagar gäller i sin helhet i förhållande till SFR 1.

I kärntekniklagen och strålskyddslagen framgår de allmänna skyldigheter en tillståndshavare har beträffande säkerheten respektive strålskyddet. Med stöd av förordningen (1984:14) om kärnteknisk verksamhet kan SKI meddela närmare villkor och föreskrifter om säkerheten. På motsvarande sätt är SSI enligt strålskyddsförordningen (1988:293) bemyndigad att meddela de närmare villkor och föreskrifter som behövs för strålskyddet. SKI och SSI utövar tillsyn över efterlevnaden av respektive lag och av villkor eller föreskrifter som har meddelats med stöd av dessa lagar. De driftvillkor som myndigheterna angivit för verksamheten vid SFR 1 redovisas nedan.

År 1998 trädde miljöbalken i kraft. Genom den innefattas ”olägenhet för omgivningen genom strålning” i begreppet ”miljöfarlig verksamhet”, vilket innebär att miljöbalken är tillämplig på den verksamhet som bedrivs vid SFR 1. I förordning (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd räknas de anläggningar upp som omfattas av balkens bestämmelser. Anläggning för lagring eller slutförvaring av använt kärnbränsle, kärnavfall eller annat radioaktivt avfall enligt kärntekniklagen eller strålskyddslagen, anges vara sådan verksamhet som ska prövas av miljödomstol.

I 2 kap. miljöbalken finns de s.k. allmänna hänsynsreglerna som gäller för all miljöfarlig verksamhet. Enligt dessa ska en verksamhetsutövare bl.a. utföra de skyddsåtgärder, iaktta de begränsningar och vidta de försiktighetsmått i övrigt som behövs för att förebygga, hindra eller motverka att verksamheten eller åtgärden medför skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön. I samma syfte ska vid yrkesmässig verksamhet s.k. bästa möjliga teknik användas. Dessa försiktighetsmått ska vidtas så snart det finns skäl att anta att en verksamhet eller åtgärd kan medföra skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön.

Reglerna kan läggas direkt till grund för tillsynsmyndigheternas förelägganden eftersom de är rättsligt bindande. Hänsynsreglerna gäller parallellt med annan lag om det inte särskilt anges att de inte ska tillämpas på verksamheten eller åtgärden i fråga. Länsstyrelsen är enligt miljöbalken tillsynsmyndighet för verksamhet med radioaktivt avfall (s.k. A-verksamhet).

Utöver de begränsningar som framgår av tillstånd och villkor gäller de föreskrifter som har meddelats av SKI och SSI. Sedan SFR 1 tillståndsprövades 1983 har vissa äldre föreskrifter reviderats. Det har även tillkommit nya föreskrifter som är tillämpliga på SFR 1. Om de reviderade och/eller nya föreskrifterna innebär mycket stora insatser från SKB bör rimlig tid ges att anpassa verksamheten till dessa.

## 2.2 Tillståndsvillkor

### 2.2.1 Bakgrund

SKB ansökte, som tidigare nämnts, 1982 om tillstånd att få uppföra och driva ett slutförvar för låg- och medelaktivt radioaktivt avfall bl.a. från driften av de svenska kärnkraftverken. I det granskningsyttrande som SKI tillställde regeringen för beslut enligt atomenergilagen angavs ett antal förslag till villkor för verksamheten. De angivna villkoren fastställdes genom regeringens beslut. Ett av dessa villkor var att SKB innan SFR 1 fick tas i drift skulle lämna in en säkerhetsredovisning och driftinstruktioner för godkännande.

Hösten 1987 lämnades denna redovisning in av SKB jämte en ansökan om drifttagning. Våren 1988 medgav SKI och SSI – efter prövning enligt kärntekniklagen respektive strålskyddslagen – att SFR 1 fick tas i drift med vissa begränsningar. Hösten 1989 lämnade SKB in en kompletterande redovisning över de frågor som myndigheterna påtalat. Myndigheterna kunde vid sin granskning konstatera att SKB:s komplettering inte var tillräcklig. En fördjupad säkerhetsredovisning lämnades in hösten 1991. SKI och SSI granskade denna redovisning i en gemensam arbetsgrupp. I maj 1992 meddelade myndigheterna fortsatt drifttillstånd utan tidigare inskränkningar.

I samband med de olika prövningarna har myndigheterna ställt upp ett antal villkor. Således finns villkor som är direkt kopplade till de regeringstillstånd som givits och villkor som har fastställt av myndigheterna i samband med senare granskningar av säkerhetsrapporter för SFR 1.

### 2.2.2 Regeringstillstånd 1983 med tillhörande villkor

De grundläggande ramarna för omfattningen av och innehållet i verksamheten vid SFR 1 framgår av två regeringsbeslut, dels enligt byggnadslagen och dels enligt atomenergilagen. I båda besluten anges att tillstånd lämnas till ett slutförvar i *huvudsaklig överensstämmelse* med SKB:s ansökan. Detta innebär att verksamhetens omfattning och innehåll så som den beskrivs i SKB:s ansökan blir gränssättande för regeringens tillstånd, men med möjlighet till vissa avvikelser som inte avsevärt inverkar på slag och mängder av deponerat material eller i övrigt skulle kunna påverka konsekvenserna av slutförvaret.

Regeringsbeslutet 1983 enligt byggnadslagen 136 a § (1983-06-22, dnr FI 1 999/82) avser tillstånd att *uppföra* anläggningen (jmf ”bygglov”). I beslutet lämnade regeringen SKB tillstånd att uppföra en underjordisk anläggning för slutlig förvaring av låg- och medelaktivt radioaktivt driftavfall.

Det andra regeringsbeslutet avser tillstånd till och villkor för den kärntekniska verksamheten och prövades enligt den då gällande atomenergilagen (1983-06-22, dnr 1034/83). Genom detta beslut fick SKB tillstånd att anlägga, inneha och driva ett slutförvar för låg- och medelaktivt avfall i huvudsaklig överensstämmelse med ansökan. Vidare angav regeringen att för tillståndet ska gälla de villkor som SKI föreslagit. Regeringen syftade därvid på de villkor som SKI ställde upp i beredningen av ärendet inför regeringens beslut (SKI 1983-04-21, dnr A.1.1 361/82). I det följande redovisas de viktigaste villkoren som fastställts av regeringen på detta sätt och som är betydelsefulla för granskningen av SKB:s ”Slutlig säkerhetsrapport för SFR 1, 2001” (SKB, 2001).

### ***Begränsning av avfallsvolym***

Regeringens tillstånd enligt 136 a § byggnadslagen tillät uppförande av ett slutförvar för en avfallsvolym på högst 90 000 m<sup>3</sup>. Enligt ansökan motsvarade detta fullt utbyggda slutförvar tre bergsalar för låg- och medelaktivt sopavfall, ett betongtankförvar med 10-20 tunnlar och ett siloförvar för medelaktivt avfall med fyra silor. Tillståndet enligt byggnadslagen var begränsat till sådana förvarsdelar som byggts t.o.m. 31 december 1988, motsvarande en total avfallsvolym av 63 000 m<sup>3</sup>. För uppförande av en senare etapp (inom ramen för gällande tillstånd enligt atomenergilagen) skulle behövas en förnyad prövning av regeringen. Detta har dock inte blivit aktuellt eftersom mängden producerat avfall visat sig ligga betydligt under de prognoser som låg till grund för ansökan 1982.

### ***Begränsningen av användningen av SFR 1***

Prövningen av SFR 1 1983 omfattade inte en möjlig utbyggnad med nya förvarsdelar eller användning av anläggningen för andra ändamål än slutförvaring av angivna avfallstyper<sup>1</sup>. Utbyggnad eller förändring av användningen av SFR 1 kräver alltså ny tillståndsprövning av regeringen. Detta villkor har också slagits fast i regeringens tillstånd enligt 136 a § byggnadslagen.

### ***Begränsning i aktivitet till 10<sup>16</sup> Bq***

SKI angav också att prövningen av SFR 1 ”omfattar [också] ett totalt aktivitetsinnehåll i förvaret om ca 10<sup>16</sup> Bq inklusive osäkerhetsmarginaler och med den nuklidsammansättning som anges i ansökan, särskilt vad gäller långlivade ämnen. En väsentlig ökning av den ovan angivna omfattningen av förvaret<sup>2</sup> bör enligt inspektionens åsikt leda till en förnyad tillståndsprövning. En tolkning av vad detta innebar vid beslutstillfället och vilka frihetsgrader denna skrivning innebär i nuläget kräver en noggrannare utredning som återfinns i avsnitt 5.3 i denna rapport. Helt klart är att en väsentlig ökning av den angivna omfattningen bör leda till ny tillståndsprövning.

### ***Gasutveckling i Silon***

Konsekvenserna av gasutveckling ska utredas av SKB innan detaljkonstruktionen av Siloförvaret bestäms. Detta villkor kvarstår tills den slutliga utformningen av locket till Silon redovisats inför förslutning.

<sup>1</sup> Låg- och medelaktivt avfall som uppstår vid drift av kärnkraftverken, CLAB och Studsvik samt radioaktivt avfall från sjukhus och forskningsverksamhet.

<sup>2</sup> alltså ej enbart m.h.t. aktivitetsmängder

### ***Gasutveckling i bergsalarna***

SKB måste genom utredningar verifiera att gastransporten i bergsalarna är tillräcklig med hänsyn till gasutvecklingen. Detta villkor gäller fortfarande, framförallt med hänsyn till uppföljning av mängden gasbildande ämnen i slutförvaret och kunskapen om dessa processer.

### ***Begränsning i bitumeningjutet avfall***

Endast begränsade mängder bitumeningjutet avfall får deponeras. Denna fråga blev föremål för särskilda utredningar under 1980-talet och i samband med prövning inför idrifttagningen 1988 (SKI, 1988). Begränsningen är f.n. kopplad till de mängder bitumen som anges per förvarsdel i säkerhetsredovisningen för SFR 1. (Det bör påpekas att det inte är bitumeninnehållet i sig som sätter gränsen utan mängden avfall som behandlats genom injutning i bitumen.)

### **2.2.3 Villkor kopplade till begränsat driftmedgivande**

Nedan redovisas de centrala villkoren som SSI och SKI ställt upp i samband med begränsat driftmedgivandet (1988) för SFR 1, och som är av betydelse för bedömningen av SKB:s Slutlig säkerhetsrapport för SFR 1, 2001. För siloförvaret omfattade driftmedgivandet inte mer än en provdrift med lågaktiva kollin, vilket främst hade att göra med oklarheter rörande degradering av barriärer och utveckling och transport av gas i denna förvarsdel (SKI, 1988) och (SSI, 1988).

### ***Driften av anläggningen***

För driften av anläggningen skall finnas driftinstruktioner och säkerhetstekniska föreskrifter.

### ***Godkännande av avfallet***

Innan deponering av en viss avfallstyp får ske ska medgivande och typgodkännande inhämtas från SSI och SKI.

### ***Förnyad konsekvensanalys var tionde år***

En säkerhets- och omgivningsanalys ska lämnas in till myndigheterna vart 10:e år.

### ***Tillstånd till förslutning av slutförvaret***

Innan förslutning av slutförvaret får ske, ska tillstånd lämnas av regeringen eller myndighet som regeringen bestämmer.

### ***Avfallsregister***

Det avfallsregister som ska finnas för slutförvaret ska förutom nuklidsammansättning, bl.a. innehålla information om var i slutförvaret som varje enskilt kolli inplacerats för att möjliggöra en fortlöpande kontroll om vad som förts till slutförvaret och hur avfallet fördelats mellan förvarsdelarna.



### ***Kontrollprogram***

Kontrollprogrammet skall göra det möjligt att följa de processer som sker i underjordsdelen av SFR 1.

#### **2.2.4 Villkor kopplade till kompletterande driftmedgivande**

I november 1989 inlämnade SKB en kompletterande redovisning (SKB 1989-11-23, dnr 7.41 433/88) i enlighet med myndigheternas villkor från 1988. Denna redovisning underkändes emellertid av myndigheterna i juni 1990 och kompletteringar på ett antal punkter begärdes in (SKI 1990-06-28, dnr 7.41 433/88; SSI 1990-06-29, dnr 833/ad 2250/89). Bland de krav som ställdes på SKB:s redovisning var bl.a.:

- förbättrad analys av tidsförlopp för gasutveckling i Silon
- förbättrad analys av tidsförloppet för landhöjning
- förbättrad scenarioanalys
- analys av sprickbildning och gastransport i Silon
- utredning av komplexbildares inverkan, inklusive från nedbrytningsprodukter av cellulosa.

En förnyad och fördjupad säkerhetsanalys ingavs av SKB 1991. Myndigheterna kunde efter sin granskning besluta om tillstånd till full drift (1992) av hela SFR 1 (SKI 1992-05-20, dnr 7.41 433/88; SSI 1992-05-21, dnr 833/1326/91). Detta tillstånd var dock förknippat med ytterligare villkor, av vilka de två viktigaste återges nedan. (Ett tredje villkor rörde bl.a. kvalitetskontroll av kringgjutning av avfall med betong i Siloförvaret.)

#### ***Begränsning av mängden organiskt material och forskning om cellulosa***

Åtgärder för att begränsa och kontrollera mängden organiskt material i samtliga förvarsdelar skall genomföras så långt som rimligen är möjligt. SKB skulle dessutom redovisa ett forskningsprogram i syfte att öka kunskapen om komplexbildning mellan radioaktiva ämnen och organiskt material i slutförvaret, särskilt nedbrytningsprodukter från cellulosa. Förslag till åtgärds- och forskningsprogram inkom till myndigheterna under 1992. Åtgärdsprogrammet skärptes under 1993 av myndigheterna som då angav riktvärden för tillåtna mängder av organiskt material per slutförvarsdel. SKI och SSI ställde dessutom krav på en årlig rapportering av deponerade och prognostiserade mängder organiskt material. Rapporteringen omfattar f.ö. också mängder och ytor av stålplåt och andra metalliska material som kan ge upphov till gasutveckling genom korrosion. Uppföljningen av denna rapportering kommenteras i avsnitt 5.3 i denna rapport.

#### ***Åtgärder för att bevara information om slutförvaret***

SKB skulle redovisa förslag till åtgärder för att bevara information om slutförvaret i ett långtidsperspektiv till SKI och SSI senast 1993-05-31. Därvid skulle SKB konsultera bl.a. riksarkivet, länsstyrelsen i Uppsala och lantmäteriverket. Se vidare kommentarer om denna fråga i avsnitt 4.4.6 i denna rapport.

## 2.3 Föreskrifter

Utgående från bemyndiganden i förordningarna till kärntekniklagen och strålskyddslagen har SKI respektive SSI sedan SFR 1 togs i bruk ytterligare utvecklat kravbilderna. Detta gäller såväl kravbilderna för den långsiktiga säkerheten och strålskyddet som krav på säkerhet och strålskydd under driften av anläggningen.

Som tidigare nämnts blir tillämpningen av de krav som anges i föreskrifter, som tillkommit efter det att tillstånd till verksamheten redan har meddelats, i vissa fall speciellt jämfört med då kraven tillämpas för en ”ny” verksamhet. Verksamhetsutövaren behöver ges rimlig tid att anpassa verksamheten till de nya kraven. Dessutom kan tillämpningen av kraven i andra fall vara uppenbart orimlig med tanke på att anläggningens lokalisering och grundutformning inte kan förändras.

### 2.3.1 Strålskydd under drift av kärnteknisk anläggning

För personalstrålskydd finns väl förankrade internationella rekommendationer, främst från den internationella strålskyddskommissionen (ICRP, 1990). Inom den Europeiska unionen finns ett bindande regelsystem som återfinns dels i t.ex. EU-förordningar (1996) som gäller direkt i alla medlemsländer, dels i EU-direktiv vilkas sakinhåll måste implementeras i de nationella regelverken.

Utöver allmänna aktsamhetsregler som återfinns i den svenska strålskyddslagen finns särskilda strålskyddskrav på den licensierade, kärntekniska verksamheten som bedrivs vid slutförvaret SFR 1. Regler för personalstrålskydd återfinns i föreskrifter utgivna i SSI:s författningssamling SSI FS. Vissa av dem gäller vid all verksamhet med joniserande strålning, medan andra är specifika för verksamhet med joniserande strålning vid kärntekniska anläggningar. De tillämpliga föreskrifterna redovisas i faktarutan nedan.

#### **SSI:s strålskyddsföreskrifter tillämpliga på kärntekniska verksamheter:**

- Arkivering vid kärntekniska anläggningar, *SSI FS 1997:1*.
- Kategoriindelning av arbetstagare och arbetsställen vid verksamhet med joniserande strålning, *SSI FS 1998:3*.
- Dosgränser vid verksamhet med joniserande strålning, *SSI FS 1998:4*.
- Mätning och rapportering av persondoser, *SSI FS 1998:5*.
- Läkarundersökning för arbete med joniserande strålning, *SSI FS 1998:6*.
- Personstrålskydd i verksamhet med joniserande strålning vid kärntekniska anläggningar, *SSI FS 2000:10*.
- Skydd av människors hälsa och miljön vid utsläpp av radioaktiva ämnen vid vissa kärntekniska anläggningar, *SSI FS 2000:12*.
- Hantering av radioaktivt avfall och kärnavfall vid kärntekniska anläggningar, *SSI FS 2001:1*.

### 2.3.2 Säkerhet under drift av kärnteknisk anläggning

SKI har ställt krav på säkerhetsarbetet vid kärntekniska anläggningar i drift, som framgår av Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerheten i vissa kärntekniska anläggningar (SKI, 1998). För anläggningen skall en samlad analys och bedömning av säkerheten göras (4 kap. 5 §), baserat på de erfarenheter av driften av anläggningen som gjorts under de senaste 10 åren. Denna analys bör omfatta följande områden:

- Belysning av anläggningens konstruktion och skick.
- Aktuella säkerhetsanalyser och hur de utnyttjas i säkerhetsarbetet.
- Anläggningens riktlinjer för att upprätthålla säkerhet, ledning, verksamhetsplanering, säkerhetsprogram och organisation.
- Effektiviteten hos de verksamheter (processer) som har betydelse för säkerheten, exempelvis driftarbetet, förebyggande underhåll, återkommande kontroll, anläggningsändringar, kvalitetssäkring, säkerhetsgranskning, utbildning och kompetensuppföljning, erfarenhetsåterföring, forskning och utveckling och beredskapen för haverier.

Redovisningen av den återkommande säkerhetsgranskningen skall även innehålla en sammanfattning med slutsatser om säkerheten i anläggningen och de åtgärder som säkerhetsgranskningen föranleder.

Ovanstående generella områden behöver specificeras för den enskilda anläggningen. I fallet med SFR 1 bör t.ex. belysas frågor som har med deponering av avfallskollin att göra, liksom hur resultaten av analysen av den långsiktiga säkerheten implementerats i det operativa arbetet.

Det avfall som produceras vid de kärntekniska anläggningarna skall uppfylla krav inte bara med hänsyn till produktionsanläggningens säkerhet utan också med hänsyn till kommande hantering, t.ex. i SFR 1. Dessa krav framgår av säkerhetsrapporten för SFR 1. För att säkerställa en ömsesidig anpassning mellan avfallsproducent och SFR 1 har SKI dessutom beslutat att typbeskrivningarna för de olika typerna av avfallskollin skall ingå som en del av säkerhetsredovisningen för både produktionsanläggning och slutförvar.

### 2.3.3 Strålskyddskrav för slutförvaring av kärnavfall

SSI:s krav på slutförvar finns formulerade i ”Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall” (SSI, 1998 och SSI, 1999). Föreskrifterna trädde i kraft 1999-02-01. De omfattar inte bara tiden efter förslutning av ett slutförvar utan också övriga steg i avfallshanteringen som företas inför slutförvaringen (behandling, mellanlagring, transport).

Kraven som ställs i SSI FS 1998:1 är kortfattat:

#### ***Helhetsyn***

Människors hälsa och miljön skall skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning, dels under den tid då de olika stegen i det slutliga omhändertagandet av använt kärn-

bränsle och kärnavfall genomförs, dels i framtiden. Gränsöverskridande effekter skall inte överskrida de som accepteras inom Sveriges gränser (3 §).

### ***Optimering och BAT***

Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall skall optimering ske och hänsyn tas till bästa möjliga teknik (4 §). Optimering innebär att stråldoserna till människor begränsas så långt detta rimligen kan göras med hänsyn tagen till både ekonomiska och samhällseliga faktorer.

### ***Hälsoskydd***

Ett slutförvar för använt kärnbränsle eller kärnavfall skall utformas så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst  $10^{-6}$  för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken (5 §).

### ***Miljöskydd***

Slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall skall genomföras så att biologisk mångfald och hållbart nyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig verkan av joniserande strålning (6 §).

### ***Intrång och tillträde***

Ett slutförvar skall främst utformas med hänsyn till dess skyddsförmåga. Om åtgärder vidtas för att underlätta tillträde eller försvåra intrång skall effekterna på slutförvarets skyddsförmåga redovisas (8 §). Konsekvenserna av ett intrång i slutförvaret skall redovisas (9 §).

### ***Tidsperioder***

En bedömning av ett slutförvars skyddsförmåga skall redovisas:

- För de första tusen åren efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på kvantitativa analyser av effekterna på människors hälsa och miljön (11 §)
- För tiden efter tusen år efter förslutning skall bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på olika tänkbara förlopp för utvecklingen av slutförvarets egenskaper, dess omgivning och biosfären (12 §).

## **2.3.4 Säkerhetskrav för slutförvaring av kärnavfall**

I augusti 1998 fastställdes SKI:s föreskrifter om säkerhet vid vissa kärntekniska anläggningar (SKI, 1998), och de trädde i kraft 1 juli 1999. Dessa föreskrifter gäller även för uppbyggnad, drift och förslutning av slutförvar. De är dock fokuserade på säkerheten under drift och behöver därför kompletteras med hänsyn till bestämmelser om den långsiktiga säkerheten efter förslutning. De kompletterande föreskrifterna om slutförvaring, anpassade till SKIFS 1998:1, återfinns i Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall (SKI, 2002), vilka trädde i kraft 1 april 2002.

Kraven som ställs i föreskrifterna är kortfattat:

### ***Krav på barriärer, konstruktion och utförande***

Säkerheten skall uppnås genom ett system av passiva barriärer. Som barriärer räknas tekniska (tillverkade) barriärer och den naturliga barriär som berget utgör. Varje sådan fysisk barriär, t.ex. en betongvägg, kan i sin tur ha en eller flera funktioner i slutförvaret (2 §).

De krav som ställs med hänsyn till konstruktion och utförande är att barriärsystemet skall ha tålighet mot sådana förhållanden, händelser och processer som kan påverka dess funktion (5 §).

En enstaka brist i en av barriärfunktionerna får inte påtagligt försämra slutförvarets säkerhet (7 §).

### ***Tidsaspekter***

Säkerhetsanalysen skall omfatta så lång tid som barriärfunktioner är nödvändiga, dock minst tiotusen år (10 §).

### ***Bästa möjliga teknik, intrång och återtag***

Föreskrifterna innehåller vidare bestämmelser som överensstämmer med SSI:s krav på att slutförvaret skall konstrueras och utföras med hänsyn till bästa möjliga teknik, samt kravet på redovisning av inverkan från åtgärder som (eventuellt) vidtas för att underlätta övervakning och återtagning eller försvåra intrång i slutförvaret (8 §).

### ***Krav på säkerhetsanalysen***

Föreskrifterna ställer krav på dokumentation av säkerhetsanalysen och särskilt på att den skall innehålla information om följande (Bilaga 1):

- Redovisning av hur en eller flera metoder använts för att beskriva det passiva systemet av barriärer i slutförvaret, dess funktion och utveckling med tiden. Metoden eller metoderna skall medverka till att ge en klar bild av de förhållanden, händelser och processer som kan påverka barriärernas funktioner samt de inbördes kopplingarna mellan dessa förhållanden, händelser och processer.
- Redovisning av hur en eller flera metoder använts för att identifiera och beskriva relevanta scenarier för händelseförlopp och förhållanden som kan påverka den framtida utvecklingen av slutförvaret.
- Bland scenarierna skall finnas ett huvudscenario som tar hänsyn till de mest troliga förändringarna i slutförvaret och dess omgivning.
- Redovisning av hur osäkerheter i barriärsystemets funktioner, scenarier, beräkningsmodeller och beräkningsparametrar samt variationer i barriärernas egenskaper hanterats i säkerhetsanalysen, inklusive redovisning av en känslighetsanalys som visar hur osäkerheterna inverkar på beskrivningen av barriärernas utveckling och analysen av konsekvenserna för människors hälsa och miljön.
- Redovisning av utvecklingen i biosfär, geosfär och slutförvar för utvalda scenarier.

- Redovisning av slutförvarets omgivningspåverkan för valda scenarier med hänsyn till tänkbara felfunktioner hos tekniska barriärer och övriga identifierade osäkerheter.

## 2.4 Tillämpning av regelverk och bedömningsgrunder

Som redan nämnts i inledningen är syftet med denna granskning av SSR 2001 för SFR 1, att utgöra underlag för bedömning av om gällande krav på säkerhet och strålskydd är uppfyllda för SFR 1. Denna bedömning avser både förhållandena under drift av slutförvaret och under tiden efter förslutning. I det förra fallet kan bedömningen grundas på inträffade händelser och eventuellt konstaterade brister. I det senare fallet måste bedömningen ske utifrån beräkningar av slutförvarets funktion för olika scenarier. De krav som ställs är i båda fallen dels materiella och dels immateriella. Materiella krav avser de faktiska egenskaperna hos anläggningen och driften av denna. De immateriella kraven avser bl.a. dokumentation av säkerhet och strålskydd, t.ex. innehållet i en säkerhetsrapport. I princip skulle alltså krav på säkerhet och strålskydd kunna vara tillgodosedda utan att detta dokumenterats på ett bra sätt. Myndigheternas föreskrifter ställer dock särskilda krav på just innehållet i säkerhetsrapporter. Anledningen är att det är tillståndshavarens ansvar att kunna visa att kraven är uppfyllda. Myndigheterna får inte ta på sig ansvar genom att acceptera en otillräcklig dokumentation av säkerheten. Detta gäller även om det skulle vara möjligt för myndigheterna att med egna insatser i samband med granskningen komplettera information, modeller eller beräkningar.

Föreliggande granskning är den första av ett slutförvar i drift. Det kan därför uppkomma en rad frågor av juridisk natur som det ligger utanför ramen av själva granskningen att ta ställning till. Detta bör i stället ske i samband med de beslut som myndigheterna kommer att fatta med anledning av vad som framkommit vid granskningen. Exempel på sådana frågor är följande:

- Det behöver prövas hur mycket de förutsättningar som angivits i den ursprungliga ansökan om att få bygga en anläggning kan ändras inom ramen för det ursprungliga regeringstillståndet. Ett exempel på detta är innehållet av radioaktiva ämnen totalt och per förvarsdel. Just denna fråga är av central betydelse för den fortsatta driften av slutförvaret och den behandlas därför separat i avsnitt 5.3. Villkor som myndigheterna ställt i samband med tillståndet att ta anläggningen i drift kan dock alltid omprövas av myndigheterna själva.
- Tillämpningen av de nya föreskrifterna för strålskydd och säkerhet måste prövas. Det är myndigheternas bestämda uppfattning att nytillkomna föreskrifter så långt som det är rimligt och möjligt också måste tillämpas för äldre anläggningar. Även om föreskrifterna tillkommit efter att anläggningen tagits i drift är de giltiga såvida inte särskilda undantag utfärdas för SFR 1.
- Det behöver också prövas vilka åtgärder som kan begäras om vissa krav inte visas vara uppfyllda, liksom hur lång tid som tillståndshavaren kan få på sig att vidta dessa åtgärder.

## 3 SFR 1:s konstruktion

### 3.1 Beskrivning av anläggningen

#### 3.1.1 Översiktlig beskrivning

Redogörelsen nedan är en sammanfattning av den beskrivning av anläggningens uppbyggnad och funktion som presenteras av SKB i avsnitt 2.2.2 i SSR 2001 för SFR 1.

#### *Utformning*

SFR 1 är konstruerat för att ta emot och slutligt förvara radioaktivt driftavfall från de svenska kärnkraftverken, CLAB och Studsvik. De olika förvarsdelarna är utformade och konstruerade med hänsyn till egenskaperna hos de olika aktuella typerna av avfall som avses slutförvaras i anläggningen.

Silon utgör det mest kvalificerade förvaringsutrymmet och kommer att innehålla huvuddelen av all aktivitet som tillförs SFR 1. Förvarsutrymmet består av ett cylindriskt berg-  
rum i vilken en fristående cylindrisk betongcylinder uppförts med en förvarsvolym på ca 18 500 m<sup>3</sup>. Mellan Silovägg och berg finns en i genomsnitt 1,2 meter tjock bentonitfyllning och Silon står på ett 1,5 meter tjockt lager av sand/bentonit. Betongcylindern är 53 meter hög, 27,5 meter i diameter och indelad i vertikala schakt för att möjliggöra en ordnad inlagring av avfallskollin som successivt gjuts in med ingjutningsbruk. Inlastning av avfallskollin och kringgjutning med betong sker helt fjärrstyrt.

Bergsalen för medelaktivt avfall (BMA) utgörs av ett bergtrum som är 160 meter långt, 19,5 meter brett och 16,5 meter högt. Förvaringsutrymmet är indelat med betongväggar i 13 stora och två små fack med en total förvarsvolym på ca 13 500 m<sup>3</sup>. Efterhand som facken fylls täcks dessa med betongplank som övergijts med ett betongskikt. Mellanrummet mellan betongväggarna och berget avses att fyllas med sand, vilket också är möjligt att göra i utrymmet mellan betongövergjutning och bergtak. Hantering av avfallskollin sker fjärrstyrt med traverser.

Betongtankförvaren (1BTF och 2BTF) utgörs av öppna bergsalar av 160 meters längd, 14,8 meters bredd, 9,5 meters höjd med en total förvarsvolym per förvarsdel om ca 8 000 m<sup>3</sup>. Bergsalarna har betonggolv och mellanrummet mellan betongtankar och berg planeras att fyllas med betong med undantag för ett dräneringsskikt mot berget. Inlastning av avfallskollin utförs med strålskärmad gaffeltruck. Möjlighet finns att vid förslutning återfylla utrymmet ovanför avfallskollina.

Bergsalen för lågaktivt avfall (BLA) utgörs av ett bergtrum som är 160 meter långt, 15 meter brett och 12,5 meter högt med en förvarsvolym om 11 500 m<sup>3</sup>. Bergsalen har betonggolv och inlastning av avfallskollin utförs med strålskärmad gaffeltruck. Ingen kringgjutning är planerad men det är i princip möjligt att återfylla utrymmet mellan avfallskollin och berg.

### 3.1.2 Strålskydd i anläggningen

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 2.2.4 i SSR 2001.

#### ***SKB:s redovisning***

Eftersom inga öppna strålkällor hanteras i SFR 1 och allt radioaktivt avfall är konditionerat är det extern bestrålning (bestrålning från strålkällor som finns utanför kroppen) som leder till personalens yrkesdoser. Kontamination på transportbehållare och avfallskollin har aldrig förekommit i sådan omfattning att något dosbidrag från luftburen aktivitet uppmätts.

I berganläggningen finns däremot den naturliga radionukliden radon-222. I samband med konstruktionen av slutförvaret anpassades ventilationen till de regler som finns från Arbetsmiljöverket (dåvarande Arbetarskyddsstyrelsen) avseende radonhalt i berganläggningar. I den slutliga säkerhetsrapport som utarbetades i samband med drifttagandet utförde SKB luftflödesberäkningar och styrande för dimensioneringen av ventilationen var inte radonhalten utan snarare möjligheten till bortvädring av dieselavgaser, rök- och brandgaser. SSI har mätt upp radonhalter i intervallet 30 - 290 Bq/m<sup>3</sup>, vilket motsvarar nivåer som kan förekomma i bostäder. Den från strålskyddssynpunkt intressanta radon-dotterhalten utgör endast högst 50 % av detta värde.

Vid några studerade olycksscenarier kan frigörelse av radioaktiva ämnen förekomma (t.ex. vid brand i lagrat avfall eller vid fallskador eller andra mekaniska skador på avfallsbehållare). De doser som de studerade olycksscenarierna skulle kunna leda till är dock, från personalstrålskyddssynpunkt, hanterbara inom det befintliga systemet. Förberedelser har gjorts för att undvika spridning av kontamination och för att säkerställa nödvändig ventilation (SStr, 2002). Detta innefattar upprättande av skogränser och användning av skyddsoveraller, styrning av in- och utpassering från berört område, drifttagning av grov- och finmonitorer och avsökning av utrustning, fordon, verktyg m.m. som funnits på det kontaminerade området. Berört förvarsdel isoleras ventilationsmässigt så att aktivitet ej förflyttas till andra delar av anläggningen.

Klassningen av utrymmen följer annars de allmänna strålskyddsinstruktionerna vid Forsmarksverket (FStr, 2001) och redovisas för SFR 1 i specifika strålskyddsinstruktioner (SStr, 2002). Vid arbete i s.k. gult eller rött område används, utöver termoluminiscensdosimeter (TLD), elektronisk larmande dosmätare.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen gör bedömningen att SFR 1 är konstruerat på ett sådant sätt att alla personalstråldoser, vid normal drift, underhåll och service såväl som vid förutsebara incidenter och olyckor, är lägre eller i nivå med de värden som anses acceptabla planeringsvärden vid drift av kärntekniska anläggningar.

Vid sin tidigare granskning (Bergman m.fl., 1988) har SSI ansett att strålskyddsdimensionering och radiologisk miljö varit utformat på ett sådant sätt att det inte funnit någon anledning att komma med invändningar. Valet av fjärrmanövrering av avfallshantering i Silo och BMA samt truckhantering av avfall i BTF och BLA ansågs vara ett



från strålskyddssynpunkt fördelaktigt sätt att lösa hanteringen. Konservativa antaganden har gjorts vid dimensionering av skärnings- och skyddsanordningar.

Vid den förnyade granskning som nu utförs har inget nytt framkommit som ger anledning för SSI att ompröva de tidigare ståndpunkterna avseende personalstrålskyddet – speciellt med tanke på det låga dosutfallet och de goda drifterfarenheter som föreligger.

### **3.2 Konstruktions- och dimensioneringsförutsättningar**

I detta avsnitt kommenteras avsnitten 2.2.3 och 2.3 i SSR 2001. SKB:s rapportering anger vilka förutsättningar och grundläggande principiella ställningstaganden som legat till grund för utformningen av anläggningen.

#### ***SKB:s redovisning***

Bergrummen har projekterats med hänsyn till personsäkerhet under driftskedet och dimensioner har valts som erfarenhetsmässigt ger god bärighet och stabilitet. Där så bedömts erforderligt har berget förstärkts med bultning och sprutbetong.

Utöver krav för driftskedet har tilläggskrav ställts på projekteringen av anläggningen med hänsyn till förvaringskedet. Speciella kvalitetskrav med tillhörande kontroll har tillämpats på bergarbeten och de betongkonstruktioner som har ett funktionskrav i slutförvarets barriärsystem med krav på goda långtidsegenskaper.

Hanteringssystemen är generellt utformade så att manuell betjäning inte är nödvändig inom områden med begränsad tillträddbarhet, att missöden kan hanteras på ett kontrollerat sätt, och att säkerheten hos en teknisk funktion inte ska vara beroende av en avbrottsfri elkraftförsörjning.

Ventilationssystemet kan användas för att isolera förvardsdelen vid missöde som gett luftburen aktivitet, och för att evakuera rökgaser vid brand.

Elkraftförsörjning baseras på matning från Forsmarks kraftstation och är uppdelad i två försörjningsvägar. Centrala kontroll-, övervaknings-, nödbelysnings-, alarm- och kommunikationssystem matas från ett batterisäktrat nät.

Bergdränage samlas i två bassänger. Den övre bassängen, på huvudnivån för bergsalarna, bräddar till den nedre vid Siloförvarets botten, varför en översvämning på slutförvarets huvudnivå i praktiken inte anses kunna inträffa.

Brandförsvaret är utformat med beaktande av Svensk Byggnorm 80 (SBN, 1980) och arbetarskyddsstyrelsens anvisningar för berganläggningar (ABS, 1974). De tekniska skyddsfunktionerna utgör en väsentlig del i brandförsvaret och utgörs av brandvattenförsörjning, sprinklerfunktion, branddetektering och brandventilation.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att de grundläggande krav och principer som använts för dimensionering och utformning av anläggningen har visat sig rimliga, både vad gäller berg- och betongarbeten samt försörjnings- och servicefunktioner.

Utvecklingen vad gäller analysmetoder och förståelse av berget i sig, samt metoder och material för bergförstärkningar och betongbyggande har utvecklats sedan SFR 1 uppfördes. Granskningsgruppen anser att redovisningen borde ha innefattat en utvärdering mot i dag gällande normer.

Granskningsgruppen anser vidare att en utvärdering av de speciella kvalitetskrav (se avsnitt 2.3.5 i SSR 2001) som tillämpades för berg- och betongarbeten med avseende på goda långtidsegenskaper borde ha redovisats.

## **3.3 Förslutningsåtgärder**

### ***SKB:s redovisning***

SKB beskriver i ”principiella termer” planerade förslutningsåtgärder för de olika bergsalarna (sidan 4.1-2 i SSR 2001). Vissa åtgärder genomförs under driftperioden, så som t.ex. kringgjutning av avfallskollin i Silon. För BTF planerar SKB att kringgjuta avfallskollina i samband med förslutning. För BMA är frågan om förslutning inte slutligt bestämd. I övrigt är de mest väsentliga åtgärderna vid förslutning återfyllnad av bergutrymmen (förutom BLA) och gjutning av betongpluggar. SKB anser att en slutlig planering av pluggar först kan göras när den totala omfattningen av SFR 1 är känd.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att det är en brist att SKB:s redovisning lämnar väsentliga frågor avseende förslutningsåtgärder obesvarade. Detta försvårar analysen av långtidsfunktionen och medför att alla avvägningar mellan olika krav på långtidsfunktionen inte kan genomföras fullt ut. Ett exempel är att behovet av förslutningsåtgärder för BLA vilket specifikt lyfts fram för att förhindra uppluckring av berget mellan BLA och BMA (avsnitt 5.5.7 i SSR 2001), medan det på annan plats i redovisningen framgår att inga förslutningsåtgärder anses nödvändiga för denna förvarsdela. Ett annat exempel är frågan om kringgjutning i BMA där Pettersson och Elert (2001) anser att kringgjutning inte bör ske i BMA, eftersom tillräckligt tomrum krävs för svällningen av bitumen. Beskrivningen i SSR 2001 tolkas dock som om SKB inte tagit ställning i denna fråga. Ett tredje exempel är fallet degraderade pluggar, som inte anses meningsfullt att analysera med tanke på att utformningen inte är bestämd. Materialval vad gäller återfyllnad (sand eller grus) och pluggar (betong med eller utan bentonittätning) har ej heller närmare specificerats.

Granskningsgruppen har förståelse för att det måste finnas möjlighet att modifiera en plan för förslutningsåtgärder beroende på den detaljerade utformningen av en utbyggnad av SFR 1. Däremot är den framtida utbyggnaden inget skäl att undvika att ta ställning till en detaljerad plan för förslutning av befintliga förvarsdela. Förslutning av framtida förvarsdela borde kunna baseras på de förhållandevis detaljerade planerna att bygga ut SFR 1 (se avsnitt 3.4 i denna rapport). Granskningsgruppen anser att förslutnings-

åtgärderna borde utredas vidare och beskrivas med större detaljeringsgrad. För åtminstone ett förslutningsalternativ måste det visas att alla relevanta krav går att uppfylla. Dessa åtgärder har en väsentlig påverkan på hur hela anläggningen avser att fungera efter förslutning (se kapitel 6 under rubriken "Förslutningsåtgärder" i denna rapport).

### **3.4 Framtida utbyggnad**

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 2.4 i SSR 2001, som utgör en beskrivning av framtida utbyggnad av SFR 1 och andra slutförvarsanläggningar.

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar att grunden för dimensionering av anläggningen utgjordes av förväntad avfallsproduktion till och med år 2010, motsvarande en volym om ca 90 000 m<sup>3</sup>, men att osäkerheter i prognoserna medförde att det beslutades att bygga ut anläggningen i två etapper. Den första delen (etapp 1) dimensionerades för ett behov av 63 000 m<sup>3</sup> avfall. Verkligen mängd avfall som producerats är betydligt mindre än ursprungliga prognoser varför det inte bedöms föreligga något behov av utbyggnad för det rutinmässigt uppkomna avfallet.

SKB beskriver tänkta alternativ för en utbyggnad av SFR 1 med etapp 2, samt de planerade förvarsutrymmena SFR 2, SFR 3 och SFL 3-5. Dessa tillbyggnader (förutom SFL 3-5) beskrevs i den preliminära säkerhetsrapporten, som låg till grund för den ursprungliga ansökan. Det tänkta SFR 2, är enligt SKB ersatt av SFL 5.

#### *SFR 1, etapp 2*

I förvarsutrymmena som ingår i etapp 1 har t.o.m. år 2000 endast 27 500 m<sup>3</sup> avfall deponerats, jämfört med ursprungligen prognostiserade 52 000 m<sup>3</sup> avfall. SKB bedömer sålunda att det befintliga SFR 1 slutförvaret kommer räcka för framtida driftsavfall, även om kärnkraftverkens drifttid utökas till 40 år. Ytterligare någon bergsal kan dock krävas för att ta hand om stora, udda komponenter.

#### *SFR 3*

SFR 3 är avsett för låg- och medelaktivt rivningsavfall från kärnkraftverken. Den totala avfallsvolymen uppskattar SKB till 170 000 m<sup>3</sup>. Avsikten är att lokalisera detta slutförvar invid SFR 1.

#### *SFL 3-5*

SFL 3-5 planeras för bl. a. hårdkomponenter och annat långlivat avfall. Ett totalt volymbehov av mellan 10 000 m<sup>3</sup> och 20 000 m<sup>3</sup> är beräknat. Enligt långtidsplanerna ska anläggningen tas i drift 2045. Lokaliseringen är ännu inte bestämd.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att SKB inför ansökan om uppförande av SFR 3 bör dokumentera hur man tagit hänsyn till erfarenheterna av uppförande och drift av SFR 1 och hur dessa påverkat följande aspekter av SFR 3:

- Forskning och utveckling.
- Projektering och konstruktion.
- Byggfasen.
- Driftfasen.
- Plan för förslutning.
- Redovisning av långsiktig säkerhet.

Det är naturligtvis även av betydelse att det framgår att relevanta kommentarer från granskningsgruppens granskning av SSR 2001 och tidigare säkerhetsanalyser beaktas.

I och med att SFR 3 planeras att lokaliseras i direkt anslutning till SFR 1 (med samma tillfartstunnel) är de att betraktas som delar av samma slutförvar. Granskningsgruppen anser att kravuppfyllelse för SFR 3 inte kan bedömas separat. SFR 1 och SFR 3 kommer därför att bedömas som en enhet. T.ex. kommer SSI:s riskbegränsningsmål att tillämpas på båda slutförvaren tillsammans, inte var för sig, på samma sätt som en utbyggnad av SFR 1 skulle bedömas.

Samlokalisering av SFR 1 och SFR 3 innebär också att alla former av inbördes påverkan mellan förvarsdelarna måste beaktas (hydrologisk, kemisk, mekanisk). I praktiken bör detta innebära en gemensam säkerhetsredovisning och en gemensam säkerhetsanalys för de båda slutförvaren.

Även inför ansökan om uppförande av ytterligare bergsalar inom SFR 1 krävs en analys av påverkan mellan befintliga och tillkommande förvarsdelar samt dokumentation av erfarenhetsåterföringen från befintliga SFR 1. Förekomsten av ytterligare en silo inom etapp 2 av SFR 1 på det bifogade ritningsunderlaget utgör en oklarhet, men granskningsgruppen förutsätter att det är texten som gäller och att utbyggnad av siloförvaret inte längre är aktuellt.

Den förmodligen sista anläggningen som kommer vara i drift inom det svenska systemet för omhändertagande av kärnkraftens avfall är SFL 3-5. Om detta slutförvar skulle samlokaliseras med SFR 1 återstår att ta ställning till om detta är att beakta som separat enhet eller ej. Enligt granskningsgruppens uppfattning beror det på om det är möjligt att visa att det för SFL 3-5 (på betydligt större djup) skulle vara frågan om en väsentligt annorlunda grupp av potentiellt exponerade individer, antingen geografiskt eller tidsmässigt.

Granskningsgruppen anser att SKB i enlighet med tidigare FUD-program bör upprätthålla tillräckligt forsknings- och utvecklingsarbete även om lokaliserings- och byggnadsfasen senarelagts. Inte minst bör utformning och säkerhetskoncept för SFL 3-5 utredas (SKI och SSI, 2001), så att det finns ett väl genomarbetat underlag framme till SKB:s nästa planerade säkerhetsanalys av dessa slutförvar år 2010.

## 4 SFR 1:s drift

De bedömningar som granskningsgruppen gör i detta kapitel skall ses mot bakgrunden av att redovisningen i en SSR inte nödvändigtvis inkluderar redovisningen av erfarenheter från drift av anläggningen (ASAR<sup>3</sup>).

### 4.1 Organisation

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 3.1 i SSR 2001 (SKB:s Slutlig säkerhetsrapport 2001 för SFR 1), där SKB redovisar ansvars- och arbetsfördelningen mellan SKB och Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA) samt slutförvarets driftorganisation.

#### *SKB:s redovisning*

SKB har som tillståndshavare det övergripande ansvaret för att SFR 1. FKA sköter driften av anläggningen inom ramen för FKA:s och SKB:s kvalitetssystem. Producenten av avfallet svarar för att de krav som ställs i typbeskrivningen för avfallet är uppfyllda. SKB ansvarar för att deponerat avfall från avfallsproducenterna uppfyller ställda krav utifrån långtidssäkerhet. FKA kontrollerar ett fåtal avfallsparametrar före deponering.

Driftorganisationen är uppbyggd på ett likartat sätt som för övriga FKA med en driftchef som ansvarar för anläggningen och för att myndighetsföreskrifter liksom interna regler efterlevs. Verksamheten är uppdelad på tre enheter: drift, administration och underhåll.

#### *Granskningsgruppens bedömning*

Beskrivningen av driftorganisationen är redovisad på ett bra sätt. SKB:s regelbundna närvaro vid anläggningen framgår dock inte av redovisningen. Det saknas en systematisk redovisning av de erfarenheter som SKB (FKA) gjort sedan drifttagningen av SFR 1-anläggningen. Detta är en brist i förhållande till kraven enligt SKI:s föreskrifter (SKI, 1998).

### 4.2 Driften av SFR 1

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 3.2 i SSR 2001 för SFR 1, som tar upp hanterings-säkerheten vid anläggningen.

#### *SKB:s redovisning*

En förutsättning för säker hantering och deponering av avfall vid anläggningen är att driften utförs enligt förväntade och analyserade funktionssätt. Den säkerhetstekniska driftförutsättningen (STF) fastställer ramar för en säker hantering av det radioaktiva avfallet. Denna består bland annat av allmänna begränsningar, med kopplade villkor, samt intervall för återkommande provning.

---

<sup>3</sup> För en reaktor-anläggning finns ett krav på att en återkommande säkerhetsgranskning skall genomföras. Tillståndshavarnas rapport benämns ASAR (As operated Safety Analysis Report).

Drifthandboken är ett hjälpmedel för efterlevnad av de säkerhetstekniska driftförutsättningarna, och utgör ett operativt stöd för verksamheten vid SFR 1. SKB beskriver bl.a. hur organisationen vid SFR 1 är uppbyggd efter det driftavtal som finns mellan FKA och SKB.

Transporterna av avfallet till SFR 1 styrs av ett transportprogram som utarbetas för ett år i taget. Hänsyn tas därvid till avfallsproduktion och avfallsmängder i lager vid kärnkraftverken och Studsvik. Logistiken är också beroende av att typbeskrivningar för nytt avfall blir godkända före transport. Avfallsdata hanteras i en databas kallad TRIUMF där information om transport och ingående kollis egenskaper finns registrerat. Avfallsdata kontrolleras av SKB före transport till SFR 1. Olika typer av avfall samt transportbehållare finns redovisade i en transporthandbok.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

De säkerhetstekniska driftförutsättningarna (STF) utgör ett stöd för drift av samtliga kärntekniska anläggningar. Det finns betydande erfarenheter hos driftpersonalen att arbeta efter STF, då personalen tidigare arbetat på andra ställen inom FKA med STF-relaterade frågor. Driften av SFR 1 följer de rutiner som tillämpas inom övriga FKA och som myndigheterna fortlöpande följer i sin tillsyn. Det saknas en sammanfattande bedömning av de erfarenheter som gjorts av att arbeta med STF för SFR 1.

Vid granskningen av drifthandboken har granskningsgruppen funnit vissa felaktigheter, dels vad gäller hänvisningar till avfallsdatabasen (hänvisning till äldre databas görs i kapitel 3 i drifthandboken) dels vad gäller rutinerna för genomförandet av anläggningsändringar (information om detta saknas i kapitel 5 i drifthandboken).

Styrningen av deponeringen i SFR 1 sker via avfallsdatabasen (TRIUMF). Granskningsgruppen anser därför att avfallsdatabasen bör ingå i STF så att t.ex. avvikelser vid databashantering sker på samma sätt som övriga avvikelser i verksamhet inom SFR 1.

## **4.3 Kvalitetsstyrning och kontroll**

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 3.3 och kapitel 9-13 i SSR 2001 för SFR 1 med avseende på kvalitetsstyrning och kontroll samt typbeskrivningar.

### ***SKB:s redovisning***

Kvalitetssäkringsprogrammet för FKA gäller för verksamheten vid SFR 1. Syftet med kvalitetssäkringsprogrammet för radioaktivt driftavfall är att kunna fastställa att avfallet vid tillverkningen givits en form som är lämplig med hänsyn till tilltänkt hantering, transport, deponering och slutförvaring. Dessutom skall egenskaperna på avfallet vara utformade på sådant sätt att doser till personalen minimeras vid avfallshantering.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Avsnittet åskådliggör inte tillräckligt tydligt det samband som bör föreligga mellan kvalitetssystemen hos SKB och respektive avfallsproducent. Det framgår inte tydligt av redovisningen hur SKB beaktar kopplingen mellan de olika kvalitetssystemen vid framtagandet av typbeskrivningar.

## 4.4 Uppföljning under driftskedet

### 4.4.1 Kontrollprogram för driftperioden

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 3.4.1 i SSR 2001 för SFR 1.

#### *SKB:s redovisning*

Under driftskedet genomförs ett kontrollprogram i underjordsdelen med syfte att ge underlag för beslut om förslutningsåtgärder samt för de uppdateringar av säkerhetsanalysen som ska genomföras vart 10:e år. Kontrollprogrammet omfattar mätningar och provtagningar avseende bergkontroll, grundvattenkemi, grundvattentryck samt Silosättning och tryck i bentonitfyllningen runt Silon. Resultaten redovisas årligen sista mars till SKI. Sedan anläggningen togs i drift har resultaten från kontrollprogrammet visat på stabila värden, t.ex. inläckande grundvatten har stabiliserats på en nivå av 24-28 m<sup>3</sup>/h. SKB pekar även på att parallellt med den platsanknutna kontrollverksamheten tar man för SFR 1 även vara på tillämpliga och värdefulla erfarenheter från SKB:s övriga verksamheter t.ex. forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprogrammen (FUD). Denna information utgör enligt SKB ytterligare underlag för säkerhetsbedömningar av SFR 1.

#### *Granskningsgruppens bedömning*

Myndigheterna följer de årsvisa redovisningarna av kontrollprogrammet och kan konstatera att resultaten hittills visat på stabila värden. Observerade förändringar ligger inom den förväntade utvecklingen för ett öppet torrpumpat slutförvar. Kontrollprogrammet har i vissa smärre punkter justerats under årens lopp, främst p.g.a. att mätpunkter tagits bort eller att vissa mätningar inte givit förväntade data som kan vara av betydelse för analysen av SFR 1:s funktion eller för en god förståelse av platsegenskaperna.

Granskningsgruppen anser att det borde framgått bättre av redovisningen i SSR 2001, vilken betydelse data från kontrollprogrammet haft för säkerhetsanalysen och bedömningen av förvarets långsiktiga säkerhet. Granskningsgruppen anser också att SKB bör göra en utvärdering av om det befintliga kontrollprogrammet är adekvat och tillräckligt med utgångspunkt från erfarenheterna i den uppdaterade säkerhetsanalysen.

### 4.4.2 Missödes- och konsekvensanalys

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 3.4.2 i SSR 2001 för SFR 1.

#### *SKB:s redovisning*

Vid byggnation av SFR 1 har konstruktion av bergssalar, förvaringsutrymmen, transportvägar, ventilationssystem m.m. utformats så att konsekvenserna vid olika incidenter och olyckor kan hanteras. En förnyad säkerhetsredovisning för SFR 1 avseende risken vid störningar har nyligen utförts (Gustafsson m.fl., 2000). Avseende strålskyddsaspekter stöder sig dock analysen på de antaganden, beräkningar och analyser som gjorts i tidigare studier (Bjälvenlid, 1987; Appelgren, 1987).

De händelser som från säkerhets- och strålskyddssynpunkt är mest intressanta att analysera är olika störningar i samband med transporter eller vid deponering av avfallskollin med höga dosrater samt bränder i transportfordon och/eller avfall. I syfte att

lindra eller motverka konsekvenserna vid inträffade händelser har säkerhetsanalyser gjorts för de tekniska och administrativa områdena.

Sedan SFR 1 togs i drift har en del ändringar gjorts i brandövervakningssystemet. Alla brandlarmscentraler har bytts ut till en modernare och för anläggningen anpassad brandlarmscentral (BS-100 centraler).

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen bedömer att föreliggande säkerhetsrapport tillsammans med uppdateringen av missödesanalysen (Gustafsson, m.fl. 2000) inte tillför något avgörande nytt jämfört med tidigare analyser. Vid granskningen har inget framkommit som kräver kompletteringar av redovisade scenarier, installerade system, utbildning eller planerade åtgärder för att förhindra incidenter och olyckor eller motverka de strålskyddsmässiga konsekvenserna när olyckor inträffar.

### **4.4.3 Analys av inträffade händelser**

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 3.4.3 i SSR 2001 för SFR 1.

### ***SKB:s redovisning***

I genomsnitt har 2-3 händelser av kategori 2, enligt SKI:s klassifikation i (SKI, 1998), inträffat per år under anläggningens drifttid. De flesta händelserna beror på hanteringen av avfallet ute hos avfallsleverantörerna och inte på fel som uppstått i anläggningen. SKB redovisar olika typer av händelser som inträffat vid SFR 1 och åtgärder som införts för att förhindra att de upprepas. En av de mer signifikanta avvikelserna är upptäckten att vissa värmedetektorer aldrig varit inkopplade sedan start av SFR 1. FKA har efter upptäckten genomfört (pågår till viss del fortfarande) en total genomgång av samtliga säkerhetssystem vid anläggningen.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Analys av inträffade avvikelser under driften som är relaterade till STF-avvikelser finns redovisade som RO:n, rapportervärda omständigheter, dvs. kategori 2 händelser utifrån kraven i SKI:s föreskrifter (SKI, 1998). Granskningsgruppen anser att det är bra, om än självklart, att FKA efter händelsen med de ej inkopplade värmedetektorerna har satt igång ett arbete med att gå igenom samtliga system, som har betydelse för säkerheten, i SFR 1.

Under perioden har dessutom en händelse inträffat som skulle kunna påverka den långsiktiga säkerheten, nämligen avvikelserna från en godkänd typbeskrivning (F.17). Granskningsgruppen anser att denna händelse borde ha redovisats i SSR 2001. Granskningsgruppen är dock medvetna om att frågan inte var fullt utredd vid färdigställandet av säkerhetsrapporten för SFR 1.



#### **4.4.4 Större ombyggnader eller driftförändringar sedan driftstart**

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 3.4.4 i SSR 2001 för SFR 1.

##### ***SKB:s redovisning***

Den inkommande luften till underjordsdelen kyltorkas för närvarande för att undvika korrosionsskador på installerad utrustning, vilket kunde konstateras kort tid efter start av anläggningen. Anläggningens alla brandlarmscentraler har bytts ut.

Den nya avfallsdatabasen (TRIUMF) styr bland annat kontroll och validering av avfallsdata till SFR 1. Varje enskilt deponerat kolli kan identifieras avseende ursprung såväl som exakt placering i slutförvaret. SKB använder databasen bland annat för kontroll av avfallsdata från leverantörerna.

##### ***Granskningsgruppens bedömning***

Efter ett antal års drift framkom att omfattande korrosionsskador uppstod på anläggningsdelar på grund av hög luftfuktighet. Genom tekniska åtgärder är den relativa fukthalten idag begränsad till 60 %. Granskningsgruppen anser att det är en brist att det saknas en analys om detta är tillräckligt då korrosionen även kan omfatta deponerat avfall i SFR 1.

En ny avfallsdatabas, TRIUMF, för hantering och registrering av avfall till SFR 1 har installerats. Med systemet blir det möjligt att kontrollera att avfallet uppfyller ställda krav avseende avfallsdata före transport från avfallsproducent till SFR 1. Databasen innehåller avfallsdata för varje enskilt kolli, detta framgår dock inte i SKB:s redovisning. Däremot framgår det var i slutförvaret det enskilda kollit är placerat. Systemet skall förhindra att transporttillstånd (av SKB) ges för typgodkänt avfall som inte verifierats för deponering. Det finns ingen redovisning av eventuella inträffade avvikelser eller störningar, som är relaterade till databasen.

Det saknas en redovisning av gjorda erfarenheter med hantering av avfallsdatabasen. Vidare saknas det en genomgående beskrivning av hur systemet är uppbyggt och hur handhavande i STF:s driftinstruktioner eller motsvarande sker. Enligt tidigare lämnade uppgifter tillhör avfallsdatabasen SKB. Det saknas information om systemet innefattas i SKB:s eller FKA:s kvalitetssystem.

#### **4.4.5 Doser till personal**

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 3.4.5 i SSR 2001 för SFR 1.

##### ***SKB:s redovisning***

Dosutfallet till personal sedan driftstarten år 1988 är totalt ungefär 25 mmanSv vilket ger en medeldos om cirka 2 mmanSv per år. Det största utfallet under ett enskilt år (år 1999) blev 5,7 mmanSv. De verksamheter som gett upphov till merparten av stråldoserna är kring- och övergjutning av askfat, kokiller och, vid ett särskilt tillfälle, ingjutning av deponerade ångseparatorer. Dosutfallet under de år kringgjutning inte skett är ungefär 1 mmanSv. Även dosutfallet vid kringgjutning av askfat har minskat i

takt med ökad erfarenhet. SKB uppger att det kontinuerligt sker ett arbete med att införa dosreducerande åtgärder för ej rutinmässiga arbeten.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Verksamheten vid kärntekniska anläggningar skall bedrivas så att alla doser begränsas så långt som det är rimligt möjligt med hänsyn till ekonomiska och samhällsliga faktorer 4 § i (SSI, 2000a). När det gäller SFR 1, ett slutförvar för radioaktivt driftavfall från kärnkraftverk och andra anläggningar, kan inte en optimering av doser ske isolerat och utan hänsyn till avfallsproducentens hantering. Vid de svenska verken finns olika former av tillfälliga mellanförvar (bergrum, avfallshallar, m.m.) och vid verken sker också färdigställande av de avfallskollin som ska deponeras i SFR 1. De doser som erhålls vid SFR 1 måste ställas i relation till de stråldoser som erhålls vid kraftverken. Vidare måste olika handlingsalternativ bedömas (tillverkning av kollin, mellanlagring vid kärnkraftverken, olika strategier för transport och deponering) och personalstrålskyddsfrågor måste vägas mot andra säkerhetsfrågor, ekonomiska frågor samt samhällsliga värderingar och beslut.

Vid driften av SFR 1 har den totala stråldosen till personalen och stråldoser till enskilda personer varit små. Inga intag av radioaktiva ämnen eller allvarligare tillbud har förekommit under de år verksamheten bedrivits. Mot bakgrund av det låga dosutfallet har granskningsgruppen inga invändningar mot avsaknaden av en analys av vilka ytterligare åtgärder som varit rimliga med hänsyn till personalstrålskyddet.

#### **4.4.6 Betydelsen av informationsbevarande**

Åtgärder kring informationsbevarande diskuterades i anslutning till tidigare granskningar (SKI, 1992; SSI, 1992a). Frågan har följts upp av SSI efter det att granskningen var genomförd, och SSI har i omgångar begärt att strategier utarbetas och implementeras för bevarande av information om slutförvaret (SSI, 1992b; SSI, 1994). I den redovisning som SKB utarbetat (SKB, 1993) anges att det grundläggande målet för en sådan strategi är att bevara information om:

- geografiskt läge
- kemiska och fysikaliska egenskaper
- slutförvarets design, avseende fysisk utformning och barriärer
- bakgrundsdata till säkerhetsrapport och säkerhetsanalys.

Strategin utvecklas i rapporten och redovisas i 8 punkter, avseende bl.a. kvalitetsfrågor, samarbete med arkivmyndigheter och föreslagna åtgärder vid slutförvarets förslutning. SSI har även utfört tillsyn vid SKB:s olika anläggningar, bl.a. SFR 1, utifrån SSI:s föreskrifter om arkivering vid kärntekniska anläggningar (SSI, 1997). Efter att ha påtalat vissa brister i arkivhållningen har SSI gjort bedömningen att SKB i allt väsentligt åtgärdat de brister som konstaterats vid inspektionerna (SSI, 2000b).

Den förnyade säkerhetsredovisningen för SFR 1, SSR 2001, innehåller ingen beskrivning av SKB:s strategi för informationsbevarande. Regleringen av informationsbevarandet ligger visserligen utanför säkerhetsredovisningen för SFR 1, men granskningsgruppen anser att det hade varit värdefullt om SKB hade redovisat de åtgärder som faktiskt har vidtagits.

## 4.5 Deponering av avfall

### 4.5.1 Bakgrund

Redan från början förutsattes att avfallet i SFR 1 skulle deponeras efter tre huvudprinciper:

- Avfall med högst aktivitet (och med högst innehåll av långlivade nuklider) skulle deponeras i Siloförvaret, med de mest kvalificerade barriärerna.
- Val av deponeringsutrymme skulle ske så att eventuell negativ påverkan från avfallet på de aktuella barriärerna minimeras.
- Val av deponeringsplats skulle dessutom ske med hänsyn till att kollin kan hanteras på ett betryggande sätt från strålskydds- och säkerhetssynpunkt, t.ex. att dosratbegränsningar i olika förvarsdelar innehålls.

De ursprungliga principerna har dock av olika skäl inte fullt ut realiserats:

- I vissa fall har det visat sig att dessa principer är motstridiga. Ett exempel är att visst avfall med högt nuklidinnehåll av kemiska skäl är olämpligt att deponera i Siloförvaret. Att en sådan situation uppkommit har delvis historiska skäl – dvs. att avfallskollin tillverkades långt innan de krav som slutförvaring ställde var kända.
- Aktivitetsmängden i avfallet har hittills visat sig ligga avsevärt under den prognos som låg till grund för aktivitetsinnehållet i ansökan vilket har lett till att en större andel avfall från reaktorernas vattenreningssystem har kunnat deponeras i BMA.
- Deponering tilläts i BMA under ett antal år innan Silon fick tas i reguljär drift.

Med stöd av den avfallsprognos som SKB tagit fram till SSR 2001 för SFR 1 ges ett underlag för en uppdaterad analys av användandet av anläggningen. Underlaget som inkluderar drygt tio års drifterfarenhet bedöms vara mer heltäckande än vad som tagits fram tidigare.

### 4.5.2 Tillämpning av optimering och bästa möjliga teknik - BAT

SSI har sedan tillståndsgivningen för SFR 1 utgivit nya föreskrifter (SSI, 1998) som är tillämpliga för SFR 1. Föreskrifterna anger att omhändertagandet av kärnavfall skall ske på ett optimerat sätt och hänsyn tas till bästa möjliga teknik (BAT). Kravet på optimering och BAT innebär att stråldoser skall begränsas så långt det rimligen kan göras och att hänsyn tas till de effektivaste åtgärderna för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen. Detta omfattar inte bara slutförvarets grundläggande konstruktion, utan även åtgärder relaterade till driften av anläggningen. För utsläpp av radioaktiva ämnen under drift gäller dock (SSI, 2000c).

#### *Granskningsgruppens bedömning*

Granskningsgruppen anser att det i SSR 2001 borde ha framgått på vilket sätt SKB säkerställer att driftrelaterade åtgärder är optimerade med hänsyn till slutförvarets långsiktiga funktion så som den beskrivs i säkerhetsredovisningen. Detta gäller framtagande av typbeskrivningar, styrning av avfall mot olika förvarsdelar, deponeringsförfarande och successiv driftförslutning. Ett exempel på detta är tillämpningen av BAT för deponering av avfallskollin i 1BTF.

Mot bakgrund av den förändring av de ursprungliga principerna för fördelning av avfall mellan olika förvarsdelar som diskuteras ovan, och slutsatserna från denna granskning anser granskningsgruppen att det finns anledning att göra en översyn av fördelningen av olika avfallskollin mellan olika förvarsdelar, särskilt med hänsyn till att den mest kvalificerade förvarsdelen (Silon) endast prognostiseras att vara fylld till 60 % år 2030. Denna översyn måste anses speciellt angelägen då de beräknade framtida doskonsekvenserna är i paritet med SSI:s strålskyddskriterium samt att halten av vissa långlivade radionuklider kan vara underskattade i vissa typer av avfall.

## 5 Långtidsfunktionen av SFR 1

I detta kapitel redovisas granskningen av kapitel 4 (Förvarets tillstånd vid förslutningen) och 5 (Analys av långtidsfunktionen) i SKB:s SSR 2001 för SFR 1.

Granskningsgruppen har valt en annan disposition av materialet, dels av praktiska skäl, dels för att granskningsgruppens uppfattning om strukturen hos dessa delar av en säkerhetsrapport inte helt överensstämmer med SKB:s. Detta framgår av följande tabell:

Avsnitt i SKB:s SSR 2001	Avsnitt i denna rapport
4.1 Återfyllnadsmetod och barriärfunktion	3.3 Förslutningsåtgärder 5.6.7 Inbördes påverkan mellan förvarsdelarna och förslutningsåtgärder
4.2 Avfall	5.3 Nuklidinventarium och avfall
4.3 Beskrivning av geosfären och biosfären	5.6.1 Hydrogeologi 5.6.2 Strukturgeologi och bergmekanik 5.6.3 Vattenkemi 5.7 Initialtillstånd och utveckling av biosfären
5.1 Säkerhetsmål och acceptanskriterier	5.1 SKB:s tolkning av myndigheternas krav
5.2 Genomgång av tidigare redovisat kunskapsläge	5.1 SKB:s tolkning av myndigheternas krav
5.3 Metodik vid analys av SFR:s långtidssäkerhet	5.2 Metodik för säkerhetsanalys 5.5.1 Metodik för val av scenarier
5.4.1 Modellbeskrivning 5.4.2 Beskrivning av förvaret och dess omgivning (systembeskrivning)	5.4 Systembeskrivning
5.4.3 Basscenariot 5.4.4 Scenario – Initiala defekter/avvikelser 5.4.5 Klimatanknutna scenarier 5.4.6 Tektoniska händelser 5.4.7 Intrångsscenario 5.4.8 Övriga scenarier	5.5 Val av scenarier
5.4.9 Fullständighet i systembeskrivning och scenarier	5.4.3 Fullständighet i systembeskrivningen
5.5 Förvarets och dess omgivnings utveckling	5.6 Initialtillstånd och utveckling av förvaret och geosfären 5.7 Initialtillstånd och utveckling av biosfären
5.6 Beskrivning av beräkningsfallen 5.7 Beräkningar	5.8 Konsekvensberäkningar

## 5.1 SKB:s tolkning av myndigheternas krav

I detta avsnitt kommenteras avsnitten 5.1 och 5.2 i SSR 2001 (SKB:s Slutlig säkerhetsrapport 2001 för SFR 1).

### *SKB:s redovisning*

Den tolkning som SKB har gjort av SKI:s och SSI:s föreskrifter framgår av avsnitt 5.1 i SSR 2001. Dessutom redovisas utdrag av myndigheternas tidigare granskningar i avsnitt 5.2 i SSR 2001. SKB tar upp ett tiotal frågor som kvarstår sedan myndigheternas senaste granskning av den fördjupade säkerhetsanalysen för SFR 1 (SKI, 1992; SSI, 1992). Dessa frågor har sedan använts av SKB för att prioritera arbetet i SSR 2001 till följande områden för fördjupad analys:

- Helt ny scenario- och systemanalys.
- Nytt inventarium och avfallskaraktisering.
- Ny analys av barriärdegradering, särskilt av betong.
- Ny genomgång av gasutveckling och konsekvenser därav.
- Ny hydrologisk analys.
- Ny förbättrad biosfärsanalys.
- Noggrannare transportberäkningar.

### *Granskningsgruppens bedömning*

Granskningsgruppen bedömer att SKB har tolkat de relevanta föreskrifterna om slutligt omhändertagande av kärnavfall utfärdade av SSI (SSI, 1998) – jämför kapitel 2 i denna granskning – på ett i huvudsak korrekt och rättvisande sätt. SKI:s föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring (SKI, 2002) förelåg som remissutgåva (juli 2000) när arbetet med säkerhetsrapporten genomfördes och innehållet har i sina väsentliga delar varit känt för SKB sedan 1997. Granskningsgruppen anser därför att SKB också kunde ha redogjort för innehållet i detta förslag till föreskrifter, inte minst mot bakgrund av att SKB själva anser sig ha jämfört resultatet av analysen med intentionerna SKI:s remissutgåva.

Granskningsgruppen anser det värdefullt med den genomgång av äldre analyser och myndighetsgranskningar som SKB redovisar. Samtidigt vill dock granskningsgruppen varna för använda sådana tidigare bedömningar som motiv för att begränsa omfattningen av den aktuella säkerhetsanalysen. Varje analys måste utföras självständigt och på nytt pröva tillgänglig kunskap. Förutsättningar för utvärdering av scenarier, val av beräkningsfall och andra beräkningsförutsättningar kan mycket väl skilja sig så mycket från en analys till nästa att vissa resultat av konsekvensanalysen inte längre är underbyggda på samma sätt som tidigare och därför ej heller är giltiga. Hänvisningar till tidigare gjorda utredningar och bedömningar kan användas som ett stöd för den aktuella bedömningen, men bara i den mån dessa förutsättningar är oförändrade.

Ett exempel på en otillräckligt underbyggd hänvisning till tidigare analyser är att fall med blockerad gasutveckling under inlandsperioden varken analyserats eller bedömts på annat sätt (se även avsnitt 5.6.5 i denna rapport). I det aktuella fallet gjordes dessutom en hänvisning till myndigheternas granskning, vilket är principiellt felaktigt, om inte SKB bildat sig en egen uppfattning eller kan hänvisa till andra referenser. Stöd för en

viss bedömning kan hämtas från egen eller andras forskning, men aldrig enbart från myndigheternas forskning eller granskning. Detta skulle kunna tolkas som att myndigheterna tog över delar av SKB:s ansvar, vilket står i strid med svensk lagstiftning.

## 5.2 Metodik för säkerhetsanalys

I detta avsnitt redovisas granskningsgruppen synpunkter på SKB:s *redovisning* av metodiken för säkerhetsanalys enligt avsnitt 5.3 i SSR 2001. Synpunkter på hur denna metodik *tillämpats* i den aktuella säkerhetsanalysen när det gäller Systembeskrivning och Val av scenarier ges i avsnitt 5.4 respektive 5.5 i denna rapport.

### ***SKB:s redovisning***

Säkerhetsanalysen för SFR 1 bygger enligt SKB i huvudsak på den metodik som redovisats i säkerhetsanalysen av slutförvaret för använt kärnbränsle, SR 97 (SKB, 1999).

Enligt SKB består säkerhetsanalysen av huvuddelarna: *systembeskrivning och val av scenarier, beskrivning av det initiala tillståndet, analys av valda scenarier*, och en *sammanvägd bedömning av resultaten*.

Utgångspunkten för analysen är en s.k. systembeskrivning som redovisar de processer och samband mellan olika processer som behöver beaktas i säkerhetsanalysen samt en beskrivning av tillståndet i slutförvaret vid förslutning. Systembeskrivningen för SFR 1 redovisas i form av s.k. interaktionsmatriser för slutförvaret, berget och biosfären. Fullständigheten i interaktionsmatriserna har kontrollerats genom avstämningar mot OECD/NEA:s internationella databas för FEP (förhållanden, händelser och processer). SKB har vidare gjort bedömningar av hur viktiga olika FEP är för analysen av slutförvarets funktion, med hjälp av egen personal och konsulter.

Slutförvarets framtida utveckling beskrivs genom att välja ut ett antal scenarioinitierande händelser och förhållanden eller s.k. externa FEP, d.v.s. yttre händelser eller förhållanden som kan initiera möjliga händelseutvecklingar eller scenarier. En utgångspunkt för SKB:s identifikation av scenarioinitierande händelser för SSR 2001 är NEA:s internationella FEP-databas. Utifrån denna och erfarenheter från tidigare genomförda säkerhetsanalyser för bl.a. SFR 1 har SKB valt ut vilka scenarioinitierande händelser som skall analyseras (se vidare avsnitt 5.5.5 i denna rapport).

Beskrivningen av initialtillståndet bygger i stora delar på existerande kunskaper om slutförvaret t.ex. vad gäller material och dimensioner på de konstruerade delarna av slutförvaret. Vissa egenskaper, t.ex. för berget, har dock uppskattas från de begränsade data som finns tillgängliga från platsundersökningen och andra mätningar. Vidare bygger antaganden om framtida avfallsmängder på prognoser.

För de valda scenarierna analyseras sedan slutförvarets framtida utveckling samt utläckage och transport av radionuklider i slutförvaret, berget och biosfären. För att ge en översikt av beräkningsmodellerna och analyserna har SKB tagit fram s.k. informationsflödesdiagram. Dessa illustrerar dataflödena mellan olika analyser och beräkningsmodeller. Diagrammen ger också en möjlighet att kontrollera hur olika processer och

interaktioner tagits om hand i den kvantitativa analysen. Valet av data för beräkningarna av radionuklidtransport redovisas i en särskild datarapport (SKB, 2001).

SKB anger att osäkerheter i data skall diskuteras och om möjligt kvantifieras, men om osäkerheterna är stora är det tillåtet att välja data så att konsekvenserna pessimistiskt överskattas. På motsvarande sätt görs sådana antaganden eller val av modeller att konsekvensen av ogynnsamma processer överskattas om förståelsen för en viss process är bristfällig.

Under rubriken *Hantering av osäkerheter* (avsnitt 5.3.5 i SSR 2001) tar SKB också upp *Bedömning av risk*. Transportberäkningarna för de olika scenarierna ligger till grund för en sammanvägd riskanalys. Analyserna är i huvudsak deterministiska med undantag för beräkningarna av radionuklidernas omsättning i biosfären och dosberäkningarna, som är probabilistiska. Den totala risken uppskattas genom att väga samman de beräknade riskerna för de olika beräkningsfallen i de olika scenarierna.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

SKB:s redovisning av metodiken för säkerhetsanalysen överensstämmer i stora delar med de krav som framgår av SKI:s föreskrifter. Det brister dock i överensstämmelse mellan beskrivningen av metodik och struktur för säkerhetsanalys i avsnittet 5.3 och tillämpningen i de följande avsnitten i SSR 2001. Detta gäller inte minst redovisningen av hur osäkerheter hanteras. I granskningen av SSR 2001 framkommer det att SKB saknar en genomtänkt metod för analys av osäkerheter (se avsnitt 5.9 i denna rapport).

## **5.3 Nuklidinventarium och avfall**

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 4.2 i SSR 2001 för SFR 1.

I SFR 1 slutförvaras avfall som uppstår vid drift av de svenska kärnkraftverken samt visst avfall från Studsviks anläggningar. Huvudsakligen består avfallet av filter från vattenreningssystemen (i form av jonbytarmassor) samt av sopor och skrot som uppstår under driften. Innehållet av gammastrålande radionuklider i avfallet bestäms genom mätningar på verken där också avfallet behandlas och förpackas. Vid SFR 1 slutförvaras även visst radioaktivt avfall som härstammar från sjukhus, forskning och industri. Detta avfall har behandlats och förpackats vid Studsviks anläggningar före transport till SFR 1. Eftersom avfallets innehåll av exempelvis metaller och kemiska sammansättningar kan vara av betydelse för förvarets långsiktiga funktion redovisas även detta.

### **5.3.1 Materialmängder i SFR 1**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar en prognos över vilka materialmängder för avfall, konditioneringsmaterial och behållare som beräknas föras till de olika förvarsdelarna. Materialmängderna är indelade i kategorierna järn/stål, aluminium, cellulosa, övrigt organiskt, övrigt oorganiskt, jonbytarmassor, grafit, indunstarkoncentrat, slam, bitumen, cement och betong. Samtliga kategorier finns dock inte representerade i alla förvarsdelar. SKB redovisar även en prognos över antalet kollin av olika typer. Dessa uppgifter ger, tillsammans med dimensionerna för förekommande typer av kollin, avfallets totala volym.



De största mängderna utgörs av cement och betong i alla förvarsdelar förutom BLA (20 000 ton i Silon). Mängderna järn/stål är i storleksordningen tusentals ton för samtliga förvarsdelar, liksom även bitumen för BMA och Silon. Av avfallsmaterialen dominerar jonbytarmassorna i Siloförvaret och i BMA med tusentals ton. Övriga avfallsmaterial är i storleksordningen hundratals ton. I BLA är övrigt organiskt (plast, gummi, kabel) mest förekommande avfallsmaterial, medan aska och pulverformig jonbytarmassa är mängdmässigt mest betydelsefullt i BTF.

Av betydelse för långsiktig säkerhet är bl.a. mängderna cellulosa och metaller. Nedbrytning av cellulosa i alkalisk miljö ger bland annat isosaccarinsyra (ISA). ISA är en komplexbildare som kan öka uttransporten av radionuklider ur förvaret. För metaller (kategorierna järn/stål samt aluminium) anges förutom mängder också den totalt tillgängliga arean för korrosion. Arealen erfordras vid beräkning av gasbildningen vid anaerob korrosion av metallerna.

Mängderna av cement och betong har säkerhetsmässig betydelse. Dessa är t.ex. relevanta vid beräkning av kapaciteten för kemiska pH-buffringsreaktioner. Mängderna jonbytarmassa i bitumen är av betydelse vid beräkning av expansion pga den förväntade svällningen efter deponering.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att SKB:s mängdangivelser för olika materialtyper i avfallet, t.ex. cellulosa, järn och stål samt konditioneringsmaterial och behållare är rimliga. Osäkerheterna är sannolikt begränsade vad gäller konditioneringsmaterial och totala avfallsmängder, medan osäkerheten i mängdangivelser för olika materialtyper kan vara mera betydande. För att förmedla en klarare bild över dessa frågor hade det varit önskvärt att det i SSR 2001 hade funnits en diskussion om hur uppgifterna tagits fram.

Granskningsgruppen anser det vara en brist att inga feluppskattningar redovisats för mängderna av olika material i olika förvarsdelar. Osäkerheterna i de redovisade uppgifterna borde i vilket fall resultera i en diskussion om möjliga felkällor och deras storleksordning. Noggrannheten i mängd- och volymangivelserna tycks dessutom vara alltför hög, vilket är vilseledande eftersom det antyder att uppskattningarna är mycket mer exakta än vad som verkligen är fallet.

SKI har med hjälp av en konsult (Sundqvist, 2001) granskat SKB:s årsrapporter och prognoser om avfall till SFR 1, vilka utgör ett underlag för SSR 2001. Av denna granskning framgår att SKB:s redovisning inte är helt tydlig och spårbar, och att särskilt normalkolliberäkningarna är svåra att följa. Detta beror dels på att avvikelser förekommer, dels att normalsammansättningarna i efterhand har modifierats av SKB.

SKI:s konsult Sundqvist drar vidare slutsatsen att särskilt stora osäkerheter vad gäller innehållet av cellulosa och metaller föreligger för avfallstyperna X.23 och X.12<sup>4</sup>,

---

<sup>4</sup> Beteckningen X.23 anger att avfallet är medelaktivt och består av sopor och skrot. Avfallet är förpackat i kokiller med en sida på 1,2 m vilka deponeras i förvarsdelen BMA. Beteckningen X.12 anger att avfallet är lågaktivt och består av sopor och skrot. Avfallet är placerat i en container som deponeras i förvarsdelen BLA.

innehållande sopor och skrot (Sundqvist, 2001). Sundqvist föreslår därför att en mer individuell bedömning görs vad gäller huvudsakligt materialinnehåll för varje enhet, istället för att enbart förlita sig på sammansättningen av aktuella normalkollin. Denna information tas i viss mån redan fram men utnyttjas inte för beräkningar. Avfallstypen X.23 är särskilt viktig eftersom denna kan förväntas innehålla betydande mängder cellulosa som kan påverka de vattenkemiska förhållandena i BMA.

Granskningsgruppen anser att innehållet av metaller inte enbart är intressant för gasbildning utan även för bedömningen av fortvarigheten av redoxbuffring vid korrosion av järn/stål. Det hade därför varit av intresse att redovisa någon form av uppskattning över fördelningen av godstjocklekar för metalldelar i SFR 1. En genomsnittlig tjocklek av 5-10 mm kan visserligen uppskattas med utgångspunkt av uppgifterna i SKB:s redovisning men spridningsmålet är även av stor betydelse för bedömningen av redoxbuffring (se avsnitt 5.6.3 i denna rapport).

### **5.3.2 Metodik för bestämning av nyckelnukliderna i avfallet**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB har prognostiserat innehållet av radionuklider i SFR 1 genom att utgå från inventariet av de tre nyckelnukliderna, kobolt-60, cesium-137 och plutonium-239 i ett representativt kolli för varje avfallstyp. Referensinventariet av nyckelnukliderna kobolt-60 och cesium-137 är baserat på de mätningar av gammastrålare som genomförts på hittills producerade avfallskollin. Vad gäller innehållet av nyckelnukliden plutonium-239 i avfallet utgår SKB från de mätningar som regelbundet sker av vattenkoncentrationen av plutonium-239/240 i olika systemstråk vid reaktorerna och vid CLAB. Allt löst plutonium i stråken antas fastna i avfallet som deponeras i SFR 1 och utgående från den uppmätta koncentrationen och det integrerade flödet genom reningsfiltren kan den totala mängden plutonium-239/240 i avfallet beräknas. Plutonium-239/240 antas i SSR 2001 fördela sig i olika kollin proportionellt med fördelningen av kobolt-60 i avfallet.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

Innehållet av de gammastrålande nyckelnukliderna (kobolt-60 och cesium-137) är väl dokumenterat genom de mätningar som rutinmässigt görs på allt avfall som produceras. Granskningsgruppen anser att underlaget för att tillskriva ett referensinnehåll av dessa båda radionuklider således är bra för redan producerat avfall från kärnkraftverken. Detta underlag utgör även en bra grund för uppskattningar av radionuklidinnehållet i framtida avfall under förutsättning att reaktorernas driftförhållanden inte störs genom att exempelvis ett större antal bränsleskador inträffar.

Granskningsgruppen anser att metodiken som tillämpas för bestämning av plutonium-239/240 ger en rimlig uppskattning av den totala mängden som antas deponeras i SFR 1 med ursprung från kärnkraftverken, se även avsnitt 5.3.5 (*Inventariet av betydelsefulla nuklider*) i denna rapport. Metodiken att fördela plutonium-239/240 proportionellt mot förekomsten av kobolt-60 innebär att en majoritet av transuranerna i avfallet förväntas återfinnas i reaktorvattenreningsmassorna, vilket granskningsgruppen bedömer vara rimligt. Mätningar genomförda vid Studsvik (Studsvik, 1999) indikerar dock att mängden transuraner i bl.a. det lågaktiva sop- och skrotavfall som deponeras i förvardsdelen BLA möjligen kan vara underskattad. Granskningsgruppen anser mot denna

bakgrund att det finns anledning för SKB att göra en översyn av den tillämpade metodiken.

### **5.3.3 Korrelationsfaktorer**

#### ***SKB:s redovisning***

Innehållet av andra radionuklider än de tre nyckelnukliderna i de olika avfallskategorierna har uppskattats utifrån korrelationsfaktorer. SKB har använt de korrelationsfaktorer som togs fram som underlag till säkerhetsanalysen för SFL 3-5 (Lindgren m.fl., 1998).

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att den sammanställning av korrelationsfaktorer som Lindgren m.fl. (1998) tagit fram även utgör en bra utgångspunkt för att uppskatta inventariet i SFR 1. De korrelationsfaktorer som tas fram i (Lindgren m.fl., 1998) baseras både på mätningar och på beräkningar. Mätningar visar i flera fall på mycket stora spridningar. För fissionsprodukter och andra aktiveringsprodukter än transuraner har SKB i flera fall valt att använda ett framtaget medianvärde. Granskningsgruppen ifrågasätter motivet till detta val då de data som presenteras i flera fall visar på stora spridningar. Med tanke på den betydelse som valet av korrelationsfaktor har för uppskattningen av inventariet liksom säkerhetsanalysens resultat anser granskningsgruppen att SKB borde ha ägnat större omsorg kring denna fråga för att säkerställa att betydelsen av dessa osäkerheter återspeglas i de presenterade uppskattningarna och resultaten. Granskningsgruppen vill i detta sammanhang exempelvis peka på den utvärdering av uppmätta korrelationsfaktorer som genomfördes av Thierfeldt och Deckert (1995) vilken genomfördes på uppdrag av myndigheterna och SKB.

För vissa radionuklider baserar SKB valet av korrelationsfaktor på teoretiska beräkningar trots att mätningar pekar mot att ett högre värde vore ett försiktigare val. Ett sådant exempel gäller förekomsten av jod-129. Trots att mätningar pekar på att halterna kan vara två till tre storleksordningar högre, utgår SKB från att det beräknade förhållandet i bränslet även gäller i driftavfallet. SKB baserar sin bedömning på att cesium och jod har liknande läckageegenskaper från bränslet och liknande transportegenskaper i reaktormiljön. Granskningsgruppen anser att de stora avvikelser som konstaterats i Lindgren m.fl. (1998) borde ha föranlett SKB att genomföra en utförligare analys. Denna slutsats gör även Thiersfeldt och Deckert (1995), och anser att i synnerhet för PWR behöver reaktorspecifika korrelationsfaktorer tas fram.

Granskningsgruppen saknar en återkoppling från föreliggande och tidigare säkerhetsanalyser vad gäller ytterligare initiativ för att utvärdera inventariet av de viktigaste radionukliderna. Detta gäller i synnerhet förekomsten av kol-14 och nickel-59 i avfallet. Uppskattningen av kol-14 borde dessutom ha kompletterats med en uppskattning baserad på reaktorfysikaliska data.

För avfall från Studsviks verksamhet är frågan mer komplicerad jämfört med avfallet från kärnkraftverken. Avfallet från Studsvik är inhomogent både till sammansättning och till innehåll då det uppstår till följd av mer diversifierad verksamhet, dels genom omhändertagande av externt avfall från t.ex. sjukhus, industri och dels av avfall från

Studsviks nuvarande och tidigare forskningsverksamheter. Detta innebär att metodiken att använda korrelationsfaktorer framtagna för kärnkraftsavfall inte nödvändigtvis är tillämpliga. Med tanke på att det tilldelade aktivitetsinventariet för avfall från Studsvik är begränsat kan metodiken ändå tjäna som en första utgångspunkt för att ta fram ett inventarium. Ett särskilt problem i det här sammanhanget är hur förekomsten av plutonium i Studsviksavfall bestäms, vilket redogörs för i avsnitt 5.3.5 (*Inventariet av betydelsefulla radionuklider*) i denna rapport.

### **5.3.4 Totalaktivitet och aktivitetsfördelning mellan de olika förvarsdelarna**

#### ***SKB:s redovisning***

För varje kategori av avfall har SKB multiplicerat det framtagna referensinnehållet i ett kolli med det prognostiserade antalet kollin för avfallstypen till år 2030. Inventariet i SFR 1 blir med denna härledning ca  $10^{15}$  Bq, det som SKB benämner det *realistiska* inventariet. SKB har i inventarierapporten (Riggare och Johansson, 2001) beräknat det *konservativa* inventariet genom att multiplicera det realistiska inventariet med en faktor för varje förvarsdel så att totalt sett  $10^{16}$  Bq anses deponerats. Detta motsvarar enligt SKB den aktivitetsmängd som SFR 1 är dimensionerad för och ryms inom SFR 1:s tillstånd.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningen av de framtagna inventarierna måste göras inte bara med utgångspunkt av dess funktion som randvillkor till de konsekvensanalyser som genomförs men även med utgångspunkt från dess tillåtlighet gentemot de fastlagda gränser som finns angivna i meddelade tillstånd och villkor. Dessa båda prövningar kan behöva ske separat.

Det är uppenbart att det inventarium som ligger till grund för konsekvensanalysen inte behöver vara en realistisk uppskattning av det verkliga inventariet, tvärtom leder en viss konservatism i uppskattningarna till att också de beräknade doskonsekvenserna över-skattas. Granskningsgruppen bedömer graden av konservatism i SKB:s uppskattningar i efterföljande avsnitt.

SKB anger dock att det så kallat konservativa inventariet samtidigt motsvarar det inventarium som SFR 1 är dimensionerat för och licensierat till eftersom totalaktiviteten uppgår till  $10^{16}$  Bq. Granskningsgruppen delar inte SKB:s syn på grunderna för detta resonemang och därmed för tillåtligheten av det konservativa inventariet. Även om den angivna totalaktiviteten är ett av de styrande villkoren för SFR 1 anser granskningsgruppen att det är uppenbart att det inte är tillräckligt att konstatera att totalaktiviteten håller sig inom denna gräns. Utöver totalaktiviteten i förvarsdelarna behöver fördelningen mellan kort- och långlivad aktivitet tas i beaktande i enlighet med föreskrivna villkor genom regeringsbeslut enligt atomenergilagen, (1983-06-22, dnr 1034/83) och (SKI 1983-04-21, dnr A.1.1 361/82). Denna bedömning har tidigare delats av SKB (SKB, 1998).

Granskningsgruppen anser att det kan vara acceptabelt och motiverat att tillåta en viss omfördelning av källtermen mellan olika typer av radionuklider så länge som den på lång sikt kvarvarande radiotoxiciteten inom varje förvarsdel hålls inom det ursprungligen angivna med hänsyn tagen till olika radionuklidens egenskaper. Vid sådan om-

fördelning behöver hänsyn tas till hur förvaret i sin helhet utnyttjas. Frågan om optimalt utnyttjande av förvaret diskuteras i avsnitt 4.5 i denna rapport.

Ett flertal faktorer styr den radiologiska betydelsen av olika typer av radionuklider i SFR 1. Uppenbar betydelse har radionuklidernas olika halveringstid och deras varierande radiotoxicitet. Därutöver kommer frågan om de olika radionuklidernas mobilitet i förvarsmiljö och i berget att vara av stor betydelse för det långsiktiga strålskyddet. Mobiliteten är beroende av utformningen av de olika förvarsdelarna och kan dessutom påverkas av kemiska ämnen i t.ex. avfallet. Det är mot denna bakgrund frågan om fördelningen av radionuklider i SFR 1 skall ses men också fördelningen mellan de olika förvarsdelarna.

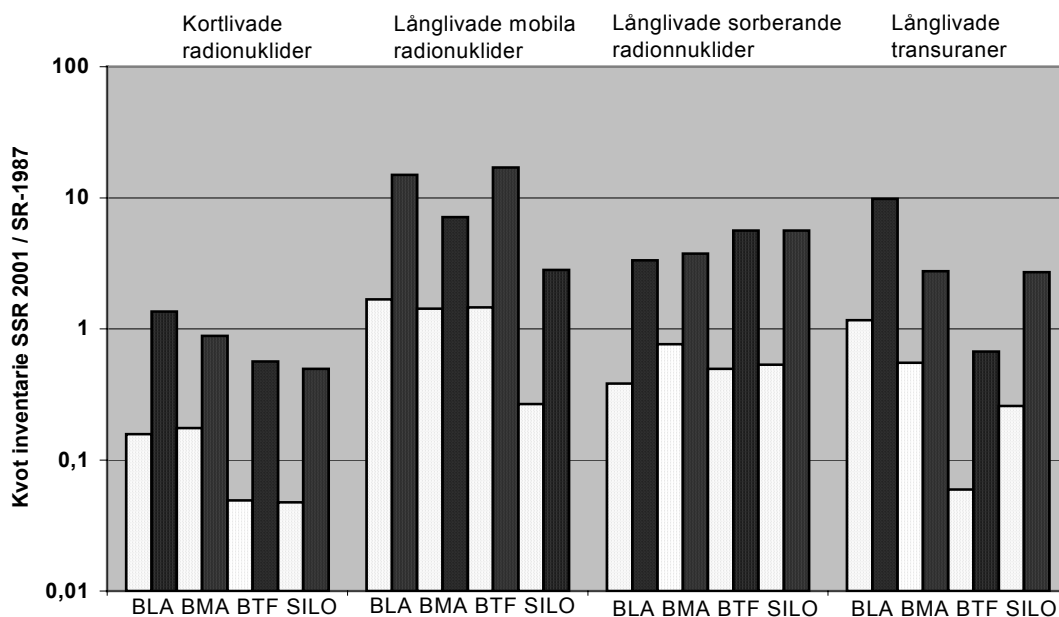
Granskningsgruppen har i samband med granskningen av SSR 2001 sammanställt och jämfört det tillståndsgivna inventariet med de som presenteras i (Riggare och Johansson, 2001) och som SSR 2001 baseras på. De mest betydelsefulla radionukliderna har indelats i följande fyra kategorier:

1. kortlivade radionuklider (som väsentligen avklingar under den tid förvaret ligger under havet)
2. långlivade ( $t_{1/2} > 31$  år) radionuklider med relativt hög mobilitet i förvarsmiljön
3. långlivade ( $t_{1/2} > 31$  år) radionuklider med relativt låg mobilitet i förvarsmiljön
4. långlivade ( $t_{1/2} > 31$  år) transuraner.

För varje kategori har den sammanlagda radiotoxiciteten beräknats genom att normera inventarierna av de olika radionukliderna med EU:s doskonverteringsfaktorer för oralt intag (EU, 1996). Kategoriseringen av de viktigaste radionukliderna var med ett undantag relativt entydig och framgår av figur 6.3.1<sup>5</sup>. Undantaget utgörs av teknetium-99 för vilken mobiliteten kan förväntas vara starkt beroende av redoxpotentialen bl.a. beroende av tillgången till löst syre i förvarsmiljön. I figur 6.3.1 antas teknetium-99 tillhöra kategori 3 vilket granskningsgruppen bedömer kan vara rimligt om reducerande förhållande antas råda framgent. Av jämförelsen framgår att det av SKB prognostiserade *realistiska* inventariet står i rimlig överensstämmelse med det inventarium som låg till grund för tillståndsansökan för samtliga kategorier av radionuklider och för samtliga förvarsdelar. Samma slutsats kan dock inte dras för SKB:s *konservativa* inventarium. För kategori 2, 3 och 4, dvs. för långlivad aktivitet överskrider det inventarium som ryms inom givet regeringstillstånd med upp till en storleksordning. Mot denna bakgrund anser granskningsgruppen att det kan vara nödvändigt för myndigheterna att göra en uppföljning av gällande villkor och eventuellt utfärda kompletterande tillståndsvillkor för förvaret.

---

<sup>5</sup> De radionuklider som inte ingick i inventariet från tillståndsprövningen men som finns med i inventariet i SSR 2001 är utelämnade från jämförelsen. Detta bedöms inte påverka slutsatserna från jämförelsen.



**Figur 6.3.1** I bilden illustrerar de ljusa staplarna kvoten mellan det realistiska (SKB, 2001) och det tillståndsgivna inventariet (SKB, 1987) och de mörka staplarna kvoten mellan det konservativa och det tillståndsgivna inventariet för de olika förvarsdelarna och för olika grupper av radionuklider. De inventarier som avses gäller prognoser fram till 2030. Följande radionuklider ingår i de olika grupperna:

Kortlivade radionuklider: tritium, järn-55, kobolt-60, strontium-90, ruthenium-106, cesium-134 samt cesium-137.

Långlivade mobila radionuklider: kol-14 (org.), niob-94 samt jod-129.

Långlivade sorberande radionuklider: kol-14 (oorg.), nickel-59, nickel-63, teknetium-99 samt cesium-135.

Långlivade transuraner: plutonium-238, plutonium-239, plutonium-240 samt americium-241.

### 5.3.5 Inventariet av betydelsefulla radionuklider

#### Granskningsgruppens bedömning

##### Kobolt-60 och cesium-137

Kobolt-60 är en relativt kortlivad ( $t_{1/2} = 5$  år) aktiveringsprodukt som bildas då inaktivt kobolt neutronbestrålas (aktiveras) i närheten av reaktorhärden. Eftersom förekomsten av kobolt-60 har stor betydelse för strålnivåerna i anläggningarna är halten inaktivt kobolt låg i de konstruktionsmaterial som finns i närheten av härden. Ansträngningar har även vidtagits för att minska på förekomsten av kobolt löst i reaktorvattnet.

Cesium-137 är en fissionsprodukt som bildas vid den kärnklyvning som äger rum i reaktorerna. Halveringstiden är 30 år. Halten av cesium-137 i reaktorvattnet, och därmed i driftavfallet, är starkt beroende av omfattningen av bränsleskador.

Kobolt-60 och cesium-137 dominerar initialt aktivitetssinnehållet i SFR 1. Halten av dessa radionuklider i avfallet är genom den gammastrålning som genereras vid sönderfallet enkel att bestämma och bestäms för allt avfall som genereras. Genom att radionukliderna representerar de två huvudsakliga produktionsmekanismerna av radioaktivitet i kärnkraftverk har SKB använt dem som nyckelnuklider vid beräkningarna av andra radionuklider genom korrelationsfaktorer.

SSI har ett flertal gånger genomfört kontrollmätningar av avfallskollin vid de olika kärntekniska anläggningarna i syfte att kontrollera de mätningar som genomförs och den metodik som tillämpas (Karlberg och Sandin, 1992; Lund m.fl., 1993; Westerlind m.fl., 1995; Wiebert, 1997 och Wiebert och Nordén, 1998). SSI:s kontrollmätningar har identifierat vissa brister som sedan har kunnat åtgärdas. SSI:s övergripande bedömning utifrån dessa inspektioner är att de mätningar som genomförs ger fullt godtagbara resultat. SSI:s konsult Ingemansson (2001) har även genomfört en uppföljning av vilka mängder avfall som deponerats i SFR 1 till och med år 1998. Denna genomgång visar på god överensstämmelse med det inventarium för kobolt-60 och cesium-137 som finns registrerat i SKB:s databas.

#### *Plutonium-239 och andra transuraner*

Plutonium och andra transuraner bildas primärt i kärnbränslet genom neutroninfångning. Halterna av ämnena i driftavfallet bestäms i huvudsak av förekomsten av bränsleskador med frigörelse av fissilt material.

Halterna av transuraner i avfallet bestäms genom de analyser av koncentrationen i reaktorvattnet som regelbundet görs vid kärnkraftverken. Baserat på dessa mätningar och på antagandet att uppsamlingen av ämnena är fullständig i vattenreningsfiltrena kan den totala mängden beräknas.

SSI har inspekterat metodiken som tillämpas vid kärnkraftverken för att bestämma transuranhalten i reaktorvattnet (SSI, 1999). SSI:s konsult Ingemansson (2001) har genom att tillämpa en alternativ metodik för att bestämma mängden transuraner i avfallet från kärnkraftverken bedömt att den använda metoden har en godtagbar noggrannhet.

För plutonium-239/240 och americium-241 i avfall från Studsviks verksamheter har tidigare halten korrelerats till halten av cesium-137 i avfallet (Andersson, 1991). Denna korrelation var baserad på faktiska mätningar av avfall. I inventarierapporten har inte dessa korrelationer använts och den alternativa metodiken redovisas inte heller. SKB har på myndigheternas begäran inkommit med en beskrivning av metodiken (brev från SKB, SSI 2002-01-31, dnr 6222/3019/01). Av denna framgår att SKB helt enkelt har postulerat att aktivitetssinnehållet i avfallet från Studsvik exakt kommer att uppgå till det tilldelade aktivitetstrycket för Studsviks avfall. Granskningsgruppen anser att denna metodik är oacceptabel och anser att SKB borde ha baserat det framräknade inventariet på faktiska mätningar i stället för hypotetiska antaganden. Av redovisningen i rapporten (Riggare och Johansson, 2001) kan det utläsas att SKB:s metodik leder till att den uppskattade förekomsten av transuraner i vissa avfallskategorier blir en till två tiopotenser lägre än om de uppmätta korrelationsfaktorerna i stället hade tillämpats.

### *Kol-14 (allmänt)*

Kol-14 är en långlivad radionuklid ( $t_{1/2} = 5\,700$  år) som bildas genom kärnreaktioner med den naturliga förekomsten av syre i reaktorvattnet. Kol-14 produceras även genom kärnreaktioner med föroreningar av kväve i reaktorvattnet. Vid föroreningsnivåer av kväve på ca 40 ppm i reaktorvattnet kommer dessa båda produktionsmekanismer att vara lika stora. Den totalt bildade mängden är av storleksordningen  $5 \cdot 10^{11}$  Bq per GWår producerad el (EPRI, 1995). Det har tidigare antagits att den allra största delen av det kol-14 som producerats går ut via ventilationssystemet till omgivningen under driften. SKB har baserat det prognostiserade inventariet på uppskattningar att 1 % av det kol-14 som produceras fastnar i reningssystemen för reaktorvattnet (Thegerström och Hård, 1981).

Vad gäller den kemiska formen hos det kol-14 som produceras är denna av stor betydelse för avfallets egenskaper från slutförvarssynpunkt. Mätningar av luftburna utsläpp visar att det råder stor skillnad mellan BWR och PWR. Medan ca. 5 % av kol-14 i utsläppen föreligger i organisk form vid BWR, kan motsvarande siffra för PWR vara uppemot 80 - 90 % (Stenström m.fl., 1995; EPRI, 1995). SKB antar i SSR 2001 att 10 % av det kol-14 som deponeras i SFR 1 föreligger i organisk form. Genom detta antagande anser SKB att man har tagit hänsyn till den större mängd organiskt kol-14 i SFR 1 som härstammar från PWR.

### *Kol-14 (PWR-avfall)*

Amerikanska studier som genomfördes under första halvan av 1990-talet har visat att halten organiskt kol-14 i avfallet från PWR kan vara större än vad som tidigare antagits (EPRI, 1995). I en tidigare studie genomförd på uppdrag av SSI, drar Torstenfelt och Olsen (1996) på basis av bl.a. de amerikanska studierna slutsatsen att en betydande del av det kol-14 som produceras i PWR kommer att tas upp i vattenreningsmassorna. Detta tillsammans med det faktum att en mycket hög andel förekommer i organisk form kan enligt granskningsgruppens bedömning leda till att inventariet av organiskt kol-14 från PWR blir större än vad SKB antar i SSR 2001. Om de amerikanska resultaten är tillämpliga även för svenska anläggningar betyder det att det realistiska inventariet av organiskt kol-14 i SFR 1 är underskattat med mellan en till två tiopotenser och det konservativa inventariet med upp till en tiopotens.<sup>6</sup> Granskningsgruppen delar således inte SKB:s slutsats att det måste anses troligt att inventariet av organiskt kol-14 är överskattat.

SKB är väl medvetna om de amerikanska resultaten. I appendix F i referensinventarie-rapporten för slutförvaret för annat långlivat avfall, SFL 3-5 (Lindgren m.fl., 1998), baserar SKB en diskussion om kol-14-halterna och den kemiska sammansättningen i olika typer av avfall från kärnkraftsindustrin på de amerikanska mätningarna. Vad gäller jonbytermassor från vattenreningssystemen vid kärnkraftverken anger SKB att förekomsten av kol-14 kan vara flera tiopotenser högre i avfall från PWR jämfört med BWR. Motsvarande diskussion återfinns inte i föreliggande säkerhetsrapport, vilket är anmärkningsvärt eftersom det aktuella avfallet deponeras i SFR 1. Granskningsgruppen anser att det vore befogat för SKB att beakta eller åtminstone kommentera de tidigare

<sup>6</sup> Utgående från att  $7 \cdot 10^{10}$  Bq organiskt kol-14 enligt EPRI (1995) årligen deponeras i SFR 1 från R2, R3 och R4 per GWår producerad el och att dessa anläggningar drivs i 40 år.



bedömningarna av organiskt kol-14 i PWR-avfall. Trovärdigheten i SKB:s hantering av denna fråga i SSR 2001 kan mot denna bakgrund ifrågasättas.

#### *Kol-14 (BWR-avfall)*

För vattenreningsmassor från BWR är bilden en annan. SSI:s konsulter Lundgren m.fl. (2002) uppskattar att någon procent av det producerade kol-14 fastnar i reaktorvattenreningsmassorna (system 331). Endast en liten andel av detta kol-14 antas föreligga i organisk form. Dessa uppskattningar är i överensstämmelse med de utgångspunkter som ligger till grund för SKB:s uppskattning av kol-14 inventariet.

Större osäkerhet råder kring mängden kol-14 i kondensatreningsmassorna (system 332). En stor fraktion av det kol-14 i form av koldioxid som bildas i reaktorerna kommer att följa ångflödet till kondensorn. En viss fraktion av denna koldioxid kan enligt SSI:s konsulter Lundgren m.fl. (2002) komma att lösas i vattenfasen och kan därefter förväntas att tas upp av kondensatreningsmassorna.<sup>7</sup> Resten, och av allt att döma den dominerande fraktionen av den producerade koldioxiden kommer genom ejektoravdraget i kondensorn att föras till avgassystemet. Hur stor del av den producerade koldioxiden som upptas av kondensatreningsmassorna är, såvitt granskningsgruppen känner till, inte klarlagt vid svenska BWR. Baserat bl.a. på analyser vid finska BWR redovisar SKB:s konsulter Hesböl m.fl. (1990) uppskattningar som pekar på att betydelsefulla mängder kol-14 kan återfinnas i dessa jonbyttarmassor och att dessa i själva verket kan dominera över de mängder som återfinns i reaktorvattenreningsmassorna (system 331) från BWR. Motsvarande studier kan behöva genomföras för svenska anläggningar. SSI:s konsulter Smith m.fl. (2002) når samma slutsats och rekommenderar att reaktorspecifika massbalansstudier av producerad mängd kol-14 genomförs för samtliga svenska reaktorer, såväl för BWR som för PWR.

Kondensatreningsmassor från kokvattenreaktorerna vid Barsebäck och OKG slutförvaras i huvudsak i BTF medan motsvarande avfall från Forsmark huvudsakligen slutförvaras i BMA. Vissa mängder kondensatreningsmassor har även deponerats i BLA. Granskningsgruppen anser att förekomst och betydelse av eventuellt högre halter framförallt av oorganiskt kol-14 i dessa förvarsdelar inte är klarlagt.

#### *Nickel-59 och nickel-63*

Nickel förekommer i kärnkraftverken som legering i olika typer av material. I exempelvis rostfritt stål finns ca. 8 % nickel som genom neutronbestralning kan aktiveras till de radioaktiva isotoperna nickel-59 ( $t_{1/2} = 75\ 000$  år) och nickel-63 ( $t_{1/2} = 100$  år). Dessa båda radionuklider utsänder vid sitt sönderfall svag strålning, bland annat i form av elektronstrålning.

SKB har i sin uppskattning inte behandlat PWR på annat sätt än BWR. Enligt SSI:s konsult Ingemansson (2001) behöver detta göras av två anledningar; dels är halten kobolt-60 lägre i reaktorvattnet i PWR dels är halten nickel i reaktorvattnet högre i PWR än i BWR (främst beroende på att ånggeneratorrörerna är tillverkade av nickel-

---

<sup>7</sup> En inblandning av ca 5 % av producerat kol-14 i form av koldioxid i kondensatet vid Barsebäck och OKG motsvarar SKB:s konservativa inventarium för BTF. (Baserat på att produktionsraten av kol-14 är 23 kBq/MWh<sub>th</sub> (Lundgren m.fl. 2002)).

baslegeringen Inconel). Dessa båda faktorer leder till en underskattning av inventariet av radioaktivt nickel om korrelationsfaktorerna baseras på mätningar av reaktorvattnet i BWR. Av underlaget till valet av korrelationsfaktor framgår också att osäkerheterna är relativt stora (Lindgren m.fl., 1998).

Enligt SSI:s konsult Ingemansson (2001) kommer förekomsten av radioaktivt nickel i SFR 1 till stor del att härstamma från PWR. Enligt denna utredning, som är baserad på reaktorvattenmätningar vid Ringhals, kan mängden radioaktivt nickel enbart från PWR vara jämförbar med den konservativa källterm som SKB tagit fram.

Mot bakgrund av den dominerande roll som även källtermen av främst nickel-59, men även nickel-63, har för det långsiktiga strålskyddet anser granskningsgruppen att det är otillfredsställande att det alltjämt råder stora osäkerheter.

### **5.3.6 Granskningsgruppens sammanfattande bedömning**

SKB har i rapporten (Riggare och Johansson, 2001) redogjort för hur inventariet för SFR 1 har tagits fram. SKB har i stor utsträckning utgått ifrån framtagna data och erfarenheter från redan producerat avfall vid de svenska kärntekniska anläggningarna. De frågor som granskningsgruppen har bedömt är:

- Metodiken vid framtagandet av inventariet.
- Tillåtligheten av det inventarium som SKB har härlett i förhållande till det inventarium som låg till grund för tillståndsansökan.
- Tilltron till det härledda inventariet.

#### ***SKB:s metodik***

SKB har i mycket stor utsträckning baserat inventariet på korrelationer mellan tre nyckelnuklider (kobolt-60, cesium-137 och plutonium-239) och övriga nuklider. Granskningsgruppen anser att det underlag som SKB har tagit fram i princip utgör en bra grund för att prognostisera inventariet i SFR 1 och att SKB till stora delar har använt sig av den tillgängliga informationen på ett godtagbart sätt. Granskningsgruppen har dock följande invändningar:

- Mot SKB:s metod att välja korrelationsfaktorer utifrån från det framtagna underlaget kan anföras:
  - Mot bakgrund av att de mätningar av korrelationer som presenteras i flera fall visar på stora spridningar anser granskningsgruppen att SKB borde ha ägnat större omsorg vid valet av korrelationsfaktorer för att säkerställa att betydelsen av de osäkerheter som föreligger återspeglas i de gjorda valen.
  - I andra fall har SKB baserat valet av korrelationsfaktor på ett beräknat värde trots att mätningar tyder på att ett högre värde är, om inte rimligare, så åtminstone ett försiktigare val.
- SKB:s metod att basera inventariet av transuraner i avfallet från Studsvik på ett hypotetiskt antagande om total deponerad mängd i stället för att basera inventariet på uppmätta korrelationsfaktorer i producerat avfall är inte godtagbar. Även fortsättningsvis behöver mängden transuraner i Studsviks avfall begränsas genom att särskilt reglera innehållet av cesium-137.

- SKB:s metod att konsekvent tillämpa samma korrelationsfaktor både för avfall som härstammar från BWR och från PWR ifrågasätts. För vissa betydelsefulla radionuklider kan väsentliga skillnader föreligga, vilket SKB har påpekat i andra sammanhang. Detta gäller främst halten av kol-14, nickel-59, nickel-63 och jod-129 i avfallet.

### ***Tillåtligt inventarium i SFR 1***

SKB anger att det konservativa inventarium som analysen baseras på motsvarar det inventarium som SFR 1 är dimensionerat och licensierat för. SKB motiverar denna ståndpunkt med att detta inventarium motsvarar den totalaktivitet som drifttillståndet var baserat på.

Granskningsgruppen delar inte SKB:s utgångspunkt för detta resonemang och anser att regeringens tillstånd inklusive föreskrivna villkor inte ger SKB frihet att exempelvis ersätta en minskad mängd deponerad kortlivad aktivitet med en lika stor mängd långlivad. Det är uppenbart att det nuklidspecifika inventarium som angavs vid tillståndsprövningen utgör en övre gräns för den tillåtliga radiotoxiciteten för de olika förvarsdelarna. Granskningsgruppen anser samtidigt att det är rimligt att tillåta viss omfördelning inom dessa gränser, med hänsyn tagen till de olika radionuklidernas radiotoxicitet, halveringstid och mobilitet i förvarsmiljön.

Granskningsgruppen har vid genomgången av det inventarium som SKB baserat konsekvensanalysen på, det *konservativa*, funnit att halten långlivade radionuklider generellt sett har ökat, jämfört med det inventarium som låg till grund för tillståndsansökan. För det uppskattade inventarium som SKB benämner det *realistiska* råder bättre överensstämmelse med det tillståndsgivna inventariet. Viss reservation måste dock göras för betydelsen av teknetium-99, med hänsyn till förvarets långsiktiga geokemiska utveckling, se avsnitt 5.6.3 i denna rapport.

Sammanfattningsvis gör granskningsgruppen bedömningen att det inventarium som SKB benämner som *realistiskt* väsentligen ryms inom det ursprungliga tillståndet för SFR 1. Det inventarium som SKB benämner *konservativt* ryms inte inom regeringens tillstånd för SFR 1. Frågor kopplade till uppfyllelse av gällande tillståndsvillkor kan behöva följas upp i den fortsatta myndighetsutövningen.

### ***Tilltro till det härledda inventariet***

Granskningsgruppen kan konstatera att inventariet av de gammastrålande nyckelnukliderna kobolt-60 och cesium-137 är väl dokumenterat genom de mätningar som rutinmässigt görs på allt avfall som produceras. Samma slutsats gäller den totala förekomsten av plutonium som regelbundet bestäms genom mätningar av reaktorvatten och bränslebassängsvatten vid kärnkraftverken. Granskningsgruppen anser att underlaget för att bedöma förekomsten av dessa radionuklider således är bra för redan producerat avfall från kärnkraftverken och för prognoser om framtida avfall, med reservation för den påverkan framtida bränsleskador kan ha. Dagens inventarium bedöms, för de alla flesta radionuklider, vara mindre än SKB:s realistiska inventarium, vilket utgör en prognos för inventariet år 2030.

Som framgår av granskningsgruppen granskning är främst inventariet av vissa betydelsefulla aktiveringsprodukter förknippat med osäkerheter. Detta gäller i synnerhet förekomsten av kol-14 och de radioaktiva nickelisotoperna, främst nickel-59. Otillfredsställande osäkerheter förefaller även råda för inventariet av fissionsprodukten jod-129. Det kan dessutom vara nödvändigt att ytterligare studera fördelningen av transuraner mellan de olika förvarsdelarna.

Granskningsgruppen anser att det mot bakgrund av granskningen inte kan uteslutas att det verkliga inventariet av dessa radionuklider kan komma att bli i paritet med eller till och med överskrida det inventarium som SKB benämner det konservativa. Med tanke på att dessa radionuklider dominerar både den långsiktiga källtermen och de beräknade framtida stråldoserna från slutförvaret behöver en förbättrad uppskattning av inventariet göras, åtminstone delvis baserade på reaktorspecifika mätningar. Detta underlag behövs för att kunna bedöma om inventariet i SFR 1 ryms inom det givna tillståndet.

## **5.4 Systembeskrivning**

I detta avsnitt kommenteras avsnitten 5.4.1, 5.4.2 och 5.4.9 i SSR 2001 för SFR 1 med avseende på fullständigheten och de verktyg som används för systembeskrivningen.

### **5.4.1 Interaktionsmatriser**

#### ***SKB:s redovisning***

Systembeskrivningen bygger på användningen av interaktionsmatriser, där diagonalelementen innehåller viktiga variabler, medan övriga element innehåller de beroenden som finns mellan variablerna (processer). Valet av variabler utgår från termiska, hydrogeologiska, hydrogeokemiska och mekaniska tillstånd, samt förvarsdelarnas fysiska form. För att få storleksmässigt hanterliga matriser används variablerna som rubrik för flera parametrar. Systembeskrivningen är också indelad i 3 olika systemdelar: slutförvar, geosfär och biosfär. Respektive delmatris innehåller utbytet mellan dessa systemdelar som randelement. Stor uppmärksamhet har ägnats åt gränssnitten mellan systemdelarna för att säkerställa att inga direkta beroenden mellan tillstånd i olika systemdelar har förbisetts.

Bara direkta interaktioner mellan två variabler anges; indirekt påverkan fås genom att följa beroendekedjor i matrisen. Eftersom en variabel kan innehålla flera parametrar fås även interna interaktioner i diagonalelementen. Dessa dokumenteras på samma sätt som interaktionerna i elementen utanför diagonalen.

Utifrån valda scenarier görs sedan en bedömning av hur viktiga interaktionerna är, vilket visas med en färgkodning i den grafiska representationen. Bedömningarna har i huvudsak gjorts av experter från projektgruppen för säkerhetsanalysen av SFR 1, kompletterat med ytterligare sakkompetens inom vissa områden. Inga ”oberoende” experter har använts.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

En grundläggande del av säkerhetsanalysen är att göra en beskrivning av systemet och dess utveckling, och att använda listor med förhållanden, händelser och processer, FEP

(eng. features, events and processes) är en internationellt vedertagen metod (NEA, 2001).

Det finns flera olika metoder att organisera och beskriva FEP och hur de interagerar för att därigenom ta fram en systembeskrivning. SKB har i olika analyser använt omvända felträd (fördjupad säkerhetsanalys för SFR 1; SKB, 1991), interaktionsmatriser (slutlig säkerhetsrapport SFR 1; SKB, 2001a) och THMC-diagram (SR 97; SKB, 1999). SKI har utvecklat processinfluensdiagram, PID (säkerhetsanalysprojektet SITE-94; Chapman m.fl., 1995). Gemensamt för dem alla är det systematiska angreppssättet, där man med en väl dokumenterad användning av expertbedömningar och väldefinierade regler och kriterier avgör hur man skall inkludera respektive exkludera FEP, samt värdera FEP och deras interaktioner.

Granskningsgruppen ser inte några avgörande för- och nackdelar vid valet av metod. De är alla komplicerade att använda och förstå, vilket myndigheterna tidigare framfört vid granskningen av SR 97 (SKI, 2000). Det är därför viktigt att utvecklingen av metoderna fortsätter, inte minst för att systembeskrivningen skall vara utformad så att den underlättar granskningen av säkerhetsanalysen.

En fördel med matrisen som metod att beskriva det studerade systemet är åskådligheten. Samtidigt begränsas dock detaljeringsgraden, d.v.s. antalet parametrar och interaktioner som kan redovisas, av att matrisen i praktiken inte kan göras obegränsat stor. En konsekvens av detta är att parametrarna, diagonalelementen, i sig inte är singulära utan innehåller processer och interaktioner. Det är viktigt att denna begränsning hanteras på ett riktigt sätt och på ett sätt som kan genomskådas. Detta kan ytterligare förbättras i SKB:s fortsatta arbete.

Det är väsentligt att gränssnittet mellan de tre matriserna behandlas på ett trovärdigt sätt. Gränsen mellan geosfär och biosfär och hur den ska beaktas har varit uppmärksammas sedan mitten av 1980-talet. Det är positivt att SKB i de tre matriser som används för att beskriva förvarskonceptet nu tagit med övergången mellan geosfär och biosfär.

Som ett led i systembeskrivningen ingår att motivera varför vissa identifierade interaktioner/processer inte behöver ingå i den slutliga analysen och därför inte behöver beaktas i modellerna. Sådana motiveringar finns dokumenterade i Appendix E i (SKB, 2001b). I flertalet fall är det tämligen uppenbart varför en viss interaktion/process inte är relevant (grön färgkodning i matrisen), medan det i några fall kan vara mindre uppenbart. Kriterierna är generella och motiveringarna i huvudsak kvalitativa. Ett exempel på en interaktion som inte beaktats är "decomposer-food supply-humans" 4.8 b i biosfärsmatrisen i (SKB, 2001b). Motiveringen är att tillförseln av tänkbara livsmedel, exempelvis svamp, inte är begränsande för den mänskliga populationen. Detta är säkert riktigt. Men att inte ta med denna interaktion innebär också att en viktig exponeringsväg till människa kan bli förbisedd. För andra typer av "food supply" interaktioner, exempelvis musslor och ostron, 5.8 b (SKB, 2001b), anges också att de inte är begränsande men dessa tas med just med motiveringen att de är viktiga exponeringsvägar till människa.

En annan fråga gäller hur tidsberoendet av processer/interaktioner vägts in i systembeskrivningen. Det framgår inte tillräckligt tydligt hur SKB har tagit hänsyn till vilka processer som är relevanta under olika tidsperioder, d.v.s. hur dynamiken i systemet ska beskrivas.

Sammantaget gäller att den stora utmaningen ligger i att genomföra systembeskrivningen på det systematiska sätt som metodiken föreskriver, och dokumentationen är därvid en nyckelfråga. Detta gäller oberoende av vald metod för systembeskrivningen. Granskningsgruppen anser att den publicerade dokumentationen av systembeskrivningen är på en rimlig detaljeringsnivå, men att underliggande databaser med dokumentation av bl.a. expertbedömningar bör göras bättre tillgängliga, än att endast finnas i SKB:s datorbaserade system.

#### **5.4.2 Informationsflödesdiagram**

##### ***SKB:s redovisning***

Systembeskrivningen i form av interaktionsmatriser kan inte direkt användas för att göra kvantitativa analyser. Med hjälp av informationsflödesdiagram visas på vilket sätt de processer och interaktioner som bedömts vara väsentliga i interaktionsmatriserna tas om hand i den kvantitativa analysen. Diagrammen definierar också de principiella flödena av data i analysen och är därför en viktig utgångspunkt för att ta fram indata till olika delanalyser.

Framtagandet av informationsflödesdiagrammen är en iterativ process. Först identifieras modeller, analyser och analyskedjor utifrån en expertbedömning om vad som bör och kan analyseras kvantitativt. Dessa preliminära informationsflödesdiagram har sedan stämts av mot innehållet i interaktionsmatriserna. Kontrollen har ibland resulterat i att valet av modeller utvecklats, i andra fall har inverkan av processen kunnat försummas.

##### ***Granskningsgruppens bedömning***

Framtagandet av interaktionsmatriserna är ett strukturerat sätt att besluta om och beskriva vilka processer som skall analyseras. Steget från denna beskrivning av systemet till de analyser och modeller som används behöver ske på ett lika strukturerat sätt. SKB har i SSR 2001 för SFR 1 använt sig av informationsflödesdiagram för att visa hur beräkningarna och analyserna är organiserade.

Granskningsgruppen anser att användningen av informationsflödesdiagram är ett verktyg som både kan användas för att presentera hur analysen är organiserad och att användas för en systematisk genomgång av hur de olika variablerna och interaktionerna tagits om hand. SKB har gjort diagrammen dels på en översiktlig nivå, dels på en mer detaljerad nivå (slutförvar, geosfär, biosfär), vilket naturligtvis är bra ur presentations-synpunkt.

Interaktionsmatrisen, definierad genom parametrar och interaktioner/processer, är den konceptuella modell som ligger till grund för de numeriska modellerna som används i säkerhetsanalysen. Det måste vara tydligt hur informationen i matrisen har utnyttjats för att ta fram de numeriska modellerna. Det måste vara möjligt att följa utvecklingen från abstraktion av verkligheten i en konceptuell modell (här matris) till överföringen i numeriska modeller. Granskningsgruppen anser att det finns brister i härledningen av de numeriska modellerna från systembeskrivningen, och att det uppstår gap mellan all den information och kunskap som finns i matrisen och detaljerna i de numeriska modellerna. Det sistnämnda påpekas särskilt av myndigheternas konsulter Klos och Wilmot (2002) i

deras genomgång av biosfärmodelleringen i SKB:s SSR 2001 för SFR 1 (se exempelvis avsnitt 5.8.1 i denna rapport).

Eftersom det inte finns något ett-till-ett förhållande mellan systembeskrivningen och de använda modellerna och analysen är det synnerligen viktigt att dokumentera den systematiska genomgången av hur innehållet i interaktionsmatriserna tagits om hand. SKB har beskrivit detta i kapitel 5 i scenariorapporten (SKB, 2001b). Det finns dock inte någon formell avstämning mellan interaktionsmatriser och modeller. Granskningsgruppen anser att systematiken i genomgången inte framgår tillräckligt tydligt, och kan därför inte heller bedöma om metodiken tillämpats fullt ut. En tabell eller databas skulle vara ett lämpligt komplement för att tydliggöra den använda metodiken.

Informationsflödet mellan olika analyser och modeller innebär i regel någon form av tolkning och bedömning, vilket också måste göras på ett systematiskt och spårbart sätt. Informationsflödesdiagrammen skulle kunna vara ett verktyg för detta, men granskningsgruppen kan inte på ett enkelt sätt utläsa i SKB:s scenariorapport hur dessa tolkningar och bedömningar utförts.

### **5.4.3 Fullständighet i systembeskrivningen**

#### ***SKB:s redovisning***

Det systematiska och dokumenterade arbetet med att ta fram interaktionsmatriser, med deltagare från olika kompetensområden utgör i sig en metodik som fokuserar på fullständighet. Fullständigheten i systembeskrivningen framgår också av resultatet av jämförelsen med OECD/NEA:s FEPs-databas. Jämförelsen med NEA:s databas och tidigare säkerhetsanalyser har resulterat i ett brett urval av tänkbara scenarioinitierade händelser och tillstånd som väl bör täcka in den framtida utvecklingen av SFR 1.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen instämmer med SKB i att den använda metodiken som bygger på att genom dokumenterade expertbedömningar stegvis gå från listor med FEP, via interaktionsmatriser och informationsflödesdiagram till analyser, ger förutsättningar för fullständighet i analysen. För att uppnå detta krävs att metodiken verkligen tillämpas fullt ut. Som framgått ovan (i avsnitt 5.4.1 och 5.4.2 i denna rapport) anser granskningsgruppen att det finns brister i tillämpningen av metodiken för att ta fram systembeskrivningen.

NEA:s internationella FEPs-databas är uppbyggd av en gemensamt framtagen (av en arbetsgrupp inom NEA) lista på FEPs samt FEPs-listor från olika nationella projekt. Den gemensamma listan används för att "navigera" i den totala mängden FEPs från alla de ingående projekten. Avstämningen mot OECD/NEA:s internationella FEP-databas (version 1.0) finns beskriven i (SKB, 2001b), och har gjorts i linje med intentionerna med denna databas. Man måste dock komma ihåg att NEA:s databas är uppbyggd bl.a. av data från Sverige (SKB och SKI), vilket innebär en viss risk att en jämförelse blir en jämförelse med egna data (en form av cirkelbevis). Det är inte möjligt att från SKB:s rapportering avgöra i vilken utsträckning som detta har påverkat slutsatserna av jämförelsen.



Myndigheterna har låtit göra en jämförelse (Stenhouse, 2002) av processer/interaktioner i SKB:s matris och de som identifierats av SKI/SSI för närområde och geosfär (Stenhouse m.fl., 2001) respektive biosfär (Egan m.fl., 2001). Svårigheter som uppmärksammades vid jämförelsen var de olika angreppssätten som använts för identifiering av FEPs, och olika detaljeringsgrad, särskilt för biosfären. Resultaten visar dock inte på några anmärkningsvärda skillnader.

Dokumentationen har delvis skett i databaser, vilket är rimligt med tanke på de mängder av olika typer av listor som genereras i den stegvisa sorteringen och bedömningen. Granskningsgruppen anser dock att dessa databaser måste göras bättre tillgängliga. Detta skulle ge möjlighet till en mer ingående detaljerad granskning av t.ex. detaljer i expertbedömningarna eller vilka FEP från OECD/NEA-databasen som sorterats bort.

## **5.5 Val av scenarier**

I avsnitt 5.5.1 kommenteras SKB:s metodik för att definiera scenarier, avsnitt 5.3 i SSR 2001 för SFR 1. I de följande avsnitten kommenteras SKB:s urval av scenarier och hur de hanteras i den påföljande analysen, avsnitten 5.4 och 5.6 i SSR 2001.

### **5.5.1 Metodik för val av scenarier**

#### ***SKB:s redovisning***

Scenarier är olika tänkbara kombinationer av yttre och inre betingelser som kan inverka på funktionen hos ett slutförvar. Mycket av utvecklingen inom detta område under senaste 10-15 åren har fokuserat på att kunna identifiera sådana betingelser i form av förhållanden, händelser och processer (FEP) som kan ingå i beskrivning av scenarier. Systematiska metoder för detta ändamål har tagits fram liksom databaser med FEP.

SKB:s utgångspunkt för identifikation av scenarioinitierande händelser (SKB, 2001), s.k. externa FEP, för SSR 2001 är NEA:s internationella FEP-databas. Utifrån denna och erfarenheter från tidigare genomförda säkerhetsanalyser för bl.a. SFR 1 har SKB valt ut vilka scenarioinitierande händelser som skall analyseras. Kriterierna för denna urvalsprocess anges av SKB vara externa FEP som är relevanta för det aktuella avfallet, de avfallsbehållare som används liksom geologin och det geografiska läget för slutförvaret. Slutligen anger SKB att externa FEP bara behöver vara relevanta för den tidsperiod om 10 000 år som säkerhetsanalysen av SFR 1 omfattar.

SKB har gjort en omfattande genomgång av externa FEP och diskuterar även hur dessa tagits om hand i tidigare säkerhetsanalyser, inte bara för SFR 1 utan också i säkerhetsanalyserna för slutförvaren för använt kärnbränsle, SFL 2, och för annat långlivat avfall, SFL 3-5. Utifrån denna genomgång har SKB formulerat ett antal scenarier. Urvalet grundar sig på expertbedömningar och på utfallet av de tidigare analyserna.

Utgångspunkten för analysen av SFR 1:s långtidfunktion är ett scenario som bygger på antagandet att slutförvaret vid förslutning har förväntade egenskaper och att inga andra externa FEP påverkar slutförvaret utom landhöjningen. Förutom detta s.k. basscenario har sedan SKB i ett antal ytterligare scenarier analyserat betydelsen av olika inre och yttre störningar, t.ex. klimatförändringar, initiala defekter och mänsklig verksamhet. För varje scenario anges en definition, om möjligt görs ett försök till uppskattning av hur

sannolikt scenariot är och det diskuteras hur scenariot skall analyseras i SSR 2001. Dessa scenarier täcker enligt SKB in de flesta relevanta utvecklingarna för slutförvaret. Scenarierna beskrivs av SKB (i huvudsak) under följande rubriker motsvarande olika grupper av scenarier:

- Basscenario.
- Initiala defekter/avvikelser.
- Klimatförändringar.
- Mänskligt handlande.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen kan konstatera att SKB:s genomgång mot NEA:s FEP-databas är både noggrann och väldokumenterad och gör bedömningen att SKB har identifierat de viktigaste scenarioinitierande händelserna. Granskningsgruppen ifrågasätter dock att SKB utgått från en begränsning av tiden för externa FEP och därmed även en begränsning av säkerhetsanalysen till att omfatta bara 10 000 år. Myndigheternas föreskrifter ger inget stöd för en sådan begränsning – den *kortaste* tiden för säkerhetsanalysen är 10 000 år enligt SKI:s föreskrifter (SKI, 2002). De beräkningar som SKB presenterar tyder inte heller på minskande utsläpp från förvarsdelarna (förutom BLA) vid denna tidpunkt (se även avsnitt 5.8.8 och kapitel 6 i denna rapport). Det är SKB:s ansvar att visa om säkerhetsanalysen kan begränsas i tiden. Detta kan göras på flera sätt, och den grundliga argumentation som behövs i denna centrala fråga saknas i stort sett i SKB:s rapportering.

Myndigheterna har i tidigare granskningar efterlyst en mer systematisk ansats vid val av scenarier. Det bör t.ex. framgå vilka kriterier som ligger till grund för val av ett scenario med hänsyn till den samlade utvärderingen av risk. Granskningsgruppen bedömer att den metodik som presenteras i SSR 2001 för val och formulering av scenarier är ett steg i rätt riktning från den bristfälliga metodik som tillämpades i SR 97. I SSR 2001 har SKB exempelvis, för varje scenario, försökt diskutera och bedöma dess sannolikhet. Granskningsgruppen stödjer denna ansats då den är nödvändig för att kunna bedöma uppfyllelsen av SSI:s riskkriterium. Dock behöver SKB:s argumentation för de valda scenariosannolikheterna förtydligas, se avsnitt 5.9 i denna rapport.

Även om den metodik som presenteras i SSR 2001 för val och formulering av scenarier är en klar förbättring kvarstår vissa brister. Steget från identifiering av de viktigaste scenarioinitierande händelserna till valet och formuleringen av scenarierna är fortfarande alltför bristfälligt motiverat. SKB behöver t.ex. föra resonemang som på ett bättre sätt klargör i vad mån valet av scenarier med tillhörande beräkningsfall är heltäckande.

Ett problem vad gäller SKB:s redovisning är att beskrivningen av scenarier inte är konsistent och inte strukturerad på samma sätt, varken inbördes i kapitel 5 i SSR 2001, eller i jämförelse med underlagsrapport (SKB, 2001). I den senare behandlas t.ex. fall med jordbävningar under *Klimatförändringar* medan *Tektoniska händelser* fått en särskild rubrik i SSR 2001. Gruppen *Övriga scenarier* definieras också olika i underlag och säkerhetsrapport. SKB förenklar också efterhand i listan över scenarier och deras

benämningar vilket gör det svårt att bedöma om den ursprungliga uppsättningen scenarier faktiskt täcks av de valda beräkningsfallen.

En annan viktig fråga som togs upp i myndigheternas närmast föregående granskning (SKI, 1992; SSI, 1992) är hur olika ogynnsamma FEP kombineras resp. behandlas i separata scenarier (t.ex. initiala defekter, klimatutveckling, alternativa biosfärer m.m.). Det är fortfarande svårt att se om SKB har med alla viktiga kombinationer, eftersom behandling av vissa osäkerheter har lyfts ut från basscenariot och behandlats som extremscenarier med låg sannolikhet. Det finns också oklarheter i SKB:s redovisning om hur scenarier utnyttjas systematiskt för analys av osäkerheter, t.ex. för att generera tillräckligt med beräkningsfall baserat på en känslighetsanalys. SKB skulle i dessa avseenden vinna på att ta till sig de krav och rekommendationer som framgår av SKI:s föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring (SKI, 2002) med tillhörande allmänna råd.

För varje scenario har en expertgrupp gjort bedömningar av betydelsen av olika FEP och influenser. Dessa bedömningar har dokumenterats i en särskild databas hos SKB som dock är ett internt arbetsmaterial (se sid. 5.4-3 i SSR 2001, samt svar på fråga 6 i brev från SKB, SKI 2002-02-04, dnr 7.49 011030). Det är tveksamt om detta förfarande uppfyller rimliga krav på spårbarhet.

### **5.5.2 Basscenario**

#### ***SKB:s redovisning***

Som utgångspunkt för säkerhetsanalysen har SKB valt vad man kallar ett basscenario. Enligt scenariorapporten (SKB, 2001) bygger detta i korthet på att slutförvaret fungerar som förväntat, att dagens klimat är oförändrat, att landhöjning sker och att brunnar kan förekomma i närheten av slutförvaret. Även sådana processer som leder till förväntade försämringar av slutförvarets säkerhetsfunktioner skall beaktas i detta scenario. I avsnitt 5.4.3 i SSR 2001 bibehålls denna ursprungliga definition av scenariot.

I konsekvensanalysen ingår i basscenariot beräkningar som för ett antal alternativa biosfärer visar effekten av intakta barriärer, av gasutveckling och för det fall barriärerna degraderas efter 1 000 år.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen har inget att invända mot SKB:s beskrivning av förvarets utveckling. Däremot är betydelsen av de stora förenklingar som gjorts i utvärdering av basscenariot otillräckligt belysta. I basscenariot analyseras endast fall där det antas att viss degradering av barriärerna sker efter 1 000 år – därefter sker ingen ytterligare försämring av barriärfunktionen. Vidare används i stor utsträckning förenklade pessimistiska antaganden vad gäller närområdets utveckling och radionuklidfrigörelse samt geosfärens betydelse för retardation.

Granskningsgruppen anser att analysen av ett bas- eller huvudscenario bör så realistiskt som möjligt beskriva slutförvarets gradvisa utveckling, dels som utgångspunkt för alternativa utvecklingsvägar/scenarier, dels för att demonstrera en förståelse för de processer som styr slutförvarets utveckling. Inom ramen för ett sådant basscenario bör också analyseras inverkan av osäkerheter, t.ex. i klimatutveckling, barriärernas

degradering och alternativa biosfärsrecipienter m.m. Denna användning av ett huvudscenario beskrivs i SKI:s föreskrifter med allmänna råd (SKI, 2002). SKB har i många avseenden gjort en bra ansats i denna riktning i avsnitten 5.5 och 5.6, även om analysen ännu inte utförts på ett tillräckligt systematiskt sätt, t.ex. när det gäller analys av osäkerheter. Uppdelning av förvarets utveckling och motivering av beräkningsfall på olika avsnitt i SSR 2001 medför brister i spårbarhet och transparens.

Vissa processer, för vilka det är orimligt att inkludera en realistisk beskrivning, måste istället konservativa antaganden utnyttjas. Granskningsgruppen anser dock detta alternativ bör begränsas och i erforderliga fall kompletteras med en analys som demonstrerar konservatism.

Behandlingen av gasgenerering kan tas som ett exempel på vikten av en mer systematisk ansats. I ett huvudscenario kan mycket väl ingå fall som belyser effekten av gasutveckling så som SKB gjort i SSR 2001. Det saknas dock en vidare diskussion om varför gasdriven transport av radionuklider inte kan förekomma i senare skeden, med brunnar som recipient, eller varför gasdriven transport inte analyseras kombinerat med andra osäkerheter (degraderade barriärer, höga flöden, ackumulering i sediment, förekomst av komplexbildare etc.).

### **5.5.3 Initiala defekter**

#### ***SKB:s redovisning***

Denna grupp av scenarier används av SKB för att belysa tänkbara effekter av oupptäckta fel i barriärerna (sprickor i betong, otäta borrhål) och förekomst av ”kvarglömda” kemikalier med ogynnsamma egenskaper.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen har svårt att inse att det skulle kunna förekomma initiala defekter av detta slag och instämmer därmed i SKB:s åsikt att kunskapen om slutförvarets tillstånd borde vara hög. Det saknas dock en fördjupad diskussion om förekomsten av sådana defekter som SKB analyserar under denna rubrik.

Enligt granskningsgruppens uppfattning bör dessa scenarier i första hand hanteras som osäkerheter, dels i kvaliteten hos utförandet av slutförvaret, dels som osäkerheter i kunskapen om ogynnsamma processer (degradering av barriärer, inverkan av komplexbildare). Vidare kan denna typ av scenarier användas som s.k. konstruktionsstyrande fall, t.ex. i form av ”what-if”-beräkningar för att fastställa krav på utförande och kontrollmetoder samt acceptanskriterier för avfall. I och med att dessa sorteringskriterier inte använts blir tillämpningen av denna grupp scenarier oklar.

Granskningsgruppen anser dessutom att inverkan av komplexbildare fått en alltför undanskymd plats under denna rubrik i SSR 2001. Förekomsten i SFR 1 av organiskt material med dess ogynnsamma egenskaper är ett faktum och inte något som kan benämnas en initial defekt eller avvikelse. Avvikelsen består snarare i brist på tillräcklig kunskap om hur dessa fenomen skall hanteras och bedömas. Granskningsgruppen ifrågasätter sammanfattningsvis att den enda betydelsefulla osäkerheten är huruvida avsevärt större mängder cellulosa kan förekomma i SFR 1 (jämfört med vad som

prognosticerats) och menar därför att osäkerheterna, förutom i fallet ”kvarglömda kemikalier”, borde behandlats utförligare i basscenariot.

#### **5.5.4 Klimatförändringar**

##### ***SKB:s redovisning***

SKB hänvisar till säkerhetsanalysen SR 97 i vilken en tänkbar kommande klimatutveckling i Sverige redovisats. Enligt SKB är den bästa uppskattning som kan göras för Forsmarksområdet att dagens klimat består under de kommande 5 000 åren (förutsättning i basscenariot). Det finns ingen anledning att studera fall där Forsmarksområdet täcks av is, eftersom detta inte kommer att inträffa under de närmaste 20 000 åren, enligt SKB.

Läget för havets strandlinje kan komma att variera, först pågår en landhöjning (havsnivån sjunker), sedan kommer efter mycket lång tid en landsänkning (havsnivån stiger) p.g.a. att landet trycks ner när inlandsisen växer till. SKB anser att någon permafrost inte hinner utvecklas, men att den heller inte helt kan uteslutas efter 5 000 år.

SKB påpekar även att mänskliga handlingar kan påverka det framtida klimatet eller miljön, speciellt finns det anledning att studera inverkan av surt regn och global uppvärmning (växthuseffekten).

SKB redovisar resonemang för de fall som enligt SKB är värda att analysera samt hur man i SSR 2001 har tagit om hand detta. SKB har valt ut två processer "förändrad havsnivå - strandlinjeförskjutning" samt "permafrost" som diskuteras mer utförligt. Det förstnämnda täcks enligt SKB in helt av basscenariot, det sistnämnda täcks delvis in. SKB anser emellertid att det kan vara motiverat att värdera inverkan på betongkonstruktioner och bentonitbarriärer av djup kontinuerlig permafrost och efterföljande period när permafrosten smält.

##### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen kan konstatera att SKB inser att förutsägelser om kommande klimatutvecklingar är behäftade med osäkerheter. Det är därför en brist att SKB inte försöker illustrera osäkerheterna i sina antaganden om den framtida klimatutvecklingen. Granskningsgruppen anser att det behövs en fördjupad analys av alternativa klimatutvecklingar som dessutom inte är tidsbegränsad till 10 000 år. Till en sådan analys bör SKB koppla en diskussion och utvärdering av möjliga recipienter och inte, som i permafrostscenariot i SSR 2001, postulera att dagens biosfär alltså råder. Genom den stora utspädning som utsläpp till Östersjön för med sig är det svårt att bedöma betydelsen av detta scenario. I själva verket bör kombinationen permafrost och inlandsrecipient vara ett mer sannolikt fall än det som SKB redovisar.

SKB gör ett kvalitativt resonemang om växthuseffektens påverkan på SFR 1 i längre tidsperspektiv, bl.a. påverkan på hastigheten av strandlinjeförskjutningen. SKB sammanfattar med att de redovisade fallen som kan uppstå täcks in av analyser i basscenariot. Granskningsgruppen anser att med de antaganden/resonemang som görs är detta en rimlig ansats.

### 5.5.5 Tektoniska händelser

#### *SKB:s redovisning*

SKB anser att mindre ej glaciationsbetingade jordskalv inte helt kan uteslutas under de närmaste 10 000 – 20 000 åren men att det krävs relativt stora jordskalv för att få betydande berg rörelser. SKB hänvisar till La Pointe (1997) som visat att en jordbävning av M 7,5 som mest skulle kunna ge en förskjutning av storleksordningen 0,1 m i ett KBS-3-deponeringshål på ca 500 m djup. SKB:s slutsats är att analysen överdriver konsekvenserna och inte är direkt tillämplig på SFR 1 med annan geometri och djup och där det finns *en* sprickzon som passerar de flesta bergsalarna. SKB anser vidare att konsekvenserna av ett tektoniskscenario kan bedömas utifrån konsekvenserna av scenariot med initiala defekter på betongkonstruktioner i bergsalarna.

#### *Granskningsgruppens bedömning*

Granskningsgruppen håller med SKB om att La Pointes beräkningar med 0,1 m förskjutning i ett KBS-3-deponeringshål inte är tillämplig på SFR 1. Granskningsgruppen anser därmed att det inte går att uttala sig om konsekvenserna för SFR 1 utgående från La Pointe men att det är högst troligt att påverkan av ett skalv blir större på djupet 50 m jämfört med 500 m djup. I andra sammanhang har SKB hävdade att påverkan av ett jordskalv på ett bergförvar (och ytbelägna anläggningar) är större ju grundare beläget slutförvaret eller anläggningen är. I händelse av upprepade skalv kan det heller inte uteslutas att rörelser (>0,1 m) kan uppstå längs befintliga sprickzoner vilket skulle kunna innebära negativa konsekvenser för bergsalarna som passerar av sprickzoner (se avsnitt 5.6.2 i denna rapport).

Skalv som eventuellt orsakar berg rörelser längs befintliga sprickzoner kan innebära större effekter på bergsalarna än sprickbildning i betongen som omger avfallsbehållarna. Rörelser i berget kan exempelvis orsaka nya/utvidgade transportvägar för eventuellt utläckande nuklider än det som antagits i SKB:s modell.

Med dagens kunskapsläge och eventuellt ytterligare zoner korsande bergsalarna, kan det inte helt uteslutas att även mindre upprepade jordskalv ändå kan påverka bergsalarna. Granskningsgruppen anser därför att det hade varit motiverat att genomföra någon form av känslighetsanalys för att belysa hur sådana tektoniska händelser skulle kunna påverka funktionen hos SFR 1.

För granskningsgruppen är det inte självklart att konsekvenser av ett tektoniskscenario täcks in av scenariot med initiala defekter med genomgående sprickor i betongkonstruktioner i bergsalarna. En initial påverkan är inte med nödvändighet det mest konservativa fallet, vilket borde föranleda SKB att studera betydelsen av tidpunkten för t.ex. jordskalv och berg rörelser.

## 5.5.6 Mänsklig verksamhet

### *SKB:s redovisning*

I scenariorapporten (SKB, 2001) tar SKB upp brunnar som borrar rätt in i olika förvarsdelar och utgrävning av slutförvaret. SKB konstaterar att det i det förra fallet behövs en närmare analys, men att sannolikheten för oavsiktligt intrång genom utgrävning är så låg att en analys inte är motiverad.

Brunnsscenarioet behandlas i beräkningarna som två fall, dels genom att anta att vattnet från brunnen konsumeras, dels beräknas den långsiktiga effekten av att genomströmningen ökar p.g.a. av borrhålet.

### *Granskningsgruppens bedömning*

Granskningsgruppen har inget att erinra mot SKB:s resonemang om konsekvenserna till följd av oavsiktligt mänskligt intrång genom en borrarad brunn i SFR 1. Sannolikheten för oavsiktliga framtida mänskliga intrång i slutförvaret är även kopplad till frågan om informationsbevarande över långa tider. Frågan om informationsbevarande diskuteras i avsnitt 4.4.6 i denna rapport.

I scenariorapporten avfärdas ett flertal scenarier med anknytning till mänsklig påverkan, med hänvisning till det arbete som genomfördes i samband med SKB:s senaste säkerhetsanalys för ett bränsleförvar, SR 97. Granskningsgruppen är dock tveksamma till huruvida SKB:s slutsatser från denna studie är tillämpbara på ett slutförvar som befinner sig mycket närmre markytan än ett bränsleförvar på 500 meters djup.

## 5.6 Initialtillstånd och utveckling av slutförvaret och geosfären

### 5.6.1 Hydrogeologi

I detta avsnitt kommenteras avsnitten 4.3.1 och 5.5.1 i SSR 2001 för SFR 1 med avseende på topografi samt strukturgeologiska och hydrogeologiska egenskaper.

### *SKB:s redovisning*

SKB har genomfört en hydrogeologisk modelleringsstudie för att uppskatta det framtida grundvattenflödet i SFR 1 och i det omgivande berget. Syftet var bl.a. att uppskatta hydrologiska indata till säkerhetsanalysen som t.ex. flöde genom förvarsdelarna, advektiva transporttider för det vatten som rör sig från slutförvaret till markytan, längden på transportvägarna genom geosfären samt utströmningsområden.

SKB har beräknat grundvattenflödet med både en regional modell (som täcker 85 km<sup>2</sup>) och en lokal modell (ca 2 km<sup>2</sup>), där den regionala modellen gav randvillkor till den lokala modellen. Modellerna bygger på en tredimensionell beskrivning av bergets vattengenomsläpplighet i bergmassa och större sprickzoner, en s.k. kontinuummodell. SKB har även använt en detaljerad modell för att beskriva flödet genom de olika förvarsdelarna, och en semilokal modell har använts för vissa specifika beräkningar. Inverkan av landhöjningen illustrerades genom att beräkna flöden och transporttider för

olika tidpunkter i den lokala modellen. Densitetseffekter från salt grundvatten analyserades inte, med hänvisning till att en tidigare studie visat att dessa effekter är av mindre betydelse (Stigsson m.fl., 1999).

Jämfört med tidigare säkerhetsanalyser ger de nya beräkningarna väsentligt lägre flöden – det rör sig om upp till 100 gånger lägre flöden (se jämförelsetabell 10.12, sid. 101 i (Holmén och Stigsson, 2001)). Modellen är i huvudsak deterministisk vilket innebär att den i sig inte belyser osäkerheter i indata. Dock har vissa osäkerhetsanalyser genomförts avseende sprickzonernas betydelse för läget på utströmningsområdet samt hur transportvägarna påverkas av sedimentation.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen konstaterar att SKB:s modellering av grundvattenflöden har utvecklats i förhållande till tidigare studier. De väsentligaste skillnaderna är att modellerna nu har en betydligt mer detaljerad upplösning av flödet genom försvarsdelarna och att man tagit hänsyn till landhöjningen. Granskningsgruppen har dock identifierat ett antal brister i SKB:s hydrogeologiska modellering som påverkar trovärdigheten av beräkningsresultaten, vilket kommenteras nedan.

På ett mer övergripande plan anser granskningsgruppen att det är bra att SKB täcker in både regionala och lokala aspekter av grundvattenflödet i sin modellering. Med tanke på att SFR 1 är ett relativt ytnära slutförvar, och att spridningen av radionuklider i den marknära miljön därför är en viktig del av konsekvensanalysen, anser dock granskningsgruppen att SKB mer detaljerat borde ha belyst de hydrologiska förhållandena i övergången mellan geosfär och biosfär.

### *Hanteringen av heterogenitet (regional och lokal skala)*

SKB:s modell representerar det sprickiga berget som ett kontinuum. Detta innebär vissa begränsningar vad gäller representationen av heterogenitet i jämförelse med t.ex. diskreta sprickmodeller. Eftersom det saknas en diskussion eller utvärdering av dessa begränsningar är det inte möjligt att bedöma vad de kan betyda för den beräknade fördelningen av flöden mellan de olika försvarsdelarna eller förutsägelser om transportvägar och utströmningsområden.

Granskningsgruppen kan konstatera att både bergmassa och sprickzoner antas ha homogena egenskaper i den lokala modellen, trots att det har visats att det råder en betydande heterogenitet inom dessa enheter. Resultat från hydrologiska borrhålstester (Carlsson m.fl., 1986; Appendix 4) har till exempel visat att bergmassans hydrauliska konduktivitet lokalt kan överskrida det värde som använts av SKB med upp till tusen gånger. Borrhålstester har även visat att den lokala vattengenomsläppligheten (transmissiviteten) inom sprickzoner kan variera med upp till tre storleksordningar (Carlsson m.fl., 1986; avsnitt 6.4). Även data från pumpförsök i borrhål (s.k. interferenstester) visar att det råder en betydande heterogenitet.

Beträffande den regionala modellen konstaterar SKB att heterogeniteten i bergmassan i denna skala inte är särskilt viktig. SKB förklarar detta med att egenskaperna definierade i den lokala modellen tenderar att jämna ut förändringar i flödesförhållandena orsakade



av olika egenskaper i den regionala modellen. Granskningsgruppen anser inte att detta resonemang är tillräckligt klarlagt och att det delvis kan vara en följd av att SKB ej tagit hänsyn till heterogeniteten på ett korrekt sätt.

En annan källa till osäkerhet är den tolkning av geologiska strukturer som ligger till grund för den hydrogeologiska modelleringen. Som framgår av avsnitt 5.6.2 i denna rapport finns det vissa indikationer på att det kan finnas ytterligare sprickzoner i förvarsområdet. Granskningsgruppen anser att sprickzonernas läge i kombination med topografin har betydelse för radionuklidernas transportvägar och utströmningsområden. Granskningsgruppen konstaterar vidare att SKB inte tagit hänsyn till tidigare tolkning av existerande data som visar att permeabiliteten är betydligt lägre i de djupare delarna av berget än i den övre delen (Carlsson m.fl., 1986; Axelsson och Hansen, 1997; SKB, 1999).

### *Kalibrering*

SKB:s modell har nästan helt och hållet kalibrerats med avseende på en enda hydrologisk situation (före förslutning) som är mycket olik den situation för vilken beräkningarna ska göras (både vad gäller riktning och storlek på den hydrauliska gradienten). Före förslutning råder ett radiellt flöde in till de öppna tunnlarna, medan flödet efter förslutning kommer att vara genom snarare än in i slutförvaret. De hydrauliska konduktiviteterna som representerar situationen före respektive efter förslutning behöver därför inte vara desamma. En eventuell förekomst av ytterligare sprickzoner skulle t.ex. kunna påverka transportvägar och utströmningsområden. SKB:s nuvarande analys visar att Silon och bergsalarna har olika utströmningsområden på grund av sprickzonernas läge (se figur 5.8 i SSR 2001). Granskningsgruppen anser att detta är en faktor som ytterligare motiverar att SKB i sin analys undersöker ett intervall av tunnelflöden.

Tidigare undersökningar (Olsson, 1992; Olsson and Winberg, 1996; Jarsjö m.fl., 2001) har visat att tunnelinflöden starkt påverkas av att sprickorna närmast tunnelväggen är luftfyllda och därmed blockerar inflöde av grundvatten. Sprickorna har också en tendens att slutas nära tunnelväggen då vattentrycket sänkts av. Dessa effekter har enligt granskningsgruppens uppfattning inte representerats på ett bra sätt då SKB:s modell kalibrerats. Granskningsgruppen konstaterar vidare att SKB inte tagit hänsyn till att en betydande del av det vatten som strömmar in i tunnlarna förs bort med frånluftventilationen i tunnlarna. Den sammanlagda effekten av dessa fenomen är troligen att den uppskattade vattengenomsläppligheten hos bergmassan har underskattats, och därmed också de beräknade framtida vattenflödena genom förvarstunnlarna.

Vad gäller kalibreringsproceduren konstaterar SKB själva att det inte existerar någon unik lösning då endast fyra datapunkter (totala inflöden till olika förvarsdelar) använts för att bestämma 10 modellparametrar. SKB anger trots detta att de kalibrerade parametervärdena är goda uppskattningar på de verkliga värdena. Granskningsgruppen ifrågasätter denna bedömning och anser att det är en brist att SKB inte gjort något systematiskt försök att identifiera och utvärdera konsekvenserna av alternativa parameterkombinationer för sprickzoner och bergmassa i kalibreringen. Vidare anser granskningsgruppen att SKB skulle kunna förbättra kalibreringen genom att utnyttja existerande tryck/vattennivådata, de tidsberoende inflödena till tunnlarna, och/eller de 48 interferenstester som har utförts i sprickzonerna i området. Interferenstesterna är inte

påverkade av de störningar som kan uppkomma i en dränerad tunnel och kan därmed ge en bättre skattning av osäkerheterna i de skattade konduktivitetvärdena (Chapman m.fl. 2002).

Med tanke på de osäkerheter som identifierats i SKB:s kalibrering kan granskningsgruppen inte hålla med om SKB:s konstaterande att man har ”minimerat osäkerheterna i den konceptuella modellen genom att använda kalibrering och känslighetsanalyser när de formella modellerna fastställdes”. Granskningsgruppen finner istället att de begränsade osäkerhetsanalyserna är en svaghet i SKB:s hydroberäkningar.

#### *Val av data*

Granskningsgruppen anser att det råder stora brister vad gäller motivering av SKB:s val av permeabilitetsdata. Detta gäller bland annat valet av hydrauliska konduktivitetvärdena för barriärer, återfyllnad och förvarsdelar, se tabell 9.2-9.6 i Holmén och Stigsson (2001). Granskningsgruppen saknar också en motivering av SKB:s val av hydrauliska konduktivitetvärden för den spräckta BMA-sektionen och de kollapsade Silobarriärerna, liksom av de effektiva porositetvärden som antagits för sprickzoner och bergmassa. De bristfälliga motiveringarna gör det svårt för granskningsgruppen att bedöma trovärdigheten i de valda parametervärdena.

#### *Sammanfattande bedömning*

Granskningsgruppen ser positivt på att grundvattenflödena genom förvarsdelarna har beskrivits med en mer detaljerad modell och att man har tagit hänsyn till topografin och landhöjningen. Granskningsgruppen har dock identifierat ett antal brister vad gäller kalibrering, representation av heterogenitet och val av materialdata. Dessutom saknar myndigheterna en modell som beskriver de hydrologiska processer som sker i den ytnära delen av geosfären och biosfären. Dessa processer som är särskilt relevanta för SFR 1, kan förväntas ha stor inverkan på hur radionukliderna sprids i miljön.

De brister som har identifierats innebär, enligt granskningsgruppens uppfattning, att SKB inte på ett övertygande sätt visat att osäkerheterna i de beräknade flödena genom förvarsdelarna samt flödesfördelningen mellan och inom förvarsdelarna är små. Granskningsgruppen bedömer även att SKB:s slutsatser beträffande transportvägar och läget på utströmningsområdet är osäkra med hänsyn till den förenklade representationen av bergets heterogenitet.

Oberoende beräkningar utförda av myndigheternas konsult (Maul och Robinson, 2002), visar att grundvattenflödet genom slutförvaret kan ha stor betydelse för konsekvensanalyserna och dosberäkningarna. Detta understryker, enligt granskningsgruppens uppfattning, behovet av att genomföra mer genomgripande osäkerhets- och känslighetsanalyser.

## 5.6.2 Strukturgeologi och bergmekanik

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 4.3.1, Topografi samt strukturgeologiska och hydrologiska egenskaper och 5.5.2 Bergmekanisk utveckling, i SSR 2001 för SFR 1.

### *SKB:s redovisning*

Den strukturgeologiska tolkningen innebär att fyra lokala subvertikala zoner (3, 6, 8 och 9) identifierats i närområdet. Dessutom förekommer två regionala zoner nära anläggningen (subhorisontella H2 och subvertikala Singözonen). Zon 6 anses snett och relativt centralt korsa alla fyra förvarsrummen (1BTF, 2BTF, BLA och BMA), medan zon H2 ligger subhorisontellt under anläggningen.

Under rubrik ”bergmekanisk utveckling” anser SKB att man normalt räknar med en livslängd på 100-120 år hos den typ av förstärkningselement som använts vid byggandet av SFR 1. Hela bärförmågan anses upphöra inom 200-250 år så att bergblock kan börja lossa från väggar och tak. SKB anser att den s.k. uppluckringszonen (efter att bergförstärkningens förmåga upphör) beräknas gå till ett djup av ca 2 m för BTF och BMA och ca 5 m för BLA (ingen återfyllning). Uppluckringen bedöms pågå 50-150 år innan stabila förhållanden åter uppstår.

Enligt SKB:s konsult (Golder Grundteknik, 2000) bör BMA toppfyllas för att undvika en uppluckringszon på 10 m och för att undvika risken för att en lokal förbindelse kan bildas mellan BLA och BMA. Golder Grundteknik anser vidare att för att minimera storleken på uppluckringszonen bör allt tomrum i förvarsrummen i in- och omlastningsområdena mellan de blivande betongpluggarna återfyllas med sand.

### *Granskningsgruppens bedömning*

Granskningsgruppen anser att SKB:s strukturgeologiska tolkning i huvudsak är rimlig, men att förekomst av ytterligare zoner inte kan uteslutas. SKI:s konsulter Tirén m.fl. (2002) har t.ex. identifierat ytterligare möjliga zoner (utöver de zoner som finns i SKB:s modell) i närområdet. Tirén benämner zonerna NW-2 respektive GI-1 och GI-2 där zon NW-2 korsar samtliga salar relativt vinkelrätt nära de nordliga ändpunkterna för bergsalarna jämfört med SKB:s zon 6. Zonerna GI-1 respektive GI-2 är parallella, subhorisontella zoner belägna såväl under som ovanför bergsalarna och Silon. Läget för zon GI-1 motsvarar ungefär läget för zon H2 i SKB:s modell. Det kan inte uteslutas att zonen GI-2, som korsar rampen, kan utgöra en eventuell transportväg för gas och frigjorda radionuklider. Tirén anser vidare att zon H2 i SKB:s modell troligen har såväl annan stupning som ytutgående, vilket kan påverka flödesbilden.

Enligt granskningsgruppens uppfattning hade det varit motiverat att göra en förnyad utvärdering och bedömning av den geologiska strukturmodellen i samband med framtagandet av SSR 2001, bl.a. med hänsyn till den utveckling av tolkningsmetoder som skett under de senaste 10 åren, t.ex. 3D-modelleringsverktyg. Granskningsgruppen anser också att det hade varit rimligt att analysera betydelsen av en eller flera alternativa strukturmodeller med hänsyn till osäkerheterna i utbredning och stupningar hos olika sprickzoner som diskuteras ovan. Det kan inte uteslutas att en förändrad hydrologisk flödesbild, beskriven av en alternativ strukturmodell, kan påverka resultatet av

konsekvensanalysen. Det är heller inte klarlagt om konsekvenserna av berg rörelser längs zon 6, som korsar bergsalarna, täcks in av beräkningsfallet degraderade tekniska barriärer.

Granskningsgruppen anser att frågan om bergutfall utgör en av flera anledningar till varför betydelsen av förslutningsåtgärder inte får underskattas. SKI:s konsulter Stephansson och Jing (2003) har med UDEC-koden modellerat storleken på bergutfall ovanför BMA (genomkorsad av en sprickzon) genom tre olika överslagsberäkningar. Uppluckringen i de tre olika fallen varierade mellan 8,5 och 35 m. Författarna konstaterar att den värsta kombinationen av bergspänning och vattentryck kan medföra en uppluckring av berget från BMA ända upp till Östersjöns botten. Omfattningen av bergutfall kan dock minskas radikalt genom toppfyllning av BMA. För BLA är situationen mer svårbedömd eftersom en lika effektiv toppfyllning sannolikt inte är möjlig eftersom tomrum kommer skapas efter degradering av containrar m.m. Sammanfattningsvis är det väsentligt att bergutfall antingen kan minimeras med tekniska åtgärder eller att konsekvenserna av bergutfall kan visas vara begränsade.

### **5.6.3 Vattenkemi**

I detta avsnitt kommenteras avsnitten 4.3.2 och 5.5.3 i SSR 2001 för SFR 1, samt den underliggande rapporten av Höglund (2001). Den detaljerade analysen av de vattenkemiska förhållandens betydelse för de tekniska barriärernas beständighet behandlas i avsnitt 5.6.4 och betydelsen för radionuklidtransport i avsnitt 5.8.

Vattenkemiska förhållanden påverkas dels av utvecklingen av det naturliga grundvattensystemet vid SFR 1, dels av kemiska processer i avfall och konstruktionsmaterial i slutförvaret. Vattenkemin är av betydelse främst för radionuklidernas transport från avfallet i SFR 1 till den omgivande miljön samt för de tekniska barriärernas långsiktiga fysiska beständighet.

#### ***SKB:s redovisning***

SKB har vid sin analys av de vattenkemiska förhållandena beaktat mätningar av grundvattensammansättningen vid SFR 1, cementporvatten från färsk och urlakad cement samt porvatten i sand/bentonitblandningar.

Grundvattensammansättningen vid SFR 1 mäts enligt ett kontrollprogram som innefattar rutinmässiga mätningar i borrhål en gång per år samt en mera omfattande provtagning och analys vart femte år. Man har funnit att förändringarna som funktion av tiden hittills varit mycket små och att dessa anses bero på att vattnet som tränger in i anläggningen gradvis ersätts med Östersjövatten. Erhållna data har bearbetats med hjälp av en s.k. principalkomponentanalys som ger vissa ledtrådar till vattnets ursprung och utveckling.

Experimentella data från studier av reaktionen mellan cement och grundvatten har kompletterats med en relativt detaljerad modellstudie av kemiska reaktioner i åldrande cement (Höglund, 2001). Utvecklingen av mineralomvandling, porositet, pH m.m. studeras för tre fall som inbegriper reaktionen mellan saltvatten och 1) en cementbarriär

utan sprickor, 2) en cementbarriär med sprickor samt 3) en cementbarriär och en sand/bentonit återfyllnad.

Med utgångspunkt från ovanstående material beskriver SKB kvalitativt den förväntade utvecklingen för särskilt viktiga kemiska variabler som redox, pH, katjoner, anjoner, komplexbildare och kolloider. En låg redoxpotential anses komma att utvecklas vid återmättnad och sedan bibehållas. pH sjunker i den del av cementen som är närmast i kontakt med omgivande grundvatten men inte till större djup än 4-6 dm av cementen under 10 000 år och aldrig till ett lägre värde än pH 10. Cementporvattnets huvudkomponenter kommer dels från inträngande saltvatten, dels från urlakningen av cement och avfallsmaterial. Utarmning av vissa komponenter i cement samt en förändring av omgivande grundvatten från saltvatten till sötvatten kommer gradvis förändra koncentrationerna av huvudkomponenter i cementporvattnet.

Komplexbildare anses kunna ha en viss betydelse för sorption inuti vissa avfallskollin men förväntas inte ha någon avgörande betydelse för SFR 1 i sin helhet. Kolloider anses inte kunna förekomma i annat än försumbara koncentrationer, beroende på att den relativt höga jonstyrkan på förekommande grundvatten (som bl.a. styrs av halterna av tvåvärda alkaliska jordartsmetaller som Ca och Mg) destabiliserar kolloider.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen bedömer att SKB:s program för provtagning, analys och tolkning av grundvattenkemin vid SFR 1 är ändamålsenligt och tillräckligt för säkerhetsanalysens behov. Bedömningarna om grundvattenkemin inuti avfall och tekniska barriärer är i huvudsak rimliga och konsistenta med resultaten från myndigheternas egna utredningar (Savage m.fl., 2000). De initialt tillgängliga mängderna av cement och metaller i slutförvaret kommer med all sannolikhet under 1 000-tals år att buffra de viktigaste grundvattenkemiska variablerna, pH och Eh, så att förutsättningarna för retardation av de flesta nuklider är gynnsamma.

Granskningsgruppen anser att det är en brist att SKB inte analyserat och diskuterat fortvarigheten och den förväntade tidsutdräkten av redoxbuffringen för tidskalor upp till och över 10 000 år. Reducerande betingelser inuti förvaret måste anses vara en viktig komponent i det grundläggande säkerhetskonceptet för SFR 1, eftersom sorptionsdata är valda så att de representerar reducerande betingelser (teknium(IV) har exempelvis valts istället för teknium(VII)). Tidsskalan för redoxbuffring borde ha kunnat erhållas från en analys av den reducerande kapaciteten för järn och stål, med utgångspunkt från korrosionshastigheter, mängderna järn/stål samt dess godstjocklekar (se avsnitt 5.3.1 i denna rapport).

Granskningsgruppen anser att SKB:s analys av pH-buffring i cement och betong är av god kvalitet och slutsatserna överrensstämmer med myndigheternas egna analyser (Savage m.fl., 2000). Däremot är de framtida pH betingelserna i återfyllnadsmaterial (bentonit, grus, sand) bristfälligt analyserade.

Granskningsgruppen anser att SKB:s beskrivning och analys av kolloiders inverkan är knapphändig, vilket dock inte påverkar bedömningen av konsekvensberäkningarnas resultat eftersom geofärsretardation inte tillgodoses. Modellstudier som

myndigheterna låtit genomföra visar att kolloider under vissa betingelser kan ha en påverkan på geosfärstransport av sorberande nuklider som plutonium (Klos, m.fl. 2002). Dessa resultat måste beaktas i de sammanhang där SKB avser att tillgodoräkna geosfärsretardation.

#### **5.6.4 Degradering av tekniska barriärer**

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 5.5.4 i SSR 2001 för SFR 1, samt valda delar av SKB:s underliggande tekniska rapport (Höglund, 2001).

En gradvis försämring av de tekniska barriärernas säkerhetsfunktioner är högst sannolik i ett längre tidsperspektiv. Fysikalisk och kemisk degradering av cement och betong (sprickbildning, porositetsförändringar) leder till högre genomsläpplighet för gas och vatten. Detta påverkar dels uttransport av radionuklider via diffusion och advektion, dels transport av komponenter i grundvatten som kan ytterligare reagera med de olika konstruktionsmaterialen. Det är också tänkbart att kemiska omvandlingar av cement ger gradvisa förändringar av materialens sorptionsegenskaper.

#### **Betongbarriärer**

##### ***SKB:s redovisning***

SKB har som underlag för sin bedömning av de tekniska barriärernas utveckling genomfört kopplade kemitransportberäkningar som främst fokuserar på mineralogiska omvandlingar i en cementbarriär. Tre fall har studerats i detalj; 1) fall med diffusion av reaktanter genom en cementbarriär med konstant grundvattenkemi som randvillkor, 2) fall med advektion genom en sprucken cementbarriär samt 3) fall med diffusion genom en cementbarriär och en sand/bentonit blandning med konstant grundvattenkemi som randvillkor. Resultaten visar väntade förändringar som t.ex. utlakning av portlandit, bildning av Friedels salt, karbonatisering, omvandling av CSH-faser samt ettringitbildning. Porositetsförändringar är måttliga och ökar som mest ungefär en faktor 2 jämfört med de ursprungliga värdena (ca 10 %).

Vissa kemiska processer har dock inte studerats i ovannämnda studie då t.ex. andelen reaktiva komponenter som kan frigöras från avfallsmaterial inte inkluderats. Exempel på sådana komponenter är sulfat från jonbytarmassor, koldioxid från sönderdelning av organiskt material samt klorid, sulfat och karbonat från indunstarkoncentrat. I SAFE utesluter SKB att reaktion med sulfat från jonbytarmassor skadar omgivande konstruktionsbetongen, men menar att karbonatisering (från nedbrytning av organiskt material) samt effekter av salt (från industarkoncentrat) kan ge den sprickbildning som motiverar beräkningsfallet degraderade barriärer.

SKB beskriver dessutom degradering orsakad av bildningen av korrosionsprodukter runt armeringsjärn, men anser även i detta fall att processen bör vara av försumbar betydelse. SKB:s sammanfattande slutsats är att sprickbildning inte kan uteslutas främst beroende på inverkan av fysikalisk degradering från t.ex. svällning av bitumen, uppbyggnad av inre gastyck, karbonatisering samt sättningar.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att SKB:s underliggande utredning (Höglund, 2001) är av hög vetenskaplig kvalitet och relevant formulerad på ett generellt plan. Den tar dock inte upp samtliga mekanismer för degradering av cement och ger därmed inte ensam ett tillräckligt underlag för att kunna dra alla nödvändiga slutsatser om den specifika utvecklingen i SFR 1. Säkerhetsanalysen måste inkludera en analys och utvärdering av samtliga rimligt sannolika mekanismer för barriärernas degradering. Vid granskningen bildar detta nämligen ett underlag vid bedömning av utvalda beräkningsfall för konsekvensanalys, med bland annat fallet med degraderade barriärer. Dessutom bör en generell målsättning med varje säkerhetsanalys vara att ta fram en så fullständig information som möjligt om alla processer som kan försämra förvarets skyddsfunktioner. I detta perspektiv framstår behandlingen av vissa processer eller i vissa fall motivet för att utesluta processer, som oklart eller otillräckligt dokumenterat.

Vikten av att studera inverkan av porvattensammansättning liksom hur denna kan förändras med tiden har påpekats i en tidigare studie som utförts på uppdrag av SKI (Savage m.fl., 2000). Även i granskningen av SKB:s preliminära säkerhetsanalys av slutförvaret för annat långlivat avfall (SKI och SSI, 2001) uppmärksammades SKB på behovet att mer uttömmande redovisa interaktionen mellan cementbarriärer och grundvatten med olika sammansättning. I fallet SSR 2001 saknas en analys av inverkan av sött grundvatten som motsvarar relevanta betingelser för inlandsfasen.

Beträffande Silon och bergsalarna i SFR 1, anser granskningsgruppen att en känslighetsanalys behövs för att utreda betydelsen av betongens hydrauliska egenskaper. Detta stöds av SKI:s konsult (Chapman m.fl., 2002) som pekar på några svagheter som framkom vid granskningen av SKB:s preliminära säkerhetsanalys av SFL 3-5 (SKI och SSI, 2001) och som även bör vara applicerbara på SFR 1. Chapman m.fl. (2002) anser att erfarenheterna av armerad betong är att materialet kan uppvisa allvarlig sprickbildning kort tid efter kontakt med vatten och således orsaka en mycket hög hydraulisk konduktivitet och minska kontrasten mellan permeabiliteten för betongstrukturen, återfyllningen och berget. För Silon är visserligen risken att betydande flöden induceras mindre eftersom två tekniska barriärer (bentonit och betong) samtidigt måste degraderas. Med det tillgängliga underlaget i SSR 2001 går detta dock inte helt att utesluta (se även avsnittet om bentonit nedan).

Växelverkan mellan cement och komponenter i avfallsmaterial har uppmärksammats i samband med tidigare granskningar av SFR. Granskningsgruppen anser mot denna bakgrund att SKB borde tydligare underbyggt sina slutsatser avseende olika processers tänkbara betydelse. Någon form av överslagsberäkningar hade sannolikt underlättat bedömningen, t.ex. totala budgetar för olika möjliga reaktanter samt uppskattningar av möjliga mineralomvandlingar och maximala porositetsförändringar.

Vad gäller fysikaliska processer som kan leda till sprickbildning är analysen outvecklad. SKB redovisar t.ex. inga detaljerade studier av uppkomst, karaktäristisk storlek och sannolika fördelningar av sprickor, utan har endast analyserat konsekvenserna genom att anta ändrad konduktivitet i vissa delar av barriärerna. Granskningsgruppen anser att genomgång av olika mekanismer som kan orsaka sprickor hade varit befogad. Dessutom saknas en diskussion om den förmodade icke-linjära karaktären av betong-

degradering, som orsakas av att fysikaliska respektive kemiska omvandlingsprocesser kan vara starkt kopplade.

## **Avfallskollin och avfallsmatriser**

### ***SKB:s redovisning***

SKB bedömer att betongkokiller och cementmatriser inte förväntas bli utsatta för lakning under perioden upp till 10 000 år. Korrosion av armeringsjärn, och medföljande volymökning kan orsaka små sprickor i betongen, men det förväntas inte vara av betydelse för betongkokillernas egenskaper som barriär för radionuklider. Viss sprickbildning i cementmatriser som följd av korrosion av metaller i avfallet kan inte uteslutas. Uppbyggnad av inre gasövertryck kan medföra sprickbildning, medan risken för sprickor på grund av karbonatisering (via koldioxid från nedbrytning av organiskt material) eller ettringitbildning (via sulfat från nedbrytning av jonbytarmassor) anses vara liten.

I huvudsak är det jonbytarmassor och indunstarkoncentrat som är konditionerat i bitumen. Flera processer kan påverka bitumenmatrisens egenskaper, men varken radiolys, biologisk nedbrytning, åldring i luft eller vattenupptag anses ha någon större betydelse för analysen av SFR 1. Det kan dock inte uteslutas att vattenupptag kan ske relativt snabbt i vissa avfallstyper och orsaka svällning av bitumenmatrisen som då spricker. Svällningen skulle även kunna resultera i att omgivande barriärer spricker. För BMA anser dock SKB att det finns tillräckligt med tomrum utanför de aktuella avfallskollina under förutsättning att kringgjutning inte kommer till stånd. För Silon anses att volymökningen bör vara långsam samt att erforderligt expansionsutrymme finns tillgängligt.

Stålbehållarna är normalt vattentäta vid deponeringen, men korrosion kommer att medföra att de blir genomsläppliga för vatten och gas. Stålbehållare betraktas därför inte som någon barriär mot inträngande vatten eller utsläpp av radionuklider. Konservativt antas att korrosionsprodukter från korrosion av stål inte innebär någon sorptionsbarriär.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen uppfattning om SKB:s analys av avfallsmatriser och kollin överrensstämmer i mångt och mycket med de som redan diskuterats för betongbarriärer. Det är t.ex. en brist att kvantitativa överslagsberäkningar saknas som grund för att utesluta betydelsen av de många möjliga kemiska omvandlingsprocesserna.

Vad gäller bitumensvällning anser granskningsgruppen liksom Chapman m.fl. (2002), att det finns otydligheter i hur dess betydelse har hanteras i SSR 2001. SKB:s egen analys gjord av Pettersson och Elert (2001) visar att den teoretiskt maximala svällningen skulle kunna orsaka lokal sprickbildning inuti Silon, vilket dock inte lyfts fram i formuleringen av beräkningsfall för konsekvensanalysen. Av Pettersson och Elert (2001) framgår dessutom att kringgjutning inte bör ske i BMA, eftersom tillräckligt tomrum krävs för svällningen av bitumen. Om så anses vara fallet bör det förtydligas att kringgjutning inte kommer att ske i beskrivningen av slutförvarets tillstånd vid förslutning. En bedömning av svällningens effekter försvåras av att endast teoretiska värden utnyttjas och att det inte presenteras några resultat från representativa prover.



## **Bentonit**

### ***SKB:s redovisning***

SKB grundar sina slutsatser om bentonitombildning på beräkningar av Höglund (2001), som visar att bentoniten kommer att ta upp kalcium och magnesium från grundvattnet (via jonbyte) och kalium och kalcium från betongen. Utfällning av ettringit kan ske närmast betongen, medan utfällning av kalcit och brucit kan ske i kontakt med grundvattnet. I beräkningarna av radionuklidtransport i bentonit- och sand/bentonitbarriärer tas hänsyn till ökad hydraulisk konduktivitet på grund av omvandlingen av bentoniten genom beräkningsfallet degraderade tekniska barriärer. I samband med radionuklidtransportberäkningarna antas dock att bentonitskiktet förhindrar grundvattenflöde och att endast vertikalt flöde är möjligt genom silon. De värden på diffusionskoefficienter och  $K_d$ -värden som används för opåverkade barriärer antas vara representativa för hela tidsperioden.

I de beräkningar som gjorts i Höglund (2001) beaktas inte den eventuella inverkan högt pH från betongen kan ha på bentoniten. SKB anför som skäl för detta att det råder stora osäkerheter kring inverkan av högt pH på bentonit.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att SKB:s SSR 2001 borde ha innehållit en beskrivning av bentonitens återmättnad och den förväntade utvecklingen av ett resulterande svälltryck.

Vad gäller omvandling av bentonit i kontakt med cement, antyder SKB med stöd av experimentella studier (Karnland, 1997) att omvandling främst kommer innefatta jonbytesprocesser och att omvandlingen av montmorillonit kommer att vara begränsad. Modellstudier av Savage m.fl. (2001) visar dock att en mycket betydande omvandling av montmorillonit kan ske, med i vissa fall en fullständig konvertering av primär bentonit inom en tjocklek på 60 cm under en period av 1000 år. Samtliga möjliga implikationer av en mera omfattande omvandling av bentonit måste redovisas om de inte är möjliga att utesluta. I en underlagsrapport till SSR 2001 (SKB, 2001b) tar SKB tydligare fasta på möjligheten av en mera omfattande omvandling av bentonit, men här framhåller man enbart positiva konsekvenser av denna, nämligen att omvandlingsprodukterna har goda sorptionsegenskaper och att de fyller upp den omvandlade bentonitens tidigare utrymme. Vad som inte tas upp är dock motiveringen för att horisontellt flöde helt kan uteslutas även för en så gott som fullständigt omvandlad bentonitbuffert utan bentonitens självätande egenskaper. Det är inte uppenbart att homogena egenskaper för den omvandlade bentoniten kan förutsättas efter de betydande kemiska förändringarna.

Granskningsgruppen anser sammanfattningsvis att osäkerheterna kring bentonitens omvandlingar sannolikt underskattats i SSR 2001 samt att SKB:s antaganden om bentonitens långsiktiga barriäregenskaper är bristfälligt motiverade.

## Återfyllning

### *SKB:s redovisning*

SKB:s beskrivning fokuserar på de kemiska omvandlingar av grus som orsakas av att alkalihydroxider och portlandit lakas ut från betongen i de olika förvaringsdelarna. Dessa kan reagera med det återfyllda gruset utanför betongbarriärerna. Primära silikatmineral såsom kvarts och fältspat löses upp och sekundära kalciumsilikathydratfaser (CSH) faller ut samtidigt som hydroxidjoner förbrukas. Detta ändrar ytornas egenskaper, liksom porositeten. Förändringarna har konservativt inte inkluderats i konsekvensanalysen, eftersom retardationen av radionuklider troligen förbättras snarare än försämras tack vare bildning av sorberande mineral.

### *Granskningsgruppens bedömning*

Granskningsgruppen delar SKB:s bedömning att kemiska förändringar av grusåterfyllnaden, t.ex. bildning av CSH-faser, snarare ökar än minskar materialets sorptionskapacitet. Det är därför sannolikt konservativt att försumma denna förändring. Det är mera angeläget att förstå effekten av alkaliskt betongporvatten på den långsiktiga pH-utvecklingen i grusåterfyllnaden, eftersom denna påverkar radionuklidernas sorptionsintensitet. En nyligen genomförd studie (Benbow m.fl., 2002) visar att SKB:s studier av kapaciteten för buffring av alkaliskt betongporvatten (som SKB redovisade i samband med analysen för slutförvaret för annat långlivat avfall och refereras till på sidan 5.5-25 i SSR 2001), överskattar grusets förmåga att neutralisera. Detta beror dels på att SKB:s stökiometriska modell för bildning av CSH-faser överskattar konsumtionen av hydroxidjoner, dels på att åtkomsten av reaktiva ytorna på ballastmaterialet sannolikt begränsas av utfällningar.

## 5.6.5 Gasutveckling och gastransport

I detta avsnitt kommenteras i första hand avsnitt 5.5.5 i SSR 2001 för SFR 1 och SKB:s underlagsrapport av Moreno m.fl. (2001).

### *SKB:s redovisning*

SKB tar kortfattat upp gasutveckling och gastransport i samband med genomgången av det tidigare kunskapsläget i avsnitt 5.2 och scenariovalet i avsnitt 5.4. Den mest fullständiga beskrivning finns dock i avsnitt 5.5.5 (Gasgenerering och transport).

SKB nämner inledningsvis att stora mängder gas potentiellt kan bildas i ett slutförvar för låg- och medelaktivt avfall och att denna gas kan leda till uppsprickning av barriärer och ökat utflöde av radionuklider. Gaser bildas genom tre mekanismer. Vätgas fås från korrosion av främst järn och aluminium. Mikrobiell nedbrytning av organiska ämnen, främst cellulosa, kan ge upphov till koldioxid, vätgas och metan. Radiolys av organiska ämnen kan också ge upphov till vätgas och kolväten. Av dessa mekanismer dominerar korrosion, medan radiolysen ger ett i det närmaste försumbart bidrag. De initialt bildade mängderna per år från korrosion (av stål) anges av SKB till mellan 170 och 1 000 Nm<sup>3</sup> per förvaringsdel. Mikrobiell gasutveckling är av betydelse främst för BMA (240 Nm<sup>3</sup>/år) och BLA (1 000 Nm<sup>3</sup>/år).

För att påbörja transport av gas ut genom barriärerna behövs ett visst övertryck som för intakt betong är 1-2 MPa, medan det redan vid 0,1 mm sprickor i betong sänkts till 1-2 kPa. För gastransport ut från Silon anges att det krävs ett övertryck på 15 kPa, men i SKB:s beräkningar har 50 kPa använts. (För att vidmakthålla gasflödet räcker det sedan med avsevärt lägre övertryck vid aktuella flöden.)

Om gasen inte leds bort byggs ett tryck upp inuti barriärerna som kan leda till att kontaminerat vatten trycks ut i omgivningen. (Konsekvenserna av gasutveckling är närmare beskrivna i avsnitt 5.8.8 i denna rapport.)

Gasutvecklingshastigheten är i stort direkt relaterad till korrosionshastigheten. Hur länge gasutvecklingen kan pågå beror bl.a. både på de initiala mängderna av nedbrytbart (korroderbart) material och på korrosionshastigheten. Konsekvenser av gasutveckling i ett sent skede, med t.ex. brunnar som recipient efter mer än 1 000 år, synes dock ha avskrivits av SKB redan i avsnitt 5.2.2 endast med hänvisning till myndigheternas gransknings-PM från 1992, där det bl.a. heter att "... finns det alltså inte längre anledning att analysera denna typ av scenario separat" (se sidan 7-2 i SKI:s och SSI:s granskningsrapporter (SKI, 1992; SSI, 1992)). Detta är f.ö. det enda stället i SSR 2001 där frågan gasutveckling under inlandsperioden tas upp.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Gasutveckling i SFR 1 och dess möjliga konsekvenser är en gammal och svårbedömd fråga, både därför att samma gaser kan bildas med skilda mekanismer och på grund av att olika mycket gaser kan bildas i olika förvarsdelar och med olika stora konsekvenser.

Granskningsgruppen är eniga med SKB om att korrosion dominerar över de övriga tänkbara bildningsmekanismerna för gas. Osäkerheterna vad gäller gasutvecklingen är stora, men går att hantera genom att ju större gasbildningshastigheten är desto större andel av eventuella konsekvenser inträffar då Östersjön är recipient med låga doser som följd. Omvänt medför med stor sannolikhet låga gasbildningshastigheter också en begränsning av de doskonsekvenser som då kan inträffa först efter lång tid. SKB kunde dock ha underlättat för läsaren av säkerhetsrapporten genom att ange storleken på de gasflöden som diskuteras. Således motsvarar en gasutveckling av 1 000 Nm<sup>3</sup>/år på förvarsdjup ett flöde av ca 5 ml gas per sekund.

Granskningsgruppen anser liksom Chapman m.fl. (2002) samt Maul och Robinson (2002) att en diskussion av skador av gastryck och en bättre koppling till degradering av barriärer saknas i SKB:s analys. Även en bättre beskrivning av det initialskedet med återmättnad efterlyses.

Den centrala frågan är *när* gasutvecklingen kan ge upphov till ökat utflöde av radionuklider. I samtliga fall måste förutsättas att gastransporten är otillräcklig eller att den är blockerad – från början eller så småningom. Om gasutvecklingen startar först i ett sent skede, med inlandet som recipient, är konsekvenserna mycket större än om gasutvecklingen pågår för fullt från början. Följden kan bli densamma om gastransporten först är öppen och sedan blockeras i det senare skedet. Det är därför anmärkningsvärt att SKB inte tar upp dessa fall till behandling, inte ens med en motivering för varför de inte behöver analyseras. SKB hänvisar bara till myndigheternas granskningsrapport från

1992 (SKI, 1992; SSI, 1992). Ett sådant förfarande är enligt myndigheterna felaktigt och inte förenligt med syftet med säkerhetsanalysen och heller inte med ansvarsfördelningen mellan myndigheter och industri. (SKB:s avskrivning av frågan bygger dessutom på en övertolkning av myndigheternas skrivning som bara syftade på deras egna analys vid det aktuella tillfället. Se för övrigt avsnitt 5.1 i denna rapport.)

SKB:s redovisning och beräkningar av gastransport är i övrigt tillräckliga med tanke på tillämpningen.

### **5.6.6 Mikroorganismer**

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 5.5.6 i SSR 2001 för SFR 1, samt den underliggande SKB rapporten av Pedersen (2001).

Mikrobiella processer, som bland annat styrs av tillförsel och tillgänglighet av energikällor, näringsämnen nödvändiga för mikrobiellt liv liksom borttransport av nedbrytningsprodukter, kan ha en stor inverkan på en rad kemiska processer av betydelse för den långsiktiga säkerheten för SFR 1.

#### ***SKB:s redovisning***

I och med att SFR 1 innehåller stora mängder organiskt material finns förutsättningar för en omfattande nedbrytning med hjälp av mikrobiella processer. SKB anger i SSR 2001 för SFR 1 olika möjliga säkerhetsmässiga effekter av denna typ av processer:

- bildning av organiska komplexbildare som påverkar radionuklidtransport
- sorption av radionuklider direkt på mikrober rörliga med grundvattnet
- korrosion av metaller via mikrobiell sulfatreduktion
- gasbildning
- förändring av flödesvägar vid bildning av biofilmer.

I samtliga fall bedömer dock SKB att dessa effekter är försumbara i jämförelse med tänkbara icke-mikrobiella kemiska processer. Inte i något fall anses därför mikrobiella processer behöva beaktas vid t.ex. beräkning av doser och riskanalys. Anledningen till detta är främst den för mikrober relativt ogynnsamma kemiska miljön i SFR 1 och det låga grundvattenflödet i SFR 1 som begränsar möjligheten till nödvändig transport av näringsämnen, substrat m.m.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att SKB tagit fram en bra beskrivning av förutsättningarna för mikrobiella processer (Pedersen, 2001). Detta arbete är dock helt och hållet av kvalitativ karaktär, varför detta material inte i sig själv förefaller tillräckligt för att belägga SKB:s övergripande slutsats att mikrobiella processer i stort saknar säkerhetsmässig betydelse. Granskningsgruppen anser att som ett komplement till ovannämnda kvalitativa analys borde ha funnits en kvantitativ utvärdering av betydelsen av mikrobiella processer, vilket stöds av myndigheternas konsult West, appendix A5 i Chapman m.fl. (2002). Detta för att understödja SKB:s övergripande slutsats i säkerhetsanalysen. En sådan analys hade exempelvis kunnat innehålla uppskattade inventarier för substrat och näringsämnen i SFR 1 samt en analys av de begränsningar som materietransport

innebär för mikrobiell tillväxt. West påpekar att relevanta erfarenheter från analys av liknande problemställningar i Kanada, Schweiz och England hade kunnat utnyttjas.

### **5.6.7 Inbördes påverkan mellan förvarsdelarna**

I detta avsnitt kommenteras avsnitten 4.1 och 5.5.7 i SSR 2001 för SFR 1.

#### ***SKB:s redovisning***

SKB anser att mekaniskt förväntas ingen inbördes påverkan mellan förvarsdelarna annat än möjligen mellan BLA och BMA. En enkel analys visar att det inte helt kan uteslutas att bergutfall i framtiden kan orsaka en uppluckring mellan BLA och BMA (jämför avsnitt 5.6.2 i denna rapport). Genom att vidta lämpliga åtgärder i samband med förslutningen av BLA kan dock zonen med uppluckrat berg begränsas.

SKB anger att uppluckringen som inom 500 år sträcker sig längre än 3-4 m endast kan förväntas i de svaghetszoner (zon 6 där den korsar BMA) som korsar anläggningen. Även med konservativa antaganden (ingen återfyllning av ovdelen av slutförvaret) anser SKB att uppluckringen inte når mer än högst till halva bergtäckningen (ca 30 m).

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen efterlyser en redogörelse från SKB för vilka åtgärder som anses lämpliga att vidta i samband med förslutningen av BLA för att begränsa uppluckringen och vilka konsekvenser detta eventuellt kan medföra för grundvattenflödet.

Granskningsgruppen anser vidare att såvida SKB inte planerar att återfylla BLA är det nödvändigt att SKB genomför en detaljerad studie av eventuella effekter av bergutfall och vilka eventuella negativa konsekvenser detta kan innebära.

### **5.6.8 Komplexbildare**

I detta avsnitt kommenteras avsnitt 5.5.3 i SSR 2001 för SFR 1.

Vissa organiska ämnen har förmåga att genom kemiska reaktioner med metalljoner sänka deras sorptionsförmåga. Denna s.k. komplexbildning är särskilt utmärkande för ämnen som kan bindas till metalljoner med flera bindningar per molekyl, s.k. kelatbildning. Starka kelatbildare finns i små mängder redan från början i kärnavfall, i form av dekontamineringsmedel (t.ex. EDTA och citronsyra) men de kan även bildas genom kemisk eller mikrobiell nedbrytning av organiskt material som ingår i avfallet eller som tillsatser i betong.

#### ***SKB:s redovisning***

Den komplexbildare som hittills visat sig ha den största potentialen att inverka negativt på sorption av vissa radionuklider är isosackarinsyra (ISA), en nedbrytningsprodukt av cellulosa. Sedan ca 1990, då denna möjliga inverkan först observerades, har en hel del experimentella studier bedrivits på ISA, främst i Schweiz och Storbritannien och även i Sverige. En satsning av SKB på detta område angavs också som ett villkor för drift av SFR 1 i samband med myndigheternas beslut om fullt drifttillstånd 1992. I SSR 2001 har SKB belyst frågan om inverkan av ISA genom att i scenariogrupperna *Initiala*

*defekter/avvikelser* ha med beräkningsfall där sorptionen sänks med en faktor 100 för fyr- och femvärda metalljoner (t.ex. Pu, Nb), och en faktor 10 för vissa två- och trevärda (Ni, Am). SKB låter denna effekt gälla samtliga tekniska barriärer i SFR 1 utom BLA (där ingen sorption tillgodoräknas). Effekten av komplexbildare i de av SKB redovisade beräkningsfallen är maximalt ca en tiopotens (degraderade barriärer BMA) för utsläpp till brunn och för motsvarande fall för rimlig biosfärsutveckling ca en faktor 2-3.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Den kunskap som byggts upp om inverkan av komplexbildare i slutförvar under de gångna 10 åren har främst erhållits från experimentella studier. Fåtaliga om ens några bra teoretiska studier har utförts och ännu sämre är utvecklingen av modeller som hanterar dessa fenomen i säkerhetsanalysen av slutförvar. Denna senare brist uppenbaras i och med de trevande försök som görs i SKB:s underlag i att på olika sätt tolka ofta motstridiga data för att använda dem i en bedömning av tänkbara effekter av komplexbildare. Viktiga antaganden måste göras om ämnens bildningshastighet och om de fasta fasernas egenskap att kunna sorbera och därigenom hålla nere de fria halterna av ISA i slutförvarsmiljö. Särskilt stora är osäkerheterna kring sorption av ISA och om inverkan av detta fenomen på kortare och längre sikt.

I denna och andra kvarstående frågor kring inverkan av komplexbildare i SFR 1 har granskningsgruppen starkt stöd för sin kritik hos anlitade konsulter, (Chapman m.fl., 2002; Savage m.fl., 2000). Den sänkning av  $K_d$  för vissa metalljoner som anges av SKB synes dock enligt granskningsgruppen vara rimligt konservativa i beaktande av de av allt att döma överdrivna antaganden om förekomsten av cellulosa i SFR 1. Osäkerheterna är dock fortsatt mycket stora när det gäller bildning, nedbrytning och uppträdande i slutförvaret av ISA. Detta är främst av betydelse för att bedöma eventuella effekter av fall med mera realistiska mängder cellulosa. Granskningsgruppen ställer sig också undrande till att trevärda metalljoner jämförts med de tvåvärda.  $K_d$  för t.ex. americium borde ha sänkts med samma faktor, 100, som  $K_d$  för plutonium. Detta har även stöd i SKB:s underlagsrapport (SKB, 2001a). Kompletteringar på detta område är nödvändiga liksom fortsatt forskning. För övriga komplexbildare täcks de möjliga konsekvenserna av allt att döma in av de osäkerheter som råder om förekomst och inverkan av ISA, men SKB:s analys av behöver förtydligas också i detta avseende.

## **5.7 Initialtillstånd och utveckling av biosfären**

I detta avsnitt kommenteras i första hand avsnitten 4.3.3 och 5.5.8 i SSR 2001 för SFR 1. Flera av de frågor som tas upp i detta avsnitt berörs utifrån andra aspekter i avsnitt 5.8 i denna rapport.

### **5.7.1 Dagens biosfärsförhållanden**

#### **Beskrivning av biosfären**

##### ***SKB:s redovisning***

Beskrivningen av biosfären inom förvarsområdet bygger på ett flertal nya studier av de yt nära ekosystemen samt på tidigare studier från uppförandet av Forsmarksverket och kunskaperna från biotestsjön. I en sammanfattande rapport (Kautsky, 2001) beskrivs

den marina miljön runt slutförvaret, modeller för omsättning av material, vattenomsättningen samt landhöjningsförloppet och sedimentationsmiljön.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att SKB:s beskrivning av biosfären är avsevärt förbättrad jämfört med beskrivningen i föregående säkerhetsanalys av SFR 1. Den utgör också en god grund för beskrivning av biosfärens utveckling och av framtida biosfärsförhållanden.

### **Avgränsning av modellområde**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB har definierat ett (lokalt) modellområde inom vilket de största konsekvenserna av ett eventuellt läckage från SFR 1 förväntas. Området har avgränsats baserat på en analys av bottenpografi och framtida avrinningsområden. Modellområdet är ca 11,5 km<sup>2</sup> stort och används vid modellering av sedimentation och ackumulering av radionuklider, vattenomsättning, dosberäkningar och omsättning av organiskt material (transport av kol-14). Uppskattningar av framtida landvegetation görs också inom detta område.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Det är rimligt att avgränsa ett område där man väntar sig de största konsekvenserna av ett eventuellt läckage från SFR 1. Granskningsgruppen anser dock att det varken i SSR 2001 (kapitel 4), eller i underlagsrapporterna (Kautsky, 2001; Brydsten, 1999) tillräckligt tydligt framgår hur avgränsningen av modellområdet gjorts. Det är t.ex. inte helt klart hur avrinningsområden, och förutsägelsen av utströmningsområdet, har använts vid avgränsningen.

Valet av modellområde är av central betydelse eftersom det utgör basen för konsekvensberäkningarna. Granskningsgruppen anser att detta val inte är tillräckligt väl motiverat och att det saknas en djupare analys av hur modellområdets avgränsning påverkar den totala konsekvensbilden. Antagandet att de största konsekvenserna verkligen uppträder i utströmningsområdet, modellområdet, har inte motiverats i tillräcklig omfattning med stödjande beräkningar.

### **Omsättning av organiskt material**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB anger att omsättningen av organiskt material ger ett mått på hur vissa radionuklider kan spridas och omsättas i biosfären. SKB har beräknat denna omsättning för den inledande Östersjöperioden. Beräkningarna har gjorts med en mekanistisk ekosystemmodell. Modellen inkluderar sedimentlevande djur och växter vilka är exempel på komponenter som i vanligen använda kompartmentmodeller kan saknas eller vara underskattade.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att SKB:s ansats att beskriva omsättningen av organiskt material (representerat av organiskt kol) i miljön är intressant. Resultaten visar bland

annat hur organiskt material fixeras i sedimenten eller transporteras ut från modellområdet. Dessa uppgifter kan vara av stor betydelse för att modellera transporten och upptag i biota av kol-14. En begränsning i nuläget är att modellansatsen enbart omfattar kustområdet under den inledande Östersjöperioden, dvs., situationen idag och om 2 000 år. Se också avsnitt 5.8.1 i denna rapport.

## **Brunnsdensitet - tidsutveckling**

### ***SKB:s redovisning***

SKB anger att en av de bästa parametrarna för att beskriva brunnsförekomst i kustområden är höjden över havet. Detta är också en indikator på hur lång tid som gått efter att strandlinjen passerat en plats och till dess att en brunn skulle kunna borraras på platsen. SKB antar att framtida brunnsborrning inom förvarsområdet kommer att ske på platser med liknande avstånd till kust och höjd över havet som för dagens brunnar. SKB uppskattar att maximalt 0,5 nya brunnar/km<sup>2</sup> kommer att borraras inom förvarsområdet efter de första 1 000 åren och att maximalt 0,9 nya brunnar/km<sup>2</sup> kommer att borraras inom förvarsområdet efter de första 1800 åren. Efter 2 000 år avtar brunnsdensiteten och ligger under 0,5 brunnar/km<sup>2</sup>.

För intrångsscenarioet med en brunn borrhakt ned i någon av förvarsdelarna anges 1 000 år efter förslutning som den tid när en brunn tidigast kan borraras. Motiveringen är att delar av förvarsområdet då inte längre ligger under havet.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Området kring SFR 1 har idag, enligt SGU:s brunnsarkiv, relativt få borrhaktade brunnar jämfört med kustområdena söderut och norrut. SKB:s uppskattning av framtida brunnar i området kring SFR 1 baseras på dagens situation enligt brunnsarkivet. Granskningsgruppen anser att detta är en bra grund för uppskattningen, men anser också att SKB:s val av framtida brunnsdensitet inte nödvändigtvis är ett realistiskt val. I en framtid när Forsmarks kärnkraftverk rivits och området återställts kan antalet borrhaktade brunnar komma att successivt öka. Det kan inte uteslutas att detta leder till samma brunnsdensitet som idag gäller söder och norr om SFR 1 området, dvs. som högst nästan 2 brunnar/km<sup>2</sup>.

## **5.7.2 Processer som bidrar till biosfärens utveckling**

### **Klimatförändring**

#### ***SKB:s redovisning***

Den framtida förändringen i klimatet baseras på SKB:s tidigare säkerhetsanalys SR 97. De kortsiktiga klimatförändringarna är svåra att förutsäga. Men enligt SKB kommer en stor del av de förväntade klimatförändringarna, t.ex. växthuseffekten att inrymmas i den mellanårsvariation i klimatet som vi har idag på samma sätt som klimatförändringarna under de senaste tusentals åren till stora delar har inrymts i mellanårsvariationen. Även om klimatutvecklingen är osäker, bedömer SKB att den bästa uppskattning som kan göras är att klimatet som råder idag kommer att råda åtminstone de kommande 5 000 åren. Därefter blir klimatet långsamt kallare, glaciärtillväxten startar men bedöms inte nå Forsmarksområdet under de närmaste 20 000 åren. Det bedöms inte troligt att någon permafrost utvecklas, men detta kan inte uteslutas efter 5 000 år. Även klimateffekter till följd av



mänskliga handlingar som surt regn och global uppvärmning kan komma att påverka det framtida klimatet och miljön.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Det finns betydande osäkerheter i hur klimatet kommer att utvecklas under kommande årtusenden. Ett viktigt antagande i SKB:s behandling av klimatförändringar är att framtida klimatförändringar kommer att rymmas inom dagens mellanårsvariationer. Granskningsgruppen anser att denna typ av antaganden behöver styrkas med t.ex. en analys som tydligt redovisar förda resonemang, vilka data som ligger till grund för de antaganden som görs och de slutsatser som dras. Redovisningen bör även inkludera inverkan av mänskliga handlingar som gör troligt att dessa förändringar verkligen rymms inom mellanårsvariationerna. Granskningsgruppen anser vidare att det är en brist att SKB inte gör en mer kvantitativ analys och modellberäkning av klimatförändringarnas betydelse för utvecklingen av olika ekosystem/biotoper och möjliga konsekvenser för spridning av radioaktiva ämnen. Detta påpekas också av myndigheternas konsult Shaw (2002) som anger att ett viktigt utelämnande i modellberäkningarna är att inte framtida klimattillstånd beaktas och då särskilt för perioden 1000 till 10000 år. Shaw utesluter inte möjligheten att klimatförändringar har beaktats indirekt vid utveckling av olika biotoper.

För det alternativa klimatscenariot permafrost antas att hela slutförvarsanläggningen utgör ett fruset system fram till 10 000 år efter förslutning. Ingen uttransport av radionuklider antas ske förrän efter denna tidsperiod. För att få ett jämförelsevärde i form av stråldos antas utsläppet av radioaktiva ämnen då ske till en recipient som är representativ för dagens biosfärförhållanden, d.v.s. Östersjön. Granskningsgruppen anser att detta inte på ett bra sätt belyser betydelsen av framtida klimatförändringar.

### **Landhöjning/strandlinjeförskjutning**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB anger att landhöjning (strandlinjeförskjutning) och de förlopp som den initierar, t.ex. sjöbildning och igenväxning, tillhör de mest betydelsefulla framtida förändringar som väntas ske i biosfären vid slutförvaret. Landhöjningen vid SFR 1 är ett beräknat medelvärde för områden vid Gävle respektive Stockholm. SKB har genom fältundersökningar bekräftat att medelvärdet är en giltig approximation.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

SKB har genomfört en omfattande analys av landhöjningen och hur denna påverkar andelen hav och land, bildande av insjöar och övergång till skogsmark. SKB beskriver hur vattenomsättning, sedimentation, och växt- och djurliv förändras. Granskningsgruppen bedömer detta arbete vara av hög kvalitet. Granskningsgruppen anser emellertid att SKB inte i tillräcklig omfattning sökt kvantifiera alla de osäkerheter som kan påverka beräkningen av framtida landhöjning och åtföljande strandlinjeförskjutning. Detta gäller särskilt hur klimatförändringar kan komma att påverka strandlinjens läge vilket i sin tur är avgörande för utströmningen till biosfären.

### **5.7.3 Biosfärens utveckling för olika scenarier**

#### ***SKB:s redovisning***

I SKB:s basscenario för biosfären är klimatet detsamma som idag, landhöjningen fortskrider enligt prognos, och förekommande ekosystem är desamma som idag men den relativa betydelsen och omfattningen av dessa förändras. Enligt SKB täcker basscenariot inom naturliga variationer väsentligen de avvikelser som kan tänkas, exempelvis till följd av växthuseffekten, förändrad havsnivå och surt regn. Inom basscenariot studeras Öregrundsgrepen, en insjö, och jordbruksmark. Dessutom studeras alternativen brunn (inkl. en brunn ned till slutförvaret), myrmark och permafrost.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

SSR 2001 för SFR 1, inklusive underrapporter, ger en omfattande beskrivning av hur biosfären väntas förändras under kommande 10 000 år. Beskrivningen förenklas till scenarier. SKB:s basscenario, som uppges svara mot en rimlig utveckling av biosfären, täcker, med undantag av skogsekosystemet, de ekosystem som kan förväntas under den tid som modelleras. Granskningsgruppen anser att utelämnandet av skogsekosystemet är en väsentlig brist i SKB:s behandling av biosfären.

Övergången mellan olika ekosystem är en kontinuerlig process vilket innebär att flera ekosystem, och därmed spridningsvägar till människa, kan förekomma samtidigt. Det är svårt att bedöma betydelsen av detta utan närmare analys. Övergångarna mellan ekosystem (hav, sjö och jordbruksmark) borde därför ha analyserats och modellerats i större detalj. De abrupta övergångarna mellan hav, sjö och jordbruksmark i SKB:s analyser kan innebära att viktiga processer i biosfärens utveckling förbises. Som exempel anger myndigheternas konsult Shaw (2002) sedimentens roll vid övergången mellan ett sjö och jordbruksmark.

## **5.8 Konsekvensberäkningar**

I detta avsnitt kommenteras SKB:s konsekvensberäkningar, som beskrivs i avsnitten 5.6 och 5.7 i SSR 2001 för SFR 1. I SKB:s underlagsrapporter till SSR 2001 finns mera detaljerade beskrivningar, se Lindgren m.fl. (2001) för beräkningar, Karlsson m.fl. (2001) för biosfärmodeller och (SKB, 2001) för av urvalet av data för beräkningarna.

### **5.8.1 Modeller för konsekvensanalys**

#### ***SKB:s redovisning***

För beräkning av radionuklidtransport i närzonen används kompartmentmodellen NUCFLOW. Denna modell tar hänsyn till advektion, diffusion, sorption och radioaktivt sönderfall. Diskretisering för var och en av förvarsdelarna (Silo, BMA, 1BTF, 2BTF, BLA) har valts på så sätt att avfall samt tekniska barriärer, såsom grus, betong, porös betong, sand etc., representeras med rimlig upplösning.

För beräkning av radionuklidtransport i fjärrzonen används FARF31-modellen (Norman och Kjellbert, 1990), som beräknar transport av en fiktiv partikel längs en endimensionell flödesväg. I modellen ingår förutom advektion och dispersion även matrisdiffusion,

sorption samt kedjesönderfall. Fjärrzonsberäkningarna har i SSR 2001 en begränsad betydelse eftersom dessa resultat inte utnyttjats i den slutliga konsekvensanalysen.

För beräkning av spridning och omsättning av radionuklider i biosfären samt för dosberäkningar används kompartmentmodeller i programpaketet ACTIVI/PRISM. Biosfärsberäkningarna har genomförts probabilistiskt (1 000 realiseringar), i resultatdelen anges de aritmetiska medelvärdena.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att modellerna för konsekvensberäkningar förbättrats jämfört med tidigare säkerhetsanalyser för SFR 1. Den ökade upplösningen och förbättrade representationen av bl.a. barriärsystemet möjliggör en jämförelse med tidigare säkerhetsanalyser mera realistisk och trovärdig utvärdering av olika säkerhetsfunktioner.

Granskningsgruppen anser att dokumentation och rättfärdigande av de valda konceptuella, matematiska och numeriska modellerna är otillräcklig. Någon egentlig dokumentation tillhörande NUCFLOW åberopas inte. Däremot anges i stället referenser till den tidigare koden NUCTRAN (Romero m.fl., 1999). Granskningsgruppen anser att det måste finnas ett användarmanual för NUCFLOW, av vilket det bland annat bör framgå hur NUCTRAN-koden modifierats och anpassats för SFR 1. Dessutom efterfrågar granskningsgruppen ett verifierings- och valideringsdokument, vilket demonstrerar att koden utvärderats och verifierats i acceptabel utsträckning, t.ex. genom jämförelser med andra tillgängliga beräkningsverktyg. Det är väsentligt att en granskare med utgångspunkt från tillgänglig dokumentation kan bilda sig en uppfattning om den konceptuella modellen representerar en rimlig förenkling av systemet, om de matematiska ekvationerna representerar den utvalda konceptualiseringen, samt om den numeriska modellen ger stabila och noggranna lösningar till de matematiska ekvationerna. Redovisningen bör rent generellt omfatta en systematisk identifiering och analys av osäkerheter relaterade till valen av konceptuella, matematiska och numeriska modeller.

Granskningsgruppen har i sent skede av granskningen tagit del av en dokumentation av NUCTRAN koden som inte åberopades i säkerhetsanalysen. Granskningsgruppen kan vid denna tidpunkt inte bedöma dessa dokument men avser att senare återkomma med detaljerade kommentarer. I vilket fall som helst konstateras att dessa dokument inte berör tillämpningen för SFR 1 och därför saknas uppenbarligen denna del av dokumentationen.

SKB:s biosfärsberäkningar bygger på modeller för olika ekosystem. Granskningsgruppen anser att de relevanta ekosystemen förutom skogsekosystemet finns representerade i SKB:s analys. Några av de kompartmentmodeller som utnyttjas har deltagit i internationella valideringsstudier, medan andra, framförallt den förenklade Östersjömodellen, inte har jämförts med andra modeller som beskriver radionuklidtransport i Östersjön. Granskningsgruppen är väl medveten om att det inte är möjligt att validera biosfärsmodeller för de långa tidsperioder som studeras i SSR 2001. I det korta tidsperspektivet bör det dock vara möjligt att testa modellerna för de radionuklider som finns i naturen, eftersom de studerade ekosystemen existerar redan idag.

Granskningsgruppen anser att en övergripande beskrivning (någon form av flödesdiagram) av hur de olika kompartmentmodellerna används för att representera utvecklingen av biosfären och hur utdata från en modell används som indata i följande modell skulle underlätta förståelsen modellernas tillämpningsområden. Detta omnämns också av Shaw (2002). Granskningsgruppen anser vidare att det inte i tillräcklig detaljeringsgrad framgår hur den konceptuella beskrivningen i biosfärsmatrisen (systembeskrivningen) utnyttjats för att ta fram beräkningsmodellerna.

SKB har använt en mekanistisk modell för transport och omsättning av organiskt material och för kol-14. Generellt kan mekanistiska modellbeskrivningar av ekosystemen ha flera fördelar över de kompartmentmodeller som traditionellt används av SKB. Dock saknas ofta den detaljinformation som behövs för mekanistiska modeller. Det kan också ifrågasättas om det är berättigat att använda dessa mer komplexa modeller för de mycket långa tidrymder som modelleras (Shaw, 2002). Med tanke på nuvarande utvecklingsgrad av de mekanistiska modellerna anser granskningsgruppen därför att det är rimligt att för närvarande använda kompartmentmodeller, men att de mekanistiska modellerna kan få en ökad betydelse när de utvecklats ytterligare.

## 5.8.2 Modellering av slutförvaret

### *SKB:s redovisning*

SKB förutsätter att radionukliderna är fördelade mellan förvarsdelarna enligt en uppskattning baserad på erfarenheter från driften av SFR 1, en förutsatt 40-års drifttid för återstående reaktorer och det vid licensieringen av SFR 1 förutsatta totalinventariet om  $10^{16}$  Bq (Riggare och Johansson, 2001). I konsekvensberäkningarna antas att alla radionuklider är jämt fördelade inom varje avfallskategori, upplösta, samt omedelbart tillgängliga för transport från de avfallsmaterial och de avfallskollin där de befinner sig vid förslutning av slutförvaret. Stålbehållare förutsätts att redan från start ha förlorat sin integritet och anses därmed inte påverka radionuklidtransporten. För avfallsmatriserna utgörs det enda undantaget av bitumenavfall för vilka radionukliderna anses frigöras i jämn takt under en tidsperiod av 100 år.

Närområdesmodellen beskriver uttransport av radionuklider via diffusion och advektion samt har kapacitet att hantera kedjesönderfall. Utflöde via advektion beräknas med flöden erhållna från en detaljerad hydrogeologisk modell (Holmén och Stigsson, 2001). Den förväntade gradvisa förändringen av den hydrogeologiska situationen vid SFR 1 representeras diskret med förändringar av flödes hastighet och riktning vid tre tillfällen (1 000, 2 000, samt 3 000 år efter förslutning). Sorption antas vara den enda betydelsefulla mekanismen för retardation av radionuklider. För ett slutförvar med jämförelsevis låga koncentrationer av radionuklider i en förhållandevis stor porvolym, som SFR 1, får eventuella löslighetsbegränsningar liten betydelse och dessa tillgodoses därför inte i SSR 2001.

NUCFLOW-koden kan hantera tidsberoende transport och flera parallella transportvägar för nuklider. Implementeringen av koden har genomförts så att avfallstyper, olika barriärer och separata delar i slutförvaret representeras med minst en cell men i vissa fall uppåt tiotalet enskilda celler (cementstabiliserat avfall, bitumenstabiliserat avfall, sand, grus, porös betong, betongväggar etc.). Det totala antalet celler varierar från

endast 7 stycken för BLA till ca 50-200 för de andra förvarsdelarna. Den stora skillnaden mellan BLA och övriga förvarsdelar beror på att den föregående förvarstypen har ett enklare system av tekniska barriärer som inte tillmäts betydande säkerhetsfunktioner. För BLA används en mycket förenklad modell som förutsätter att inga koncentrationskillnader förekommer inom detta bergrum (modell för omrörd tank).

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att SKB i huvudsak valt ett flexibelt ramverk för radionuklidtransportberäkningar (kompartimentmodeller), som är väl avpassat för att hantera de speciella förutsättningarna kring analysen av SFR 1. Motiven för den detaljerade utformningen av beräkningsmodellerna för varje förvarsdel skulle dock kunna förtydligas. Granskningsgruppen anser också att det finns processer och fenomen som både kan påskynda och fördröja utsläppen, vilket inte har inkluderats i modeller och inte heller diskuteras närmare inom SSR 2001 (se nedan). Dessa borde kunna ha belysts genom en ganska begränsad vidareutveckling av befintliga modeller.

I beräkningarna inom SSR 2001 antas radionukliderna fördela sig homogent antingen för varje avfallstyp (Silo, BMA och BTF) eller för varje förvarsdel (BLA). I jämförelse med tidigare säkerhetsanalyser innebär detta en förbättrad och mer realistisk representation, men modellen tar dock inte hänsyn till variationer för individuella avfallskollin. Det mest ofördelaktiga fallet är förmodligen betydande sprickbildning i direkt anslutning till de avfallskollin med det högsta radionuklidinventariet. Detta skulle kunna resultera i höga flöden i ett område där radionuklidkoncentrationen är högre än genomsnittet. Resultat från en tidigare publicerad säkerhetsanalys visar att en heterogen radionuklidfördelning och sprickbildning är av betydelse för närzonsutsläppen för icke-sorberande nuklider (Norris m.fl., 1997). Granskningsgruppen anser det vara svårt att med det tillgängliga materialet utesluta en betydande påverkan på beräkningsresultaten. Beräkningar med hjälp av information ur SFR 1:s databas hade eventuellt kunnat ge ett underlag för att bedöma om fenomenet behöver beaktas.

Frigörelsen av radionuklider från avfallsmatriserna kan vara ett väsentligt steg i spridningen av radionuklider från de olika förvarsdelarna. I SSR 2001 har detta hanterats på ett starkt förenklat vis genom att anta att radionuklider frigörs momentant inuti cementbaserade kollin och jämnt fördelat under en 100-års period inuti bitumenbaserade kollin. Granskningsgruppen har förståelse för behovet av att förenkla denna del av analysen, men anser att t.ex. motiv och möjliga följder av förenklingarna borde ha diskuterats. Det är inte uppenbart att snabb frigörelse är liktydigt med konservatism. För fallet med det bitumenbaserade avfallet saknas en analys av inverkan från den tänkbara spridningen i frigörelsehastighet, även om 100 år synes vara ett rimligt konservativt medelvärde. För bitumeninjutet avfall med högre halter jonbytarmassa (>40 %, i BMA) skulle lakningstiden kunna vara avsevärt kortare än 100 år. För fallet med det cementbaserade avfallet saknas känslighetsanalyser och eventuellt studier av mekanismer och möjliga hastighetsbegränsande processer. Detta skulle kunna ge ett visst underlag för att bedöma realismen i den i SSR 2001 utnyttjade förenklingen samt dess påverkan på dosberäkningarna.

Ett av de mest utmärkande dragen i analysen av SFR 1, som skiljer den från säkerhetsanalyser för slutförvar för använt bränsle, är den betydande och förhållandevis snabba

förändringen av de hydrologiska betingelserna på förvarsdjup, vilken orsakas av landhöjningen. SKB tar hänsyn till detta i beräkningar för radionuklidtransport genom att uppdatera grundvattenflöden till storlek och riktning vid tre diskreta tillfällen. Granskningsgruppen anser att detta ger en förbättrad beskrivning jämfört med tidigare säkerhetsanalyser för SFR 1, men konstaterar att de långa intervallen mellan uppdateringarna är en möjlig felkälla.

Granskningsgruppen fann det slutligen svårt att få en uppfattning om osäkerheter i den specifika tillämpningen av NUCFLOW koden, t.ex. på vilket sätt diskretiseringen (antalet celler för de olika förvarsdelarna) påverkar beräkningsresultaten.

### **5.8.3 Modellering av geosfären**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB har formulerat beräkningsfall för att visa inverkan av den begränsade geosfärsretardation som kan förväntas erhållas vid transporten av radionuklider från slutförvaret genom ca 50 m berg till biosfären. Beräkningarna har utförts med FARF31-koden. De hydrogeologiska beräkningarna ger de genomsnittliga uppehållstiderna i geosfären (se avsnitt 5.5.1 i SSR 2001), vilka sedan används i FARF31. Upphållstiderna har befunnits vara mellan några årtionden och några århundraden beroende på vilken förvarsdel det är frågan om och vid vilken tidpunkt uppehållstiderna utvärderades. Övriga data som erfordras för att kvantifiera geosfärsretardation har främst erhållits från SKB:s tidigare säkerhetsanalys SR 97.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser det värdefullt att SKB i SSR 2001 har utvärderat geosfärsretardation. Geosfären är en betydelsefull komponent i hela systemet som länkar ihop slutförvaret med biosfären. Geosfären kan bidra med ytterligare säkerhetsfunktioner men skulle också kunna verka som en sekundär källa som temporärt ökar uttransporten av radionuklider. SKB:s analys ger dock en ganska begränsad uppfattningen om dessa perspektiv, eftersom det finns betydande brister och svårigheter.

Granskningsgruppen anser att SKB:s analys inte i tillräcklig utsträckning motiverar den slutsats som utnyttjats i konsekvensberäkningarna, nämligen att det för samtliga fall är konservativt att bortse ifrån geosfären. Utvärderingen av geosfärsretardation är inte jämförbar med de väsentligt mera utförliga analyserna av slutförvaret och biosfären. Beräkningarna har förenklats i betydligt större utsträckning, t.ex. har endast en uppsättning av transportparametrar använts för samtliga förvarsdelar, trots att dessa visats skilja sig betydligt. Systemets tidsberoende har visserligen studerats men inte implementerats i beräkningarna av radionuklidtransport. SKB:s redovisning antyder vidare ett antal icke-konservativa parameterintervall, t.ex. avseende anjonexklusion, och penetrationsdjup för nuklider. Granskningsgruppen anser att SKB:s hänvisning till fallet utan geosfärsretardation vid motivering av parameterintervall är otillfredsställande. Troligen har detta liten betydelse för dos- och riskberäkningar men det faktum att doserna för vissa nuklider visats vara högre när geosfären inkluderats (BLA vid rimlig biosfärsutveckling) borde vara ett motiv att inkludera en mera fullständig analys av geosfärens funktion.

Analysen av geosfären kompliceras av att förhållanden i relativt ytnära grundvatten kan avvika väsentligt från de stabila betingelser som föreligger på stora djup. På grunda djup finns andra processer som kan förändra förutsättningarna genom att ackumulera radionuklider eller påskynda transport. Ytnära grundvatten är ur hydrologiskt perspektiv mycket mera dynamiska system än djupa grundvatten. Ur geokemiskt perspektiv måste man beakta skillnader mellan ytnära och djupa grundvatten (t.ex. förekomst av humus och fulvosyror, oxiderande betingelser, kolloider). Det finns sannolikt en gräns över vilken en transportmodell som är anpassad för förhållanden på stora djup inte längre kan anses rimlig. För SFR 1 på endast 50 m djup kan den del av modellområden som ligger ovan denna gräns vara betydande. Granskningsgruppen har förståelse för att alla dessa frågor inte kan utredas inom ramen för SSR 2001, men vill påpeka det generella behovet av forskning inom området samt utveckling av modeller som kan ta hänsyn till ovanstående effekter. Det kan ifrågasättas om FARF31 är en lämplig modell för ett relativt ytnära förvar som SFR 1.

#### **5.8.4 Modellering av radionuklidomsättning i biosfären**

##### ***SKB:s redovisning***

SKB har använt kompartmentmodeller för att beräkna spridning och omsättning av radionuklider i Östersjön, kustområden, insjö, jordbruksmark, myrmark samt brunn. Vilken modell som används bestäms i princip av vilket ekosystem som anses vara förhärskande som en effekt av landhöjningen.

##### ***Granskningsgruppens bedömning***

De använda modellerna är i huvudsak av traditionellt och välbeprövat slag för beräkning av spridning och omsättning av radionuklider i biosfären och tillför i detta avseende inte något väsentligt nytt. Några av de använda modellerna eller andra versioner av dessa modeller har deltagit i internationella valideringsövningar med gott resultat. Även om granskningsgruppen i stort ser positivt på modelleringen av radionuklider i biosfären finns det exempel på oklarheter som berörs i det följande.

Kustmodellen består av tre delmodeller av olika geografisk omfattning – modellområdet (några km<sup>2</sup>), Grepen (hundratals km<sup>2</sup>) och Östersjön (tusentals km<sup>2</sup>). Radionukliderna från slutförvaret tillförs direkt till vattenfasen i beräkningsmodellen för modellområdet och kan sedan transporteras vidare till Grepen och ut i Östersjön. En viss sedimentation av radionukliderna i vattenfasen antas äga rum. Granskningsgruppen anser att modelleringen också borde omfatta att radionuklider kan tillföras biosfären via sedimenten för att därmed ta hänsyn till den ackumulation av radionuklider i sedimenten som detta kan leda till. En sådan ackumulation kan innebära att ytterligare radioaktiva ämnen i ett senare skede blir tillgängliga i den brukbara jorden i jordbruksmodellen. Detta skulle i sin tur kunna ge större konsekvenser än de nu beräknade.

Modellen av Östersjön, som en del av kustmodellen, är ytterligt förenklad och representeras av endast fyra kompartment för vatten, suspenderat material och övre och undre sediment. Detta innebär att radionuklider som når Östersjön mycket snabbt kan försvinna från modellområdet genom momentan omblandning och utspädning. Huruvida denna förenkling är berättigad borde ha analyserats, exempelvis genom jämförande beräkningar med mera komplexa och beprövade kompartmentmodeller för Östersjön.

### **5.8.5 Metoder för beräkning av doser till människan och effekter på miljön**

Det finns idag varken något erkänt regelverk för att bedöma skydd av miljön eller någon godtagen metod för att beräkna stråldoser och effekter på andra organismer än människan. Ett omfattande internationellt arbete pågår. SKB deltar exempelvis i det SSI-koordinerade EU-projektet FASSET. Dessutom arbetar en grupp, med SSI-deltagande, inom den Internationella strålskyddskommissionen, ICRP, med att ta fram ett förslag till regelverk.

#### ***SKB:s redovisning***

Doser till människan har beräknats på traditionellt sätt. Den mekanistiska ekosystemmodellen har använts för att uppskatta stråldoser till biota för dagens kustområde och för den dominerande radionukliden kol-14. SKB drar slutsatsen att en eventuell ytterligare belastning av radionuklider från ett läckage från SFR 1 knappast kan påverka individuella organismer i området, och i ännu mindre grad populationer.

#### ***Granskningsgruppens bedömning***

Beskrivningen av metodiken för beräkning av doser till människa är tillräckligt detaljerad.

Kunskapsläget om joniserande strålningens effekter på miljön är bristfällig. Det gäller speciellt vid låga stråldoser under lång tid. Detta innebär att det med nödvändighet finns flera osäkerheter i SKB:s redovisning av och slutsatser om effekter på miljön. De gränsvärden som SKB refererar till är också svårbedömda utifrån dagens kunskapsläge. Det finns idag inte någon internationell samstämmighet om gränsvärden för andra organismer än människa.

De beräkningar av stråldoser till biota som redovisas i säkerhetsrapporten bygger på en mekanistisk ekosystemmodell och avser enbart kol-14. Resultaten begränsas av att modellen bara utvecklats för ett kustekosystem (och dagens biosfär). SKB anger att tilltron till den modellansats som gjorts för att beräkna effekter på miljön behöver förbättras och att detta kommer att prioriteras i det fortsatta forskningsprogrammet. De begränsade insatser som SKB redovisar i säkerhetsrapporten kan accepteras med tanke på det internationella arbete som pågår för att ta fram ett bedömningssystem.

### **5.8.6 Beräkningsfall**

#### ***SKB:s redovisning***

Utgående från den förväntade utvecklingen av slutförvar, berg och biosfär har SKB definierat ett basscenario. Osäkerheterna belyses genom att analysera olika beräkningsfall för basscenariot i kombination med ett pessimistiskt val av värden för de parametrar som ingår i beräkningarna. Beräkningsfall för varianterna av basscenariot täcker bland annat in fall då barriärerna degraderas på ett visst sätt efter 1 000 år, inverkan av fjärrzonen samt inverkan av gas som kan medföra att radionuklider pressas ut ur betongkonstruktionerna. Inverkan av fjärrzonen minskar generellt doserna jämfört med huvudfallet medan degraderade barriärer ökar doserna. Gasbildning ger upphov till ett ökat utflöde av vissa nuklider men dock endast under den initiala tidsperioden då havet fort-



farande är recipient. För biosfären innehåller basscenariot vad SKB kallar ”rimlig biosfärsutveckling”, dvs. radionukliderna kommer in i biosfären i Öregrundsgrepen (fram till 3 000 år efter förslutning), en insjö (3 000 till 6 000 år efter förslutning) och jordbruksmark (6 000 till 10 000 år efter förslutning). Som alternativa biosfärer analyseras brunn, myrmark/torv och dagens biosfär.

Förutom basscenariot redovisas ytterligare ett antal scenarier som med hjälp av de utvalda beräkningsfallen bland annat illustrerar kvarvarande osäkerheter rörande betydelsen av en initial spricka i betongkonstruktionen, dåliga pluggar, kemikalier som kan komplexbilda radionuklider samt kombinationen av kemikalier och initial spricka. Permafrost behandlas i ett särskilt scenario liksom intrång i form av en brunn rakt genom de olika förvarsdelarna.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

#### *Allmänt*

Granskningsgruppen anser att urvalet av beräkningsfall i SSR 2001 ger en bättre och mera överskådlig bild av slutförvarets förväntade utveckling, i jämförelse med tidigare säkerhetsanalyser. Överskådligheten har förbättrats tack vare att de tidigare separata fallen för saltvattenperiod och inlandsperiod integrerats. SKB har också i SSR 2001 i viss mån analyserat konsekvenserna av kombinationer av ogynnsamma förlopp (defekter i barriärsystemet samt komplexbildare), vilket myndigheterna tidigare efterfrågat (SKI, 1992; SSI, 1992).

Granskningsgruppen har dock svårigheter med att förstå motiven för den detaljerade utformningen av beräkningsfall, eftersom diskussionen och koppling till underliggande analyser ofta är kortfattad och ganska vag. Exempel på detta är t.ex. motiv för utformningen av beräkningsfall för degraderade barriärer och klimat (se nedan).

#### *Hantering av parameterosäkerheter*

Beräkningsfall inom huvudscenariot, som tar hänsyn till de mest troliga förändringarna i slutförvaret och dess omgivning, bör enligt de allmänna råden till SKI:s föreskrifter (SKI, 2002) illustrera betydelsen av parameterosäkerheter. SKB har i huvudsak begränsat redovisningen kring betydelsen av osäkerheter genom kvalitativa resonemang, förmodat konservativa parameterintervall och en diskussion av resultaten från ett fåtal beräkningsfall. Granskningsgruppen anser att SKB borde genomfört mer omfattande känslighets- och osäkerhetsanalyser för att på ett tydligare sätt identifiera de mest kritiska processerna och parametrarna som ingår i SSR 2001-studien (se avsnitt 5.8.8 i denna rapport). Detta hade sannolikt givit ett bättre underlag för att bedöma rimligheten i de slutliga dos- och riskuppskattningarna, än enbart ett antal valda beräkningsfall kombinerat med resonemang.

#### *Basscenario - intakta barriärer*

I SKB:s huvudfall i basscenariot förutsätts att de tekniska barriärerna har konstanta transport och sorptionsegenskaper under hela den beaktade tidsperioden 10 000 år. Transport och sorptionsparametrar baseras på förhållanden som antas råda efter åter-

mättnad. Granskningsgruppen anser att dessa antaganden motsvarar ett referensfall, snarare än en realistisk beskrivning av slutförvarets utveckling.

#### *Basscenario - degraderade barriärer*

Granskningsgruppen anser att beräkningsfallet med degraderade tekniska barriärer är mera realistiskt och relevant för bedömningen av den långsiktiga säkerheten än ett fall med intakta barriärer och konstanta egenskaper. SKB borde därför ha inkluderat en minst lika detaljerad redovisning av detta fall som för fallet med intakta barriärer.

Granskningsgruppen anser att de detaljerade antagandena om de degraderade tekniska barriärerna är otillräckligt motiverade och förefaller vara delvis godtyckliga. Detta gäller t.ex. SKB:s antagande att sprickbildning bara delvis degraderat betongkonstruktionerna i BMA (facket närmast sprickzon 6). Granskningsgruppen anser vidare att det hade varit rimligt att inkludera beräkningar av radionuklidtransport för 1BTF och 2BTF. För Silon antas en allmän degradering, men valet av modifierande hydrauliska konduktiviteter skulle behöva motiveras bättre. Detta val leder till den väsentliga slutsatsen att horisontellt grundvattenflöde helt kan uteslutas. Rimligheten i olika antaganden om utveckling av hydraulisk konduktivitet är svår att bedöma, vilket beror på att det inte finns någon direkt koppling till en analys av tänkbara degraderingsmekanismer.

Granskningsgruppen anser dessutom att fallet med degraderade barriärer borde ha utvecklats för att belysa effekterna av en kontinuerlig degradering för att få en bättre beskrivning av förvarets förväntade utveckling och pessimismen i gjorda antaganden. En sådan analys skulle sannolikt också givit ett bättre underlag för att kunna bedöma om den valda tidsperioden för säkerhetsanalysen är tillräcklig.

#### *Basscenario – inverkan av gas*

Granskningsgruppen anser att analysen av gasrelaterade processer är genomarbetad och av hög kvalitet (Moreno, 2001). Beräkningsfallen kopplade till gas visar att påverkan kan vara betydande men eftersom de sammanfaller med Östersjöfasen är doskonsekvenserna små. Granskningsgruppen efterlyser därför en tydligare argumentation för varför man kunnat utesluta en fördröjd påverkan av gas (se avsnitt 5.6.5 i denna rapport).

#### *Övriga scenarier – initial spricka*

Beräkningarna för scenariot med initial spricka i betongkonstruktion belyser säkerhetsbetydelsen av de tekniska barriärerna och kompletterar fallet degraderade barriärer efter 1000 år. För granskningsgruppen är det dock inte uppenbart att scenariot initial spricka täcks in av basscenarioets degraderade barriärer. Dels är det inte klarlagt i vilken utsträckning initialt degraderade barriärer kan leda till ökad ackumulation i sediment under kust- och sjöperioderna eftersom grundvattenutflöde genom bottensedimenten försumrats. Dels har SKB inte redovisat den gradvisa degradering av de initiala skadorna som borde leda till en större skada än den som antas i basscenarioet efter 1000 år.

### *Övriga scenarier – dåliga pluggar*

För det av SKB identifierade fallet med dåliga pluggar har det inte utförts några beräkningar av radionuklidtransport med motiveringen att detaljer kring utformning av pluggar ännu inte fastställts. Flödesberäkningar visar dock att flödena skulle kunna öka med en faktor 2-3 med förmodade ökning av utsläpp av icke-sorberande radionuklider i motsvarande grad. Granskningsgruppen konstaterar att detta är ett betydelsefullt beräkningsfall, eftersom SKB:s begränsade analys visar att pluggarna har en säkerhetsfunktion för bergsalarna. Fallet utgör ett exempel på varför det bör finnas ett väl genomtänkt förslutningsalternativ framtaget. Detta alternativ behöver inte vara slutgiltigt fastställt men bör vara tillräckligt detaljerat för att möjliggöra en fullständig analys.

### *Övriga scenarier – kemikalier med intakta och degraderade barriärer*

Vad gäller analysen av komplexbildares inverkan bedömer granskningsgruppen att det kombinerade fallet med degraderade barriärer är mest relevant att studera, eftersom tillräckligt starka argument inte framförts för barriärernas långsiktiga beständighet (se ovan). Effekten av komplexbildare är att en ökad andel av den totala dosen orsakas av nuklider som slutförvaret normalt sett kvarhåller effektivt (t.ex. teknetium-99 och plutonium-239 och 240). Granskningsgruppen anser att fallet med SKB:s formulering synes osannolikt (t.ex. i jämförelse med fallet med degraderade barriärer), särskilt antagandet med de stora mängderna cellulosa. Granskningsgruppen vill dock påminna om att det finns betydande osäkerheter avseende de långsiktiga egenskaperna för isosackarinsyra (ISA) i slutförvarsmiljö (se avsnitt 5.6.8 i denna rapport). Det är därför svårt att utesluta en betydande inverkan av komplexbildare. Beräkningsfallet ger en viss insikt i betydelsen av vissa  $K_d$ -värden.

### *Övriga scenarier – klimat och permafrost*

Granskningsgruppen bedömer att SKB:s analyser av osäkerheter i klimatutveckling och eventuell uppkomst av permafrost på förvarsdjup är alltför begränsad. SKB framhåller i SSR 2001 att bildning av kontinuerlig permafrost är mycket osannolik i det beaktade tidsintervallet fram till 10 000 år efter förslutning. Denna slutsats borde tas som en intäkt till att utöka tidsskalan för analysen snarare än att tona ner betydelsen av fenomenet permafrost. SKB:s argument för att enbart jämföra utsläppen för permafrostscenariot med de som sker under den inledande östersjöperioden måste anses oklara. Granskningsgruppen anser att SKB borde motiverat vilka recipientförhållanden som kan förväntas i samband med permafrost och utvärderat doskonsekvenserna för dessa recipienter. Granskningsgruppen anser vidare liksom Chapman m.fl. (2002) att den mycket kortfattade motiveringen för varför partiell permafrost inte påverkar grundvattenflödet är otillfredsställande.

### *Övriga scenarier – Intrång*

Granskningsgruppen finner det rimligt att SKB baserat sin på sannolikhetsanalys på data från en faktisk brunnstäthet, eftersom en förutsägelse om framtida användning av grundvatten i området är högst spekulativ. Fallet är av intresse i två perspektiv, dels vad gäller direkta konsekvenser i samband med intrånget, dels vad gäller kvarvarande skador på slutförvarets barriärer. Det förstnämnda perspektivet, som ger de allra högsta doserna enligt SKB:s beräkningar (upp till 30 mSv per år), är att betrakta som ett

restscenario enligt de allmänna råden till SKI:s föreskrifter (SKI, 2002). Det är sannolikt omöjligt att konstruera ett slutförvar som kan eliminera denna risk. I fallet SFR 1 är dock sannolikheten inte lägre än att det är högst rimligt att anta att den typen av exponering kan förekomma under tidsperioden som analysen täcker in (10 000 år). I SKB:s analys beaktas inte att det är fråga om ett outspätt vatten från något av förvarsutrymna med en försämrad vattenkvalitet. Detta minskar troligen sannolikheten för att en individ eller mindre samhälle tar hela sin dricksvattenkonsumtion från denna källa. Frågan om vattenkvalitet behöver därför övervägas ytterligare.

Vad gäller inverkan på slutförvarets skyddsförmåga, anger SKB att flödet genom slutförvaret kan komma att öka med en faktor 3-7 vid intrång genom borrning, men bedömer att fallet saknar betydelse på grund av den låga sannolikheten. Fallet omnämns endast mycket kortfattat i SSR 2001 men finns beskrivet i beräkningarna av flöden i förvarsdelarna (Holmén och Stigsson, 2001). SKB:s resonemang att fallet saknar betydelse på grund av den låga sannolikheten förutsätter att skadorna på slutförvaret från ett intrång inte påverkar skyddsförmågan under en längre tidsperiod. Om inte detta kan visas anser granskningsgruppen att det hade varit befogat att mera utförligt analysera och beskriva detta perspektiv av fallet intrångsbrunn (se även avsnitt 5.9 i denna rapport). En redovisning av förvarets skyddsförmåga efter ett intrång är dessutom ett krav enligt SSI: föreskrifter (SSI, 1998).

#### *Biosfären - exponeringsvägar*

Det är bra att SKB i sin analys utgått från en föränderlig biosfär. Granskningsgruppen anser dock att SKB i vissa avseenden tillämpat resultaten av denna analys på ett allt för förenklat sätt, eftersom bara ett ekosystem (kustvatten, insjö, jordbruk) beaktas för varje tidsperiod. Detta innebär att möjliga exponeringsvägar via andra samtidigt existerande ekosystem inte vägts in. Inte minst gäller detta under övergångsfaserna mellan olika tidsperioder.

Som ett illustrerande exempel kan nämnas att den sjö som bildas i modellområdet under perioden 2 900 till 5 500 år efter förslutning, och som används som exponeringsväg, bara utgör 10 % av det totala modellområdet. Det kan inte uteslutas att övriga delar av modellområdet har ackumulerat eller ackumulerar radionuklider och att människan utnyttjar flera biotoper samtidigt, exempelvis sjö och skog. Principiellt kan även en brunn för dricksvatten samtidigt finnas i området och ge ett dos/riskbidrag. Också myndigheternas konsulter Klos och Wilmot (2002) framhåller att parallella exponeringsvägar, via olika ekosystem, kan ge dosbidrag under övergångsfaserna. Betydelsen av parallella exponeringsvägar är inte analyserat.

SKB har inte beräknat konsekvenserna för exponeringsvägar via skogsekosystemet trots att detta kan förväntas vara dominerande under landperioden. Detta skulle möjliggöra ytterligare exponeringsvägar till människan på grund av tidigare ackumulation av radionuklider, exempelvis via vilt, bär, svamp och via energiutnyttjande av biobränsle som i nuvarande analys inte beaktats. Det är inte övertygande visat att jordbruksmark alltid är en överskattning som leder till de största konsekvenserna.

Av SKB:s rapporter framgår att det sannolikt inte kommer att finnas några större arealer för att bedriva jordbruk. Trots detta har SKB valt att representera kommande terrestra

system med ett jordbruksfall. Enligt SKB är det människor som odlar på den forna sjöbotten som erhåller de största konsekvenserna under landperioden (>5 000 år efter förslutning). Påståendet har dock inte verifierats med någon djupare analys.

SKB:s beräkningar förutsätter att de största konsekvenserna alltid uppkommer i utströmningsområdena till följd av att det högsta inflödet av radionuklider förväntas äga rum där. Denna förutsättning behöver motiveras bättre exempelvis för att utesluta att kvardröjande effekter av tidigare utsläpp ger upphov till andra exponeringsvägar eller att radionuklider som transporteras ut ur modellområdet kan ha betydelse för den totala konsekvensbilden. Också myndigheternas konsulter, Klos och Wilmot (2002), anför att antagandet att de största konsekvenserna uppträder i utströmningsområdet behöver stödjas med hjälp av beräkningar.

#### *Kollektivdoserberäkningar*

Enligt (SSI, 1998) ska kollektivdoser beräknas för det utläckage av radioaktiva ämnen som kan förväntas under 1 000 år efter förslutningen av ett slutförvar. Kollektivdosen ska beräknas som summan över 10 000 år av den årliga kollektivdosen.

En beräkning av kollektivdosen gjordes av SKB i samband med ansökan om drifttillstånd för SFR 1. Denna beräkning var baserad på de SSI krav som då gällde. I granskningspromemorian om SFR 1 (Bergman m.fl., 1988) bedömde SSI att den kollektivdos som SFR 1 leder till är liten i förhållande till den som orsakas av övriga delar av kärnbränslecykeln, vilket var i överensstämmelse med SSI:s krav.

I SSR 2001 finns inte någon redovisning av kollektivdosen. Kollektivdoserberäkningar utgör enligt granskningsgruppen ett verktyg för att bedöma betydelsen av olika utformningar av slutförvarssystem men kan även tillämpas för att klarlägga att en befintlig anläggning drivs på ett optimalt sätt, t.ex. vad gäller val av förvarsdel för inplacering av avfallskollin. Denna fråga diskuteras även i avsnitt 4.5.

### **5.8.7 Val av data**

#### ***SKB:s redovisning***

I den övergripande strategin för SKB:s urval av data anges att dataval skall motiveras, vara konsekventa, baseras på analysen av slutförvarets utveckling och initialtillstånd. Dessutom skall osäkerheter diskuteras och om möjligt kvantifieras. För varje scenario skall radionuklidtransportberäkningarna baseras på ett fall med ”rimliga” data, men SKB anser att förenklingar som överskattar radionuklidutflödet måste vara tillåtna. En särskilt viktig del av dataurvalet i SSR 2001 är motiveringen av valda flödes hastigheter och  $K_d$ -värden för olika delar av slutförvaret och olika barriärer (SKB, 2001). I SKB:s redovisning anges även maximala lösligheter för olika nuklider, men det framgår att SKB bedömer att dessa saknar betydelse för konsekvensanalysen.

För beräkningarna av radionuklidtransporten i närområdet (d.v.s. genom förvarstunnlarna) krävs data i form av storlek och riktning på grundvattenflödet genom olika delar av förvarstunnlarna, samt grundvattenflöden (Darcy-hastigheten) i det omkringliggande berget. Dessa data fås från SKB:s detaljerade hydrogeologiska modell

(Holmén och Stigsson, 2001). För att genomföra beräkningar för radionuklidtransport genom geosfären krävs data i form av advektiva transporttider (genombrottstider).

SKB konstaterar att utnyttjade porositetvärden, som används för att ta fram advektiva transporttider, är abnormt höga för kristallint berg, men menar att detta har mindre betydelse eftersom transporten av sorberande radionuklider inte påverkas porositeten.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen anser att SKB:s underlag för val av data för konsekvensberäkningar uppvisar vissa brister vad gäller spårbarhet och dokumentation. SSR 2001 innebär visserligen en förbättring jämfört med tidigare säkerhetsanalyser för SFR 1, men granskningsgruppen anser ändå att det finns exempel där rimliga krav inom kvalitetssäkringsområdet inte kan anses uppfyllda. Granskningsgruppen anser liksom vid granskningen av SR 97 (SKB, 1999), att procedurer för val av data inte är tillräckligt väldefinierade. Exempelvis saknas i vissa fall motiv och detaljerade redogörelser hur data för konsekvensberäkningar tagits fram. I de fall urval av data baserats på expertbedömningar (informella snarare än formaliserade) hade det krävts en dokumentation av procedurer. Eftersom SKB inte utnyttjat känslighetsanalyser och parameterintervall för att belysa kritiska urval av data, innebär detta att kravet på ett rigoröst system för att dokumentera och motivera val av data får ökad betydelse.

Trots att dokumentation av expertbedömningar är ett väsentligt moment, anser granskningsgruppen att faktiska mätningar bör prioriteras där så är möjligt. Även i detta fall finns exempel på brister särskilt för motivationen av transportparametrar för slutförvaret och dess omgivning. Vissa parametervärden har etablerats genom antaganden och resonemang (diffusivitet för kringgjutningsbetong, data för sand- bentonitblandningar), trots att experimentella data borde kunna ha utnyttjats. I andra fall saknas dokumentation av motiveringar samt bakomliggande analyser för de valda värdena (konduktivitetvärden för tunnelmaterial, sprickzoner och förvarsdelar samt porositetvärden; se avsnitt 5.6.1 i denna rapport).

Val av  $K_d$ -värden är ett exempel på ett område där både expertbedömningar och spårbarhet till experimentella data har stor betydelse. I SSR 2001 har urvalet baserats på externa sammanställningar för cement (Bradbury och Van Loon, 1998; Bradbury och Sarrot, 1995) och för databaser från andra säkerhetsanalyser (Lindgren m.fl., 1998; SKB, 1999). Granskningsgruppen gör bedömningen att SKB:s databas för SFR 1 förmodligen består av rimligt konservativa värden, men finner ändå att underlaget och motiveringarna gör det svårt att bedöma kvalitet och tillämplighet. Det måste anses vara en brist att urvalet inte primärt utgått från de specifika förhållandena för SFR 1. Enligt granskningsgruppens uppfattning borde osäkerheter relaterade till bland annat pH, redox, speciering, salinitet, och mätnoggrannhet, diskuterats för var och en av de mest kritiska radionukliderna i sammanhanget SFR 1. SKB borde vidare analyserat (via känslighetsanalyser) och diskuterat den speciella omständigheten att ett ”lågt” skattat  $K_d$ -värde inte definitionsmässigt är konservativt i fallet SFR 1. På grund av det systemets tidsberoende exponeringsvägar och risken för ackumulationseffekter, går det inte att utan vidare identifiera inslaget av konservatism vid val av  $K_d$ -värden. Detta borde illustrerats genom beräkningar som underlag för motiveringen av  $K_d$ -värden för olika nuklider.

Vissa inslag i urvalet av  $K_d$ -värden baseras i hög grad på bedömningar med svag kopp-ling till faktiska data, exempelvis urvalet av  $K_d$ -värden i närvaro av komplexbildare och användningen av kemiska analogier. Granskningsgruppen anser att dessa inslag i SKB:s databaser är otillräckligt dokumenterade. Någon form av dokumenterade och formaliserade expertbedömningar hade gjort det enklare att granska dessa data. Ett annat alternativ att göra en databas mera försvarbar, som är taget från SKB:s eget program, är den dokumenterade granskningen och uppdateringen av SKB:s sorptionsdatabas för bentonit inom SR 97 (Ochs, 1997).

Granskningsgruppen anser att SKB borde varit noggrannare med att specificera vilka intervall för särskilt viktiga grundvattenparametrar (pH, Eh, jonstyrka) och övriga förhållanden som de utvalda  $K_d$ -värden kan anses representera. På grund av den redox-känsliga sorptionen av bl.a. teknetium-99 efterlyser granskningsgruppen särskilt en analys som visar att reducerande betingelser även upprätthålls på tidsskalor upp till och över 10 000 år. Urvalet av  $K_d$ -värden i SSR2001 försvaras av att  $K_d$ -värden måste kunna representera långsiktiga mineralogiska omvandlingar, eftersom SSR 2001 till skillnad från tidigare säkerhetsanalyser baserats på konstanta värden.

I SSR 2001 har ingen detaljerad analys av den rimliga kemiska utvecklingen i olika försvarsdelar och olika tekniska barriärer använts som grund för att visa att  $K_d$ -värden är tillämpliga. Förhållanden kan sannolikt avvika väsentligt från de som utvalda  $K_d$ -värden rimligen kan representera (t.ex. för bentonit och bergkross). Det är med det tillgängliga materialet som utgångspunkt inte uppenbart att SKB:s generella antagande om konservatism alltid är uppfyllt. Det är väl känt att pH och Eh har en mycket stor påverkan på sorption. Användning av konceptet med av konstanta  $K_d$ -värden förutsätter egentligen ett system utan stora tidsmässiga eller rumsliga variationer för kemiska betingelser. Om  $K_d$ -värden trots allt används för sådana fall erfordras, inte minst för den vetenskapliga trovärdigheten, en avstämning att kemiska betingelser i rimlig utsträckning är konsistenta med förhållanden vid framtagning av sorptionsdata.  $K_d$ -värden för nuklider med komplicerad redoxkemi och sorberande nuklider som kan förekomma som anjoner erfordrar en särskild uppmärksamhet.

Biosfärsberäkningarna har genomförts probabilistiskt. Därför ges indata i form av bästa värde, min- och maxvärden samt typ av fördelning. Probabilistiska beräkningar gör det möjligt att beakta osäkerheter och variationer. Ofta saknas dock kunskap om den verkliga fördelningen för en parameter på grund av brist på data. Då har SKB använt triangulära eller log-triangulära fördelningar. Granskningsgruppen anser att det är en bra ansats att hantera osäkerheter och variationer i data med probabilistiska beräkningar.

SKB anger att de valda parameterintervallen för biosfärsberäkningarna täcker in en stor del av de förväntade klimatförändringarna. Det finns även en diskussion om hur olika klimatutvecklingar kan påverka biosfärsförhållandena under de närmaste 10 000 åren. Granskningsgruppen anser dock att det inte framgår av SSR 2001 på vilket sätt konsekvensberäkningarna täcker in de klimatförändringar som diskuteras. Som nämnts på annan plats beror detta delvis på att SKB inte redovisar resultaten av de probabilistiska beräkningarna för biosfären.

Granskningsgruppen anser sammanfattningsvis att SKB bättre borde ha motiverat val av data för konsekvensanalyser. Ett för SFR 1 viktigt exempel är betydelsen av den initiala utspädningen under Östersjöfasen som medför att det inte är uppenbart att ett parameter-  
val som slår i en viss riktning är konservativt. SKB beskriver detta utförligt i SSR 2001 men resonemanget verkar dock inte ha beaktas i de faktiska urvalet av data och modeller. Exempel på detta är: 1) valet av  $K_d$ -värden, 2) valet av frigörelsehastigheter från avfallskollin, 3) grundvattenflödes hastigheter, 4) geosfärens roll som sänka eller källa för radionuklider.

### 5.8.8 Redovisning av beräkningsresultat

#### *SKB:s redovisning*

SKB redovisar doskonsekvenserna separat för utsläpp från förvarets olika delar (Silo, BMA, 1BTF, 2BTF, BLA), för de olika scenarierna och för olika beräkningsfall inom scenarierna (som illustrerar olika biosfärer). Dessutom redovisas det totala utsläppet från närzonen som Bq/år och som en kompletterande information utsläppen från fjärrzonen.

Utsläppen av radionuklider från närområdet (Bq/år) stiger brant efter återmättnaden av slutförvaret och är för samtliga fall störst en kort tid därefter. Utsläppen minskar därefter gradvis på grund av urlakning och avklingning. Stråldoserna är dock så gott som försumbara under första perioden av 2 000 år då Östersjön fortfarande är recipient. Doserna ökar markant då andra exponeringsvägar efter denna tid blir möjliga. Av denna anledning är doserna från fallet med en fortsättning av dagens biosfär alltid mycket låga. Ökningen efter Östersjöperioden beror på minskad utspädning då en sjö blir den huvudsakliga recipienten. I vissa fall fås en ytterligare ökning då sjön försvinner och exponeringen istället sker via användning av jordbruksmark. De högsta doserna fås generellt från användning av en brunn i närheten av slutförvaret.

Beräkningarna visar att kol-14 i de allra flesta fall dominerar stort både för maximala doser och maximala utflöden. Den organiska fraktionen som inte sorberar ger generellt det största bidraget men oorganiskt kol-14 kan också ge betydande tillskott. Väsentligt skilda resultat erhålls dock för BLA och beräkningsfallen med komplexbildande kemikalier då teknetium-99 och plutoniumisotoper oftast ger största dosbidragen. För fallet med utsläpp till en myrmark dominerar selen-79. Andra nuklider som ofta ger betydande tillskott till totaldosen är nickel-59, jod-129, molybden-93 och cesium-135.

Maxdoserna för basscenariot ligger under 0,01 mSv/år för samtliga fall utom fallet för utsläpp till brunn för vilka maxdoserna kan vara en dryg tiopotens högre. För övriga scenarier är det fallet med kemikalier och degraderade barriärer som utmärker sig och kan ge doser upp till 1 mSv/år. De allra högsta doserna erhålls dock om en brunn borrar rakt ner i förvarsutrymmena. Doser upp till 10 mSv/år (30 mSv för BLA) är möjliga om allt konsumerat dricksvatten för ett hushåll kommer från en sådan brunn.

Stråldoser till biota har beräknats för dagens biosfär dvs. kustområdet och för det maximala årliga utsläppet av kol-14 från Silon. Doserna ligger i intervallet  $4 \times 10^{-13} - 3 \times 10^{-6}$  Gy/år. Upptagsvägen via bottenlevande växter ger de högsta doserna. Stråldoserna blir högre 2 000 år efter förslutning eftersom, områdets totala yta och



vattenvolym minskar. Beräkningar har inte gjorts för andra ekosystem, eftersom den använda ekosystemmodellen bara utvecklats för kustekosystem.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

Granskningsgruppen konstaterar att doserna som redovisas inte på något avgörande sätt skiljer sig från de som uppskattades i den tidigare säkerhetsanalysen (SKB, 1993). Detta resultat har erhållits trots att det föreligger många skillnader i dataunderlag och konceptuella modeller samt att främst konsekvens- och hydromodellerna utvecklats väsentligt. De maximala doserna från en brunn nedströms slutförvaret ligger för båda säkerhetsanalyserna i storlek upp till 0,5 mSv/år. I SSR 2001 har dock doserna för användning av intrångsbrunnar räknats upp ungefär en tiopotens.

Med stöd av SKB:s beräkningsresultat och de analyser och dataurval myndigheterna låtit genomföra (Maul och Robinson, 2002; Savage m.fl., 2000), gör granskningsgruppen bedömningen att de redovisade doserna sannolikt inte är väsentligt underskattade. Det är dock fullt möjligt att SKB i viss utsträckning och särskilt för vissa beräkningsfall underskattat doserna. Ett utmärkande exempel är att inventariet av kol-14 i SFR 1 och även fraktionen av organiskt kol-14 kan vara underskattad (se avsnitt 5.3 i denna rapport).

SKB har i SSR 2001 inte redogjort explicit för ett säkerhetskoncept bestående av olika säkerhetsfunktioner. Granskningsgruppen kan dock indirekt, till exempel genom att studera SKB:s beräkningsresultat härleda delar av det säkerhetskoncept som bildar en utgångspunkt i SSR 2001. Utspädning i Östersjön är en viktig skyddsfunktion för radionuklider som frigörs i ett tidigt skede, t.ex. på grund av gasutveckling. För de långlivade och sorberande nukliderna är sorption på betong och cement den mest kritiska säkerhetsfunktionen. Under inlandsperioden är dessutom möjligheten att demonstrera ett begränsat grundvattenflöde genom förvarsutrymmena en betydelsefull säkerhetsfunktion

SKB:s beräkningar visar att doserna domineras av nuklider utan retentionsförmåga och för vilka slutförvaret kan sägas ha en begränsad skyddsförmåga, främst kol-14 fram till 6 000 år efter förslutning. Eftersom Östersjöperioden initialt medför stor utspädning av dessa nuklider, skulle den paradoxala slutsatsen kunna dras att ett sämre konstruerat slutförvar ger lägre doser. Granskningsgruppen anser därför att konsekvensberäkningar och analys av säkerhetsfunktioner för de icke-sorberande och sorberande nukliderna i något fall borde betraktas separat, som ett led i att demonstrera slutförvarets säkerhetskoncept. Detta skulle få slutförvarets huvudsakliga säkerhetsfunktioner för sorberande nuklider att framträda tydligare.

Granskningsgruppen anser att SKB:s motiv för att använda 10 000 som tidsbegränsning är oklara. Den årliga totaldosen från SFR 1 för basscenariots huvudfall med intakta barriärer och rimlig biosfärsutveckling visar en konstant eller möjligen en svagt nedåtgående trend från ca 7 000 (figur 5-45 i SSR 2001). Däremot är det en ökande trend för dosbidragen från framförallt Silo och BMA, men också från BTF från ca 7 000 och så långt fram i tiden som doser redovisas. För fallet degraderade barriärer inom basscenariot kan en likartad dostrend noteras efter 7 000 men vid en högre dos (ca 2 ggr högre för BMA och 3 ggr högre för Silon). För BLA ökar fortfarande inflödet av

sorberande nuklider till biosfären vid 7 000 år, detta gäller t.ex. teknetium-99, plutonium-240 (fig. 5-37 i SSR 2001). Sammantaget är det utifrån detta svårt att avgöra totaldosens storlek efter drygt 10 000 varför det inte är uppenbart motiverat att välja 10 000 som tidsbegränsning för dosberäkningarna. SKB hänvisar (sid. 5.8-5 och figur 5-39 i SSR 2001) till att totala utsläppskurvan är på nedåtgående för basscenariot med dagens biosfär (utspädning i Östersjön), men bedömningen av relevant tidsperiod borde dock ha gjorts för de enskilda scenarierna.

De beräknade doskonsekvenserna av gasutveckling är obetydliga eftersom gastutträngning endast antas ske under Östersjöperioden (se avsnitt 5.6.5 i denna rapport). Presentationen av gasberäkningarna i säkerhetsrapporten är dessutom otydlig då den är inriktad på att visa de stora ökningarna i utläckage som förekommer för några nuklider med liten eller obefintlig retardation, t.ex. tritium. Granskningsgruppen anser att SKB borde ha redovisat effekterna av denna process på ett utförligare sätt med tanke på att SKB själva anger att utträngning med gas kan ha stor inverkan på utflödet av radionuklider från förvaret.

Biosfärsberäkningar har genomförts probabilistiskt. Det är anmärkningsvärt att den potentiellt värdefulla informationen i spridningsmått (osäkerhetsintervall för de beräknade doserna) inte anges utan att endast aritmetiska medelvärden redovisas. Det är därför inte möjligt att bedöma resultatet av de probabilistiska beräkningarna och vilken betydelse de haft i analysen. Det är heller inte möjligt att genomskåda hur dessa resultat ska ses i ljuset av deterministiska beräkningar genomförda i närområde och geosfär.

Egan m.fl. (2003) har på myndigheternas uppdrag använt AMBER koden för att verifiera ekosystemmodellerna som beskrivits i Karlsson m.fl. (2001). Det var inte möjligt att fullt ut verifiera SKB modellerna. Metodiken för att bestämma radionuklidkoncentrationer i jord och sediment inte var tillräckligt väl dokumenterad. Konsulternas resultat antyder att det kan finnas felaktigheter i vissa figurer (exempelvis en faktor 100 för hög totalaktivitet i biosfären i figur 10-12) i SKB rapporten.

För första gången redovisar SKB stråldoser till biota. Granskningsgruppen anser att detta är positivt. Resultaten är dock begränsade till kustekosystemet och till kol-14. SKB diskuterar också möjliga stråldoser till biota i ett framtida sjöekosystem. Detta indikerar betydligt högre (kanske som högst 10 000 gånger högre) stråldoser till biota i detta ekosystem än i kustekosystemet.

Granskningsgruppen saknar information om miljökoncentrationer. Sådana erhålls normalt för de kompartiment som är ett led i beräkningen av stråldoser. Uppgifter om sådana koncentrationer kan också ge viss indikation på potentiella stråldoser till biota. I rapporten som specifikt beskriver beräkningar av stråldoser till biota (Kumblad, 2001) ges dock koncentrationsuppgifter för kol-14.

## 5.9 Karakterisering av risk och SKB:s slutsatser

I detta kapitel kommenteras SKB:s sammanfattande diskussioner om beräkningsresultaten och uppskattningen av risk (avsnitt 5.8 i SSR 2001) samt SKB:s övergripande slutsatser (avsnitt 5.9 i SSR 2001).

### *SKB:s redovisning*

SKB:s utgångspunkt för att bedöma den totala årliga risken är att ansätta en sannolikhet på 1 för basscenariot vilket innebär att riskbidraget erhålls genom att multiplicera den beräknade dosen med sannolikheten för skadeverkningar i enlighet med den internationella strålskyddskommissionens (ICRP) rekommendationer. Riskbidraget från övriga scenarier adderas till den totala risken om de ger en högre konsekvens (dos) än basscenariot.

I diskussionen går SKB igenom riskbidragen från de olika beräkningsfallen i basscenariot. Den maximala uppskattade risken för basscenariot är  $4 \times 10^{-6}$  per år, vilken erhålls för en brunn placerad i utströmningsområdet till slutförvaret. SKB anger att detta riskbidrag ligger på en acceptabel nivå om hänsyn tas till den begränsade population som kan använda brunnen.

I diskussionen om riskbidragen från övriga scenarier anger SKB:

- *Initiala defekter* ger endast ett marginellt riskbidrag under östersjöperioden (1 000 första åren).
- *Otåta pluggar* ger ett ökat flöde (2-3 ggr) genom bergsalarna. Mer noggranna beräkningar eller doskonsekvenser bedöms inte som meningsfulla att göra innan utformningen av pluggarna bestämts.
- *Kemikalier/kvarglömda material* ger som mest en fördubbling av totaldosen jämfört med basscenariot, men den antaget låga sannolikheten för detta scenario innebär ändå att riskbidraget blir jämförbart med bassceniots riskbidrag.
- *Permafrost* bedöms inte ge ett signifikant riskbidrag eftersom de beräknade utsläppen är lägre än de utsläpp som beräknas ske under den inledande östersjöperioden. SKB presenterar ingen analys av potentiella doskonsekvenser till följd av utsläpp till en annan recipient än Östersjön.
- *Intrång – brunn* ger höga doser, upp till 30 mSv/år men p.g.a. den uppskattade låga sannolikheten för brunnsintrång ligger det maximala riskbidraget på  $5 \times 10^{-6}$  per år vilket är jämförbart med riskbidraget från basscenariot. Även inverkan på långtidfunktionen anges bli begränsad i förhållande till scenariots låga sannolikhet.

SKB för ett resonemang om trovärdigheten i beräkningsresultaten och de försiktiga antaganden som är inbyggda i analyserna och bedömer att den totala risken endast i undantagsfall och under en kortare period kan komma att överstiga SSI:s riskkriterium på  $10^{-6}$  per år. För basscenariot med realistisk biosfärsutveckling inträffar riskmaximum vid 3 000 år efter förslutning och domineras av den lätttrörliga radionukliden kol-14. För scenariot kemikalier – degraderade barriärer tillkommer dosbidrag från teknetium-99 och nickel-59. För brunnsfallet ger plutonium från BLA ett signifikant dosbidrag.

Den miljöpåverkan i ekosystemen som kan förväntas från slutförvaret bedöms inte påverka individuella organismer i området, och i ännu mindre grad påverkas populationer. SKB:s övergripande slutsats från säkerhetsanalysen är att den möjliga dosen och potentiella risken från SFR 1 är lägre än de av myndigheterna uppsatta konstruktionsmålsättningarna och gällande föreskrifter från SSI.

### ***Granskningsgruppens bedömning***

#### *Presentation och riskmetodik*

SKB:s samlade riskuppskattning (avsnitt 5.8 i SSR 2001) innehåller en betydligt utförligare genomgång av riskbidragen från de olika beräkningsfallen och scenarierna, än vad som exempelvis presenterades i SR 97 (SKB, 1999). För varje beräkningsfall redovisas den beräknade maximala stråldosen och en uppskattad sannolikhet, vilket är en nödvändig förutsättning för att kunna göra en total riskuppskattning som kan jämföras med SSI:s riskkriterium. Granskningsgruppen ser positivt på att SKB i SSR 2001 redovisar hur de beräknade doserna är fördelade geografiskt och över tid. Granskningsgruppen har heller inget att invända mot de principer SKB använt vid sammanvägningen av riskbidrag från olika scenarier.

Enligt granskningsgruppens uppfattning krävs dock en hel del arbete för att presentationen av SKB:s riskbedömning skall nå upp till acceptabel nivå vad gäller logisk struktur, överblickbarhet och spårbarhet. Granskningsgruppens huvudsakliga kritik omfattar otydligheter i scenarioformuleringarna, godtyckliga val av sannolikheter för ”övriga scenarier” och den osystematiska diskussionen om osäkerheter vid bedömningen av beräkningsresultaten, vilket kommenteras mer i detalj nedan.

#### *Scenarier och scenariosannolikheter*

Granskningsgruppen anser att det är bra att SKB i sin riskanalys utgår från ett basscenario som beskriver slutförvarets troliga utveckling och att detta scenario ges en hög sannolikhet. Detta är i enlighet med de krav som ställs i myndigheternas föreskrifter. Granskningsgruppen bedömer att SKB:s basscenario innehåller de viktigaste processerna som kan påverka utvecklingen av slutförvaret och dess omgivning, med vissa undantag rörande gasbildning, degradering av barriärer och succession av ekosystem.

Granskningsgruppen ifrågasätter dock det sätt på vilket betydelsefulla osäkerheter hanteras i huvudscenariot, t.ex. komplexbildare i slutförvaret och klimatutveckling. SKB har visserligen behandlat dessa i de övriga scenarierna men har då formulerat dem som extremfall med en antagen låg sannolikhet, vilket medför att dessa inte ger något betydelsefullt riskbidrag i förhållande till basscenarioet. Det är t.ex. ytterst osäkert om den enda väsentliga osäkerheten vad gäller komplexbildare är mängden organiskt material, vilket SKB:s beräkningsmodell förutsätter. Vidare ersätter SKB en realistisk beskrivning av osäkerheter i klimatutvecklingen i basscenarioet (t.ex. begynnande period av kallare klimat) med ett orealistiskt permafrostscenario som kombineras med dagens biosfär, d.v.s. utspädning i Östersjön. Denna typ av scenarier som studeras oberoende av sannolikhet (restscenarier eller ”what-if” scenarier) kan visserligen vara betydelsefulla ur förståelsesympunkt. Det innebär dock inte att kraven på redovisningen av osäkerheternas hantering i basscenarioet kan mildras. Effekterna av osäkerheter kan illustreras

på ett bra sätt genom restsценarier eller extremscenarier, men osäkerheterna ges med denna typ av scenarier ingen tyngd i den övergripande riskanalysen. Granskningsgruppen bedömer att dessa problem hade kunnat undvikas om SKB i förväg definierat vilka krav som bör ställas på valet av scenarier för att få ett bra underlag för en samlad riskvärdering.

Den mest kritiska exponeringsvägen är sannolikt upptag via dricksvatten från en brunn. SKB för ett resonemang om den årliga sannolikheten för att en brunn extraherar vatten ur den mest kontaminerade pplymen i utströmningsområdet och anger att denna sannolikhet är 10 %. Gruppen antas konservativt att konsumera de tillgängliga radionukliderna. SKB anför vidare, med stöd av kommentarerna till SSI:s föreskrifter (SSI, 1999), att det är rimligt att jämföra den beräknade risken med ett riskvärde som är en faktor 10 gånger högre än det som anges i SSI:s föreskrifter. SKB:s argument är att de få individer som kan tänkas utnyttja brunnen rimligen bör betraktas som de mest exponerade individerna, snarare än som en representativ individ för en större exponerad population.

Enligt granskningsgruppen är detta resonemang inte i enlighet med intentionerna i kommentarerna till föreskrifterna. Det anges där att SKB har möjlighet att utnyttja det högre riskvärdet för jämförelse med riskutfallet för en individ som erhåller den allra största risken. Granskningsgruppen anser att SKB bör väga in att sannolikheten för brunnsexponering i detta fall bör vara väsentligt högre än för fallet med den större gruppen. Granskningsgruppen vill här framhålla att det pågår ett arbete med att förtydliga dessa aspekter av myndigheternas krav på redovisning av ett slutförvars skyddsförmåga.

SKB anger att påverkan på slutförvarets skyddsförmåga efter direkt intrång blir begränsad med hänsyn till scenariots låga sannolikhet. Detta resonemang förutsätter att skadorna på slutförvaret från ett intrång inte påverkar skyddsförmågan under en längre tidsperiod. För det fall då detta inte kan visas bör den ackumulerade sannolikheten för intrång beaktas.

#### *Bedömning av osäkerheter i riskanalysen*

Granskningsgruppen bedömer att SKB:s beräkningar delvis ger en tydlig illustration av vilka parametrar, händelser och processer som är mest kritiska för riskanalysen. Till dessa hör inventariet av vissa radionuklider (främst kol-14, nickel-59 samt plutonium), grundvattenflödet i slutförvaret samt recipientförhållanden i biosfären. Ändå är det enligt granskningsgruppen svårt att göra en samlad bedömning av säkerhetsmarginalerna i SKB:s riskanalys. Detta beror till stor del på att SKB:s resultatredovisning ger en bristfällig bild av de osäkerheter som är förknippade med resultaten. Till skillnad från SKB:s tidigare säkerhetsanalys för bränsleförvaret, SR 97, som delvis hade probabilistiska inslag, är beräkningarna i SSR 2001 nästan helt och hållet deterministiska och innehåller endast mycket begränsade känslighets- och osäkerhetsanalyser.

Beräkningsfallen baseras på en blandning av vad som anges vara realistiska respektive pessimistiska antaganden. De kvalitativa resonemang, om t.ex. pessimismen i valda beräkningsfall, som redovisas som argument för en hög tilltro till resultaten, borde enligt granskningsgruppens uppfattning kompletteras med kvantitativa bedömningar av

osäkerheterna. Detta skulle kunna åstadkommas genom mer systematiska osäkerhets- och känslighetsanalyser eller genom att öka det probabilistiska inslaget i analyserna. Kapitel 6 i denna granskning ger exempel på frågor som föranleder granskningsgruppen att ifrågasätta pessimismen i vissa av SKB:s antaganden.

#### *Effekter på miljön*

För att bedöma effekter på miljön till följd av joniserande strålning gör SKB bland annat jämförelser mellan beräknade stråldoser till biota och ett antal internationellt diskuterade gränsvärden. Det konstateras att de beräknade stråldoserna till biota i kust-ekosystemet ligger långt under dessa gränsvärden. SKB:s uppskattningar för sjöekosystemet indikerar dock doser som ligger betydligt närmare de angivna gränsvärdena. Granskningsgruppen anser att jämförelser med olika förslag till gränsvärden ska göras med stor försiktighet, eftersom det helt saknas etablerade gränsvärden för långsiktig exponering av biota vid låga stråldoser. Det bedöms därför väl tidigt att med någon större säkerhet dra slutsatser om hur läckaget från SFR 1 kan komma att påverka organismer i området.

#### *Slutsatser för långtidfunktionen*

Granskningsgruppen anser inte att SKB:s redovisning i SSR 2001 ger ett tillräckligt underlag för att förbehållslöst konstatera att SFR 1 uppfyller SSI:s riskkriterium. Granskningsgruppen bedömer visserligen att SKB:s resultat från analyserna av dos och risk är rimliga, d.v.s. att SFR 1 för rimliga antaganden om slutförvarets framtida utveckling och exponeringsvägar kan ge upphov till doser runt 1 mSv per år som med hänsyn till sannolikheter motsvarar en årlig risk på  $10^{-6}$ - $10^{-5}$ . Denna bedömning stöds även av de konsultberäkningar (Maul och Robinson, 2002) som genomförts på uppdrag av myndigheterna. Granskningsgruppen anser dock att de brister som påtalats vad gäller motiveringar av pessimistiska antaganden och avsaknaden av en genomgripande utvärdering av osäkerheter gör det svårt att bedöma säkerhetsmarginalerna i SKB:s resultat. Det faktum att den beräknade totalrisken ligger i nivå med, eller strax över, SSI:s riskkriterium på  $10^{-6}$  per år innebär att utrymmet för eventuella underskattningar av risken i det närmaste är obefintligt.

## 6 Nyckelfrågor från granskningen

Detta kapitel redovisar ett urval av kritiska frågor som framkommit i granskningsgruppens granskning av SSR 2001 (SKB:s Slutlig säkerhetsrapport 2001 för SFR 1) och bygger således på de mer detaljerade synpunkter som framförts i tidigare kapitel. Syftet är att ge en sammanställning av de områden där granskningsgruppen bedömt att det finns särskilda oklarheter eller brister i SKB:s redovisning. De synpunkter som valts ut är av betydelse för bedömningen av slutförvarets långsiktiga skyddsförmåga, SKB:s metodik för säkerhetsanalys eller det sätt på vilket säkerhetsanalysen presenterats.

### *Säkerhetskoncept*

Granskningsgruppen anser att SKB:s redovisning av säkerhetskonceptet i SSR 2001 är alltför otydlig. Vissa principer för säkerhetsfunktionen är möjliga att härleda genom att följa SKB:s argumentation i SSR 2001, men de finns inte beskrivna på ett sammanhållet sätt. Granskningsgruppens tolkning av viktiga delar av SKB:s säkerhetskoncept är att:

- Den kemiska barriärfunktionen är en avgörande faktor för slutförvarets skyddsförmåga, vilket t.ex. innebär att det är avgörande att de gynnsamma kemiska betingelserna för sorption av radionuklider i slutförvaret, t.ex. högt pH och låg redoxpotential, bibehålls under hela tidsperioden.
- Slutförvarets förläggning under Östersjön ger en mycket låg sannolikhet för intrång under den tid då huvuddelen av radionuklidinventariet avklingar.
- Utspädning i Östersjön är en viktig säkerhets- eller skyddsfunktion; de högsta beräknade utflödena av radionuklider från SFR 1 efter återmättad (t.ex. till följd av gasbildning) ger små doser tack vare just stor utspädning i Östersjön.
- Låga grundvattenflöden utgör en viktig säkerhetsfunktion; grundvattenflöden genom slutförvaret kommer visserligen att öka till följd av landhöjning och en tänkbar degradering av barriärer, men måste hålla sig inom rimligt förutsägbara gränser för att SKB:s modeller för utflöden av radionuklider från slutförvaret skall vara giltiga. Lågt grundvattenflöde är sannolikt också en förutsättning för giltigheten av SKB:s antagande att slutförvarets fysiska integritet inte är kritiskt för slutförvarets funktion.

Myndigheterna och en internationell expertgrupp har redan tidigare påpekat behovet av att en sammanhållen säkerhetsstrategi bör upprättas vid framtagning av en säkerhetsanalys (SKI, 2000a; SSI, 2000 och SKI, 2000b). Med säkerhetskoncept eller säkerhetsstrategi avses en beskrivning av de principer som kan anses ge de starkaste argumenten för att kraven på långsiktig säkerhet och strålskydd kan uppnås. En tydlig redovisning av viktiga säkerhetsfunktioner är enligt granskningsgruppen uppfattning värdefull dels för att kunna förstå motiven för de prioriteringar av olika analyser som gjorts i säkerhetsanalysen dels för att kunna bedöma om de krav på utformning av barriärsystemet som ställs i SKI:s föreskrifter (SKI, 2002) är uppfyllda.

Synen på säkerhetskonceptet kan mycket väl förändras som ett resultat av utvecklingsarbete eller nya forskningsrön, men varje säkerhetsanalys bygger direkt eller indirekt på sådana utgångspunkter.

En intressant observation i sammanhanget är att säkerhetsstrategin för SFR 1 förefaller ha ändrats avsevärt sedan tillståndet gavs 1983. Då byggde säkerheten uteslutande på fysiska inneslutningen av avfallet i BMA och Silon. Anledningen till att sorption inte medtogs i det första konceptet var medvetandet om att organiska ämnen och komplexbildare skulle göra det svårt att tillgodoräkna sig denna process. Detta ändrades redan 1987 då sorption lades till som en kemisk barriär. Vid de senare analyserna har tyngdpunkten efterhand alltmer kommit att ligga på denna kemiska barriärfunktion, inte minst i takt med att intresset förskjutits mot längre tider än 1 000 år.

### *Förslutningsåtgärder*

Viktiga frågor kring utformningen och placeringen av pluggar, kringgjutning av avfallskollin i BMA, typ av återfyllnad för de olika förvarsdelarna samt åtgärder för BLA är oklart formulerade eller lämnas obesvarade i SSR 2001. Den säkerhetsmässiga betydelsen av dessa förslutningsåtgärder har därför inte kunnat belysas på ett tillfredsställande sätt. Granskningsgruppen anser att detta är en onödig begränsning av säkerhetsanalysen som kunde ha undvikits genom att ta fram en plan för samtliga förslutningsåtgärder. Granskningsgruppen är införstådda med att en sådan plan kan behöva justeras i framtiden med hänvisning till utbyggnaden av nuvarande slutförvar eller om ytterligare slutförvar kommer att uppföras inom området.

### *Inventarium av radionuklider*

Granskningsgruppen har vid genomgången av det nuklidinventarium som SKB baserat konsekvensanalysen på, det s.k. konservativa, funnit att inventariet av långlivade radionuklider generellt sett har ökat jämfört med det inventarium som låg till grund för tillståndsansökan. Granskningsgruppen bedömer att detta inventarium *inte* ryms inom gällande tillstånd och delar således inte SKB:s resonemang om tillåtligheten av detta inventarium. För det s.k. realistiska inventariet råder däremot acceptabel överensstämmelse med det tillståndsgivna inventariet.

Vad gäller inventariet av vissa betydelsefulla aktiveringsprodukter är osäkerheterna otillfredsställande stora. Detta gäller främst inventariet av kol-14 och nickel-59. Granskningsgruppen menar att det inte kan uteslutas att det inventarium som SKB benämner som konservativt i själva verket underskattar inventariet av dessa radionuklider i slutförvaret. Betydelsefulla osäkerheter bedöms råda även för inventariet av fissionsprodukten jod-129. Med tanke på att dessa radionuklider dominerar både den långsiktiga källtermen och de beräknade framtida stråldoserna behöver en förbättrad uppskattning av inventariet göras, sannolikt baserad på reaktorspecifika mätningar.

Enligt den prognos som presenteras i SSR 2001 kommer den mest kvalificerade förvarsdelen, Silon, endast vara fylld till drygt 60 % år 2030. Mot bakgrund av att de beräknade framtida doskonsekvenserna är i nivå med SSI:s strålskyddskriterium samt att halten av vissa långlivade radionuklider kan vara underskattade i vissa typer av avfall är det enligt granskningsgruppens uppfattning inte klarlagt att slutförvarets skyddsförmåga har utnyttjats på ett optimalt sätt. En översyn av den uppkomna fördelningen av olika avfallskollin och styrningen av avfallet mot de olika förvarsdelarna är enligt granskningsgruppens bedömning nödvändig.



### *Hydrogeologisk modellering och grundvattenflöden*

Med hänsyn till grundvattenflödets stora betydelse för de tekniska barriärernas degradering och uttransporten av radionuklider från SFR 1, är det av stor vikt att de flödesdata som används är väl underbyggda. Granskningsgruppen har dock identifierat flera svagheter i SKB:s hydrogeologiska modellering, bl.a. avseende representation av heterogenitet, kalibrering och motivering av materialdata för olika delar av slutförvaret. Det är också en brist att det saknas en genomgripande osäkerhetsanalys. Mot denna bakgrund anser inte granskningsgruppen att SKB på ett övertygande sätt motiverat de grundvattenflöden som använts i konsekvensanalysen i SSR 2001.

### *Val av sorptionsdata - $K_d$ -värden*

Det finns svagheter i underlaget till val av  $K_d$ -värden vad gäller sorption i närområdet (cement, grus och bentonit). Granskningsgruppen efterlyser en utförligare diskussion om osäkerheter och realism hos valda data, som t.ex. inbegriper hur sorptionen av betydelsefulla nuklider påverkas av faktorer som pH, redox, speciering, jonstyrka, mätosäkerhet, omvandling av sorbenter. Granskningsgruppen anser även att en känslighetsanalys borde ha genomförts för närområdets  $K_d$ -värden, särskilt för att illustrera effekter under den inledande östersjöperioden. För  $K_d$ -värden i biosfärsmodellerna finns en känslighetsanalys redovisad (Karlsson m.fl., 2001), men inte för övriga delar av systemet.

SKB borde ha varit noggrannare med att specificera vilka intervall för särskilt viktiga grundvattenparametrar (pH, Eh, jonstyrka) som rimligen kan förväntas för olika delar av SFR 1. Dessa intervall erfordras för att bedöma tillämpligheten av de utvalda  $K_d$ -värdena. Granskningsgruppen finner det troligt att framtida betingelser i SFR 1 kan avvika från de som utvalda  $K_d$ -värdena rimligen representerar. Det är med det tillgängliga materialet som utgångspunkt inte uppenbart att SKB:s generella antagande om konservatism alltid är uppfyllt.

Kunskapen om inverkan på sorptionen av komplexbildare såsom iso-sackarinat är enligt granskningsgruppens uppfattning inte ännu tillräckligt väl utvecklad. Framförallt saknas en trovärdig teoretisk förståelse av de styrande mekanismerna och en koppling av dessa till modeller som är användbara i säkerhetsanalysen. De framsteg som gjorts under de gångna ca 10 åren stödjer i viss mån tanken att inverkan skulle vara hanterbar för de flesta nuklider. Osäkerheterna är dock mycket stora och fortsatt forskning är nödvändig.

### *Analys av barriärernas utveckling*

SKB redovisar en förtjänstfull studie om betongdegradering som kopplar kemiska processer med diffusion, vilken används som ett underlag för att bedöma degradering av de tekniska barriärerna (betong och bentonit). Denna ger dock inte ett tillräckligt underlag för analysen av SFR 1, bl.a. eftersom vissa möjliga fysiska degraderingsmekanismer inte inkluderats (termisk expansion, uppbyggnad av gastryck, berggrörelser och expansion av bitumen). Granskningsgruppen anser att SKB bättre borde ha belyst dessa mekanismer samt de oundvikliga kopplingarna mellan kemiska och fysiska degraderingsprocesser.

Det är svårt att se kopplingen mellan analysen av betongdegradering och beräkningsfallet för degraderade barriärer. Det är t.ex. inte uppenbart varför det i detta fall endast finns en genomgående spricka i ett enskilt betongfack i BTF- och BMA-förvarsdelarna, samtidigt som övriga delar av dessa betongkonstruktioner antas förbli intakta.

Granskningsgruppen saknar en trovärdig analys som grund för att utesluta horisontellt flöde genom silon samt en beskrivning av återmättnadsförloppet för bentonitbarriären. Det finns inte heller någon sammanhållen beskrivningen av återmättnadsförloppet för SFR 1 i huvudrapporten.

### *Biosfärsanalyser*

SKB har i SSR 2001 tagit fram en förtjänstfull beskrivning av hur biosfären utvecklas under de närmaste 10 000 åren som följd av den pågående landhöjningen. Detta är väl-motiverat med hänsyn till biosfärens stora betydelse för i synnerhet ett relativt ytnära slutförvar som SFR 1. Det finns dock vissa svagheter och förenklingar som påverkar trovärdigheten av dos- och riskberäkningarna.

SKB redovisar en mycket förenklad modellering av radionuklidernas transport och omsättning i övergången mellan geosfär (berget) och de jord- och sedimentlager och ytvatten som ingår i ekosystemmodellerna. Myndigheterna anser att SKB inte visat att det är ett försiktigt val att helt försumma inverkan av processer i dessa delar av gränzonen mellan geosfär och biosfär. Detta gäller t.ex. inströmning av kontaminerat grundvatten från slutförvaret till havs- och sjösediment och efterföljande omfördelnings- och ackumuleringsprocesser. Granskningsgruppen bedömer att systembeskrivningen och de använda modellerna i SSR 2001 inte tillräckligt belyser övergången mellan geosfär och biosfär.

SKB anger att de största konsekvenserna kan förväntas i utströmningsområdet från slutförvaret, vilket därför definierats som modellområde. Granskningsgruppen bedömer att detta i och för sig kan vara ett rimligt antagande, men vill understryka att detta bör motiveras bättre med hänsyn till att en mycket stor andel av radionukliderna lämnar modellområdet med yt- eller grundvatten, beroende på ekosystem, och att det inte framgår vilka effekter dessa radionuklider kan få på människa och miljö i närområdet (eller längre bort).

De abrupta övergångarna mellan olika ekosystem i SSR 2001 innebär att potentiellt viktiga processer och deras möjliga konsekvenser som parallella exponeringsvägar kan vara förbisedda, t.ex. i samband med att sjösediment tas i anspråk som jordbruksmark. Det är också en anmärkningsvärd brist att det förväntat dominerande ekosystemet, skog, överhuvudtaget inte finns med i analysen. Granskningsgruppen anser inte att SKB visat att jordbruksmark alltid är det mest konservativa terrestra ekosystemet.

### *Val av scenarier*

Även om SKB:s metodik för val av och formulering av scenarier är ett framsteg i förhållande till den metodik som användes i SR 97 (SKB, 1999), har granskningsgruppen identifierat ett antal brister i förhållande till de krav som ställs i myndigheternas föreskrifter och synpunkter som framförts i samband med granskningar av SKB:s tidigare

säkerhetsredovisningar för SFR 1. De viktigaste synpunkterna sammanfattas i följande punkter:

- Steget från val av scenarioniterande händelser till formuleringen av scenarier är otillräckligt beskrivet, vilket försvårar bedömningen av fullständigheten i scenariovalet.
- Basscenariot saknar ett fall som tar hänsyn till slutförvarets förväntade utveckling i enlighet med kraven i myndigheternas föreskrifter. Det ska finnas ett fall som beskriver den gradvisa utvecklingen av slutförvaret, dels som utgångspunkt för formulering av alternativa utvecklingsvägar dels för att demonstrera en förståelse för de processer som styr slutförvarets utveckling.
- Myndigheterna har i tidigare granskningar (SKI, 1992; SSI, 1992) efterlyst en bättre utvärdering av olika kombinationer av ogynnsamma förhållanden och processer, FEP. Det finns fortfarande vissa brister i detta avseende då SKB inte explicit utvärderat betydelsen av osäkerheter kring framtida klimatutveckling och komplexbildare i basscenariot. De mer eller mindre extrema scenarierna (permafrost och kvarglömnda kemikalier) med låg sannolikhet är värdefulla, men fyller inte samma funktion.

#### *Val av tidsperiod för säkerhetsanalysen*

Det är inte rimligt att a priori begränsa tiden för val av scenarioniterande händelser till 10 000 år. Att SKB senare, på grundval av scenarioanalyserna, drar slutsatsen att 10 000 år är en tillräcklig tidsperiod för säkerhetsanalysen, kan vara en direkt konsekvens av denna begränsning.

De beräknade doserna vid 10 000 år efter förslutning är ca en storleksordning lägre än de som beräknas för insjöperioden. Trenden i de beräkningar som SKB presenterar i SSR 2001 tyder dock på successivt ökande doskonsekvenser (förutom för BLA) vid tidpunkten 10 000 år efter förslutning. Mot bakgrund av att de radionuklider som dominerar de långsiktiga omgivningskonsekvenserna har halveringstider i storleksordningen tusentals till tiotusentals år är SKB:s motiv för val av tidsperiod otillräcklig. SKB:s val av tidsperiod har inte heller stöd i myndigheternas föreskrifter.

#### *Val av modeller*

Granskningsgruppen efterlyser en mer systematisk och spårbar beskrivning av härledningen av beräkningsmodeller, tillsammans med en diskussion om betydelsen av de förenklingar som gjorts i förhållande till den mer fullständiga systembeskrivningen i interaktionsmatriserna. SKB:s informationsflödesdiagram ger en bra översikt av hur analyserna av slutförvarets långtidfunktion har organiserats. SKB:s redovisning ger dock inte en tillfredsställande bild av hur den mellanliggande tolkningen och hur överföringen av data skett mellan de olika modellerna i beräkningskedjan.

#### *Risk- och osäkerhetsanalys*

Granskningsgruppen anser att SKB:s principer för sammanvägning av riskbidrag från olika scenarier är godtagbara. Det är också positivt att de beräknade doserna redovisas som en funktion av tid och rum.

SSR 2001 saknar en genomgripande känslighets- och osäkerhetsanalys. SKB anger ändå att tilltron till riskanalysen är god, bl.a. med hänvisning till att många parametrar och beräkningsfall valts på ett pessimistiskt sätt, d.v.s. kan förväntas överskatta konsekvenserna. Granskningsgruppen delar inte SKB:s höga tilltro till den samlade riskvärderingen. Enligt granskningsgruppens uppfattning krävs en bättre strukturerad genomgång av osäkerheter i beräknade stråldoser och uppskattade scenariosannolikheter och deras betydelse i diskussionen av riskbidragen från olika beräkningsfall och scenarier.

Granskningsgruppen har i denna granskning givit exempel på otillräckligt motiverade parameterval, t.ex. inventariet av dosdominerande radionuklider, flödesdata och  $K_d$ -värden. Det faktum att slutförvaret förväntas genomgå en komplicerad tidsberoende utveckling med successiv degradering av tekniska barriärer, landhöjning och förändrade recipienter, gör det dessutom svårt att i förväg veta vad som är pessimistiska parameterval. Granskningsgruppen anser också att SKB i förväg bör ange vilka kriterier som behöver ställas på valet och formuleringen av scenarier, för att de skall ge ett bra underlag för en samlad riskvärdering.

#### *Dokumentation och kvalitetssäkring*

Granskningsgruppen anser att SSR 2001 är uppbyggd kring en lämplig struktur av underlagsrapporter som på olika nivåer understödjer huvuddokumentet (t.ex. data-rapport, beräkningsrapport, FEPs databas). Granskningsgruppen anser dock att det finns brister i dokumentationen och kvalitetssäkringen. Exempel på detta är att:

- delar av den förväntade dokumentationen av beräkningsmodeller för närområde och biosfär saknas
- probabilistiska beräkningar för biosfären redovisas inte
- reproduktion av biosfärsberäkningarna har inte varit möjlig baserad på publicerat material (Egan m.fl., 2003 )
- val av parametrar för konsekvensberäkningar är delvis ottydliga (t.ex. val av  $K_d$ -värden och vissa transportparametrar för tekniska barriärer)
- viss information endast finns tillgänglig som internt SKB material (SKB:s bedömning av FEP databasen).

Sammantaget bedömer granskningsgruppen att det finns brister i spårbarhet, transparens och reproducerbarhet.

Granskningsgruppen anser att SKB i större utsträckning bör dokumentera procedurer för formulering av de kritiska momenten i konsekvensanalysen, så som val av data, konceptuella modeller och beräkningsfall. Användning och dokumentation av expertbedömningar är t.ex. väsentligt för att förstärka delar av en säkerhetsanalys för vilka sakargument måste kompletteras med omdömen baserad på erfarenhet.

Granskningsgruppen anser även att SKB bör överväga hur kravet på en fristående säkerhetsgranskning enligt SKIFS 1998:1 (SKI, 1998) skall tillgodoses inom säkerhetsanalys för långsiktig säkerhet.

### *Återkoppling till fortsatt FoU*

Säkerhetsredovisningen för SFR 1 innehåller ingen återkoppling till fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete. Även om det inte är ett föreskriftskrav, anser granskningsgruppen att SKB bör redovisa erfarenheterna från varje slutförd säkerhetsanalys, t.ex. vad gäller viktiga kunskapsluckor eller osäkerheter. Detta ger det underlag som behövs för att kunna prioritera det fortsatta forsknings- och utvecklingsarbetet och därmed ständigt öka kunskapsnivån och förbättra framtida säkerhetsredovisningar.



# Referenser

## *Kapitel 1*

Benbow, S., Robinson, P., och Savage, D., Buffering capacity of pH in backfill, SKI Report 02:39, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

Chapman, N. A., Maul P. R., Robinson P. C., och Savage D., SKB's Project SAFE for the SFR 1 repository, A review by consultants to SKI, SKI Report 02:61, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

Egan, M. J., Maul, P. R., Watkins, B. M., och Venter, A., Work in support of biosphere assessments for solid radioactive waste disposal, 2. Biosphere FEP list and biosphere modelling, SSI rapport 2001:22, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2001.

Ingemansson T., Nuklidinventariet i SFR-1, SSI rapport 2001:23, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2001.

Klos, R., och Wilmot R., Review of Project SAFE: Comments on biosphere conceptual model description and risk assessment methodology, SSI rapport 2002:17, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2002.

Egan, M. J., Thorne, M. C., Little, R. H., and Pasco, R. F., Analysis of Critical Issues in Biosphere Assessment Modelling and Site Investigation, SSI Rapport 2003:12, ISSN 0282-4434, Statens strålskyddsinstitut (SSI), Stockholm Juli 2003.

Lundgren K., Ingemansson T., och Wikmark G., Carbon-14 in Nordic BWRs – Produktion and chemical forms, SSI project 1294.01, 2002.

Maul, P., och Robinson, P., Exploration of important issues for the safety of SFR 1 using performance assessment calculations, SKI Report 02:62, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

Savage, D., Stenhouse, M., och Benbow, S., Evolution of near-field physico-chemical characteristics of the SFR repository, SKI Report 00:49, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2000.

Savage, D., Noy, D., och Mihara, M., Modelling the interaction of bentonite with hyperalkaline fluids, Applied Geochemistry 17 (2002) 207-223, March 2001.

Shaw, G., A review of models for dose assessment employed by SKB in the renewed safety assessment for SFR 1, SSI rapport 2002:18, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2002.

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

SKI, SFR-1 – Ansökan om tillstånd för idrifttagning, 1988-03-24, ref. 7.41 955/87, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1988.

SKI, Statens kärnkraftinspektions författningssamling, Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerhet i vissa kärntekniska anläggningar, Allmänna råd om tillämpningen av Statens kärnkraftinspektions föreskrifter enligt ovan, SKIFS 1998:1, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1998.

Smith G., Merino J., och Kerrigan E., Review of C-14 inventory for the SFR facility, SSI rapport 2002:14, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2002.

SSI, Drifttillstånd för SFR-1 Etapp 1, 1988-03-30, Dnr 343/833/87, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1988.

Stenhouse, M. J., Miller, W. M., och Chapman N.A., System studies in PA: development of Process Influence Diagram (PID) for SFR-1 repository near-field + far-field, SKI Report 01:30, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2001.

Stenhouse, M., Comparison of SKB's RES Matrix FEPs with SKI's PID FEPs, SKI Report 02:41, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

Stephansson, O., och Jing, L., Risk of chimney caving of roof in vault of SFR 1 Forsmark Sweden, SKI-PM 03:03, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2003.

Sundqvist, J. O., Utredning kring förekomst av organiskt material, metaller och kemikalier i SFR, SKI Rapport 01:12, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2001.

Tirén, S. A., Sträng, T., och Nilsson, G., Alternative lineament maps and structural model of the SFR - Forsmark region - A comparison with SKB structural models, SKI Report 2003:01, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

## ***Kapitel 2***

EU-förordningar, Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation, Official Journal of the European Communities, L159, Vol. 39, 29 June 1996.

ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, vol. 21, No. 1-3, Pergamon Press, 1990.

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

SKI, SFR-1 – Ansökan om tillstånd för idrifttagning, 1988-03-24, ref. 7.41 955/87, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1988.



SKI, Statens kärnkraftinspektions författningssamling, Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerhet i vissa kärntekniska anläggningar, Allmänna råd om tillämpningen av Statens kärnkraftinspektions föreskrifter enligt ovan, SKIFS 1998:1, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1998.

SKI, Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall, SKIFS 2002:1, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

SSI, Drifttillstånd för SFR-1 Etapp 1, 1988-03-30, Dnr 343/833/87, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1988.

SSI, Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall, SSI FS 1998:1, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1998.

SSI, Föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall : bakgrund och kommentarer, Statens strålskyddsinstitut/Avdelningen för avfall och miljö, SSI-rapport 99:03, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1999.

### ***Kapitel 3***

ABS, Arbetarskyddsstyrelsens anvisningar, nr 67, Berganvisningar, 1974.

Bergman, C., Ericsson, G., Godås, T., Hägg, C., och Johansson, G., Granskningspromemoria: Slutförvar för reaktoravfall – SFR-1, SSI rapport 88-05, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1988.

FStr, Forsmark - Strålskyddsinstruktion, Dokumentnummer: F-I-201, Rev. 14, 8 maj 2001.

Pettersson, M., och Elert, M., Characterisation of bitumenised waste in SFR 1, SKB R-01-26, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

SBN, Svensk Byggnorm 80, Statens planverks författningssamling 1980:1, 1980.

SKI och SSI, SKI:s och SSI:s gemensamma granskning av SKB:s preliminära säkerhetsanalys för slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall – Granskningsrapport, SKI Rapport 01:14, SSI-rapport 2001:10, Statens kärnkraftinspektion, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2001.

SStr, SFR 1 Strålskydd, Instruktion, Dokumentnummer: FG-I-304, rev. 5, 26 februari 2002.

### ***Kapitel 4***

Appelgren, E., Radiologiska beräkningar för driftskedet, SKB SFR 87-14, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1987.

Bjälvenlid, N., Bergrumsanläggningens brandförsvar, SKB SFR 87-13, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1987.

Gustafsson, F., Angner, A., och Karnik, P., ES-konsult, Uppdatering av SFR 1 missödesanalys, PM Projekt 99067, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2000.

SKB, SKB-skrivelse till myndigheterna daterad 1993-05-26, SKB ref. SQ726/S2131, SSI ref. 833/1259/9, 1993.

SKI, Granskning av SKB:s fördjupade säkerhetsanalys för SFR-1, SKI Teknisk Rapport 92:16, Statens kärnkraftinspektion, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992.

SKI, Statens kärnkraftinspektionens författningssamling, Statens kärnkraftinspektionens föreskrifter om säkerhet i vissa kärntekniska anläggningar, Allmänna råd om tillämpningen av Statens kärnkraftinspektionens föreskrifter enligt ovan, SKIFS 1998:1, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1998.

SSI, Granskning av SKB:s fördjupade säkerhetsanalys för SFR-1 / utarbetad av en arbetsgrupp från Statens strålskyddsinstitut och Statens kärnkraftinspektion, SSI rapport 92:07, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992a.

SSI, Kompletterande driftmedgivande för SFR-1, etapp 1, SSI Dnr 833/1326/91, 1992b.

SSI, Beslut angående SKB:s redovisning med avseende på SSI:s villkor i kompletterande driftmedgivande för SFR 1, etapp 1, SSI Dnr 833/1326/91, 1994.

SSI, Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter om arkivering vid kärntekniska anläggningar, SSI FS 1997:1, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1997

SSI, Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljö vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall, SSI FS 1998:1, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1998.

SSI, Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter om personstrålskydd i verksamhet med joniserande strålning vid kärntekniska anläggningar, SSI FS 2000:10, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2000a.

SSI, Beslut angående arkivering vid Svensk Kärnbränslehantering AB, SSI Dnr 6240/2137/00, 2000b.

SSI, Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljö vid utsläpp av radioaktiva ämnen från vissa kärntekniska anläggningar, SSI FS 2000:12, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2000c.

### ***Avsnitt 5.1***

SKI, Granskning av SKB:s fördjupade säkerhetsanalys för SFR-1, SKI Teknisk Rapport 92:16, Statens kärnkraftinspektion, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992.

SKI, Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall, SKIFS 2002:1, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

SSI, Granskning av SKB:s fördjupade säkerhetsanalys för SFR-1 / utarbetad av en arbetsgrupp från Statens strålskyddsinstitut och Statens kärnkraftinspektion, SSI rapport 92:07, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992.

SSI, Statens strålskyddsinstituts föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljö vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall, SSI FS 1998:1, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1998.

SSI, Statens strålskyddsinstituts föreskrifter om personstrålskydd i verksamhet med joniserande strålning vid kärntekniska anläggningar, SSI FS 2000:10, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2000.

### ***Avsnitt 5.2***

SKB, Djupförvar för använt kärnbränsle – SR 97 – Säkerheten efter förslutning, Huvudrapport del I och II, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

SKB, Project SAFE – Compilation of data for radionuclide transport analysis, SKB R-01-14, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

SKI, Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall, SKIFS 2002:1, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

### ***Avsnitt 5.3***

Andersson L., Transuraninnehåll i avfallstyp S 13, Arbetsrapport NW-91/56, Studsvik, 1991.

EPRI, Characterisation of carbon-14 generated by the nuclear power industry, TR-105715, Project 2724-04, Final Report, EPRI, Palo Alto, California, USA, 1995.

EU, Rådets direktiv 96/29/Euratom av den 13 maj, 1996, Published in the European community's official journal, L 159, June 29, 1996.

Hesböl, R., Puigdomenech, I., och Evans, S., Source terms, isolation and radiobiological consequences of carbon-14 waste in the Swedish SFR repository, SKB Technical Report 90-02, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1990.

Ingemansson T., Nuklidinventariet i SFR-1, SSI rapport 2001:23, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2001.

Karlberg O., och Sandin A-C., Kontrollmätning av låg- och medelaktivt avfall avsett att slutförvaras i SFR-1, SSI rapport 92-09, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992.

Lindgren, M., Pers, K., Skagius, K., Wiborgh, M., Brodén, K., Carlsson, J., Riggare, P., och Skogsberg, M., Low and intermediate level waste in SFL 3-5; Reference inventory, SKB report Reg. No 19.41/DL31, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1998.

Lund I., Karlberg, O., och Lindbom G., Kontrollmätning av låg- och medelaktivt avfall avsett att slutförvaras i SFR-1; 1992 års mätningar, SSI rapport 93-24, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1993.

Lundgren K., Ingemansson T., och Wikmark G., Carbon-14 in Nordic BWRs – Produktion and chemical forms, SSI project 1294.01, 2002.

Riggare, P., och Johansson, C., Project SAFE – Low and intermediate level waste in SFR-1 - Reference Waste Inventory, SKB R-01-03, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

SKB, Slutförvar för reaktoravfall – SFR , Slutlig säkerhetsrapport SFR 1, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1987.

SKB, skrivelse daterad 1993-12-08, SQ 421, SSI Dnr 833/2651/93, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1993.

SKB, skrivelse daterad 1994-03-08, SQ 421, SSI Dnr 833/ad2651/93, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1994.

SKB, Project SAFE - Update of the SFR-1 safety assessment, Phase 1, Appendices, SKB R-98-44, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1998.

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

Smith G., Merino J., och Kerrigan E., Review of C-14 inventory for the SFR facility, SSI rapport 2002:14, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2002.

SSI, Erfarenheter från 1998 års avfalls- och miljöinspektioner och viss annan tillsyn vid de svenska kärntekniska anläggningarna, Avdelningen för avfall och miljö, SSI rapport 99:07, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1999.

Stenström K., Erlandsson B., Hellborg R., Skog G., och Wiebert A.,  $^{14}\text{CO}_2$  and total airborne  $^{14}\text{C}$  releases from a PWR and a BWR at Ringhals nuclear power plant measured with accelerator mass spectrometry, LUNFD6/(NFFR-3066)/1-9, 1995.

Studsvik Arbetsrapport RW-99/41 ”Beräkning av transuraninnehåll (TRU) i askor och rökgasstoff”, 1999-05-21, reviderad 2003-04-14, SSI dnr 6222/3799/03, 1999.

Sundqvist, J. O., Utredning kring förekomst av organiskt material, metaller och kemikalier i SFR, SKI Rapport 01:12, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2001.

Thegerström, C., och Hård E., Aktivitetsinnehåll i reaktoravfall, SFR 81-08, SKBF/KBS, Studsvik Energiteknik AB, Sverige, 1981.

Thiersfeldt S., och Deckert A., Radionuclides difficult to measure in waste packages, Brenk systemplanung, Aachen, Germany (BS-Nr 9203-6), 1995.

Torstenfelt B., och Olsen, M., Reduction of C-14 releases from nuclear power plants, SDA 96-1098, SSI P 977.95, ABB Atom, Sverige, 1996.

Westerlind M., Karlberg O, Lindbom G., och Lund I., Kontrollmätning av låg- och medelaktivt avfall avsett att slutförvaras i SFR-1; 1994 års mätningar, SSI rapport 95-07, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1995.

Wiebert A., Kontrollmätning av låg- och medelaktivt avfall avsett att slutförvaras i SFR-1; 1996 års mätningar, SSI rapport 97:10, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1997.

Wiebert A., och Nordén M., Kontrollmätning av låg- och medelaktivt avfall avsett att slutförvaras i SFR-1; 1997 års mätningar, SSI rapport 98:08, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1998.

#### ***Avsnitt 5.4***

Chapman, N., Andersson, J., Robinson, P., Skagius, K., Wene, C.-O., Wiborgh, M., och Wingefors, S., System analysis, scenario construction and consequence analysis definition for SITE-94, SKI Report 95:26, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1995.

Egan, M. J., Maul, P. R., Watkins, B. M., och Venter, A., Work in support of biosphere assessments for solid radioactive waste disposal, 2. Biosphere FEP list and biosphere modelling, SSI rapport 2001:22, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2001.

Klos, R., och Wilmot, R., Review of Project SAFE: Comments on biosphere conceptual model description and risk assessment methodology, SSI rapport 2002:17, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2002.

NEA, Scenario development methods and practice, An evaluation based on the NEA workshop on Scenario Development, held in May 1999 in Madrid, OECD/NEA, Paris, 2001.

SKB, SFR-1 Fördjupad säkerhetsanalys, SKB Arbetsrapport 91-10, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1991.

SKB, Djupförvar för använt kärnbränsle, SR 97 – Säkerheten efter förslutning, Huvudrapport, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

SKB, Slutförvar för radioaktivt driftavfall SFR 1, Slutlig säkerhetsrapport, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001a.

SKB, Project SAFE – Scenario and system analysis, SKB R-01-13, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001b.

SKI, SKI:s och SSI:s gemensamma granskning av SKB:s Säkerhetsrapport 97, Granskningsrapport, SKI Rapport 00:39, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2000.

Stenhouse, M. J., Miller, W. M., och Chapman N. A., System studies in PA: development of Process Influence Diagram (PID) for SFR-1 repository near-field + far-field, SKI Report 01:30, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2001.

Stenhouse, M., Comparison of SKB's RES Matrix FEPs with SKI's PID FEPs, SKI Report 02:41, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

### ***Avsnitt 5.5***

La Pointe P., Wallmann P., Thomas A., och Follin S., A methodology to estimate earthquake effects on fractures intersecting canister holes, SKB Technical Report 97-07, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1997.

SKB, Project SAFE – Scenario and system analysis, SKB R-01-13, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

SKI, Granskning av SKB:s fördjupade säkerhetsanalys för SFR-1, SKI Teknisk Rapport 92:16, Statens kärnkraftinspektion, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992.

SKI, Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall, SKIFS 2002:1, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

SSI, Granskning av SKB:s fördjupade säkerhetsanalys för SFR-1 / utarbetad av en arbetsgrupp från Statens strålskyddsinstitut och Statens kärnkraftinspektion, SSI rapport 92:07, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992.

SSI, Statens strålskyddsinstituts föreskrifter om arkivering vid kärntekniska anläggningar, SSI FS 1997:1, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1997.

### ***Avsnitt 5.6***

Axelsson, C-L., och Hansen, L. M., Update of structural models at SFR nuclear waste repository, Forsmark, Sweden, SKB R-98-05, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1997.

Benbow, S., Robinson, P., och Savage, D., Buffering capacity of pH in Backfill, SKI Report 02:39, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

Carlsson, L., Winberg, A., och Arnefors, J., Hydraulic modelling of the final repository for reactor waste (SFR): Compilation and conceptualization of available geological and hydrogeological data, SKB Progress Report SFR 86-03, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1986.

Chapman, N. A., Maul P. R., Robinson P. C., och Savage D., SKB's Project SAFE for the SFR 1 repository, A review by consultants to SKI, SKI Report 02:61, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

Golder Grundteknik, PM angående långtidsstabilitet hos bergrum och tunnlar i SFR, version 001, Golder Grundteknik KB, Stockholm, augusti 2000.

Holmén, J., och Stigsson, M., Modelling of future hydrogeological conditions at SFR, SKB R-01-02, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Höglund, L. O., Project SAFE Modelling of long-term concrete degradation processes in the SFR repository, SKB R-01-08, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Jarsjö, J., Destouni, G., och Gale, J., Groundwater degassing and two-phase flow in fractured rock: Summary of results and conclusions achieved during the period 1994-2000, SKB TR-01-13, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Karnland, O., Bentonite swelling pressure in strong NaCl solutions, Correlation between model calculations and experimentally determined data, SKB Technical report 97-31, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1997.

Maul, P., och Robinson, P., Exploration of important issues for the safety of SFR 1 using performance assessment calculations, SKI Report 02:62, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

Moreno, L., Skagius, K., Södergren, S., och Wiborgh, M., Project SAFE – Gas related processes in SFR, SKB R-01-11, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Olsson, O., (Ed.) Site characterization and validation – Final report, Stripa Project Technical Report 92-22, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1992.

Olsson, O. and A. Winberg, Current understanding of extent and properties of the excavation disturbed zone and its dependence of excavation method. In Proc. of the Excavation Disturbed Zone Workshop, Canadian Nuclear Society, Winnipeg, Canada, September 20, 1996.

Pedersen, K., Project SAFE – Microbial features, events and processes in the Swedish final repository for low- and intermediate-level radioactive waste, SKB R-01-05, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Pettersson, M., och Elert, M., Characterisation of bitumenised waste in SFR 1, SKB R-01-26, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Savage, D., Stenhouse, M., och Benbow, S., Evolution of near-field physico-chemical characteristics of the SFR repository, SKI Report 00:49, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2000.

Savage, D., Noy, D., och Mihara, M., Modelling the interaction of bentonite with hyperalkaline fluids, *Applied Geochemistry* 17 (2002) 207-223, March 2001.

SKB, Djupförvar för använt kärnbränsle – SR 97 – Säkerheten efter förslutning, Huvudrapport del I och II, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1999.

SKB, Fanger, G., Skagius, K., Wiborgh, M., Project SAFE – Complexing agents in SFR, SKB R-01-04, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001a.

SKB, Project SAFE – Compilation of data for radionuclide transport analysis, SKB R-01-14, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001b.

SKI, Granskning av SKB:s fördjupade säkerhetsanalys för SFR-1, SKI Teknisk Rapport 92:16, Statens kärnkraftinspektion, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992.

SKI och SSI, SKI:s och SSI:s gemensamma granskning av SKB:s preliminära säkerhetsanalys för slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall, Granskningsrapport, SKI Rapport 01:14, SSI rapport 2001:10, Statens strålskyddsinstitut, Statens kärnkraftinspektion, 2001.

Chapman, N. A., Maul, P., R., Robinson P. C., och Savage D., SKB's project SAFE for the SFR 1 repository, A review by consultants to SKI, SKI Report 02:61, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

SSI, Granskning av SKB:s fördjupade säkerhetsanalys för SFR-1 / utarbetad av en arbetsgrupp från Statens strålskyddsinstitut och Statens kärnkraftinspektion, SSI rapport 92:07, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992.

Stephansson, O., och Jing, L., Risk of chimney caving of roof in vault of SFR 1 Forsmark Sweden, SKI-PM 03:03, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2003.

Stigsson, M., Follin, S., och Andersson, J., On the simulation of variable density flow at SFR, Sweden, SKB R-99-08, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

Tirén, S. A., Sträng, T., och Nilsson, G., Alternative lineament maps and structural model of the SFR - Forsmark region - A comparison with SKB structural models, SKI Report 2003:01, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

### ***Avsnitt 5.7***

Brydsten, L., Shore line displacement in Öregrundsgrepen, SKB TR-99-16, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

Kautsky, U., The biosphere today and tomorrow in the SFR area, SKB R-01-27, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Shaw, G., A review of models for dose assessment employed by SKB in the renewed safety assessment for SFR 1, SSI rapport 2002:18, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2002.



### *Avsnitt 5.8*

Bergman, C., Ericsson, G., Godås, T., Hägg, C., och Johansson, G., Granskningspromemoria: Slutförvar för reaktoravfall – SFR-1, SSI rapport 88-05, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1988.

Bradbury, M. H., och Sarrot, F-A., Sorption databases for the cementitious near-field of a L/ILW repository for performance assessment, PSI Report 95-06, Paul Scherrer Institut, Villingen, 1995.

Bradbury, M. H., och Van Loon L. R., Cementitious near-field sorption data bases for performance assessment of a L/ILW repository in a Palfris Marl host rock, PSI Report 98-01, Paul Scherrer Institut, Villingen, 1998.

Chapman, N. A., Maul P. R., Robinson P. C., och Savage D., SKB's project SAFE for the SFR 1 repository, A review by consultants to SKI, SKI Report 02:61, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

Holmén, J., och Stigsson, M., Modelling of future hydrogeological conditions at SFR, SKB R-01-02, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Karlsson, S., Bergström, U., och Meili, M., Models for dose assessments – Models adapted to the SFR-area, Sweden, SKB TR-01-04, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Klos, R., och Wilmot R., Review of project SAFE: Comments on biosphere conceptual model description and risk assessment methodology, SSI rapport 2002:17, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2002.

Kumblad, L., A transport and fate model of C-14 in a bay of the Baltic Sea at SFR – Today and in future, SKB TR-01-15, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Lindgren, M., Pers, K., Skagius, K., Wiborgh, M., Brodén, K., Carlsson, J., Riggare, P., och Skogsberg, M., Low and intermediate level waste in SFL 3-5; Reference inventory, SKB report Reg. No 19.41/DL31, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1998.

Lindgren, M., Pettersson, M., Karlsson, S., och Moreno, L., Project SAFE – Radionuclide release and dose from the SFR repository, SKB R-01-18, Svensk Kärnbränslehantering AB, 2001.

Egan, M. J., Thorne, M. C., Little, R. H., and Pasco, R. F., Analysis of Critical Issues in Biosphere Assessment Modelling and Site Investigation, SSI Rapport 2003:12, ISSN 0282-4434, Statens strålskyddsinstitut (SSI), Stockholm Juli 2003.

Maul, P., och Robinson, P., Exploration of important issues for the safety of SFR 1 using performance assessment calculations, SKI Report 02:62, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

Moreno, L., Skagius, K., Södergren, S., och Wiborgh, M., Project Safe – Gas related processes in SFR, SKB R-01-11, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Norris, S., Bailey, L. E. F., Askarieh, M. M., och Hickford, G. E., Nirex 97: An assessment of the post-closure performance of a deep waste repository at sellafield – Overview, United Kingdom Nirex Limited, December 1997.

Norman, S., och Kjellbert, N., FARF31 – A far field radionuclide migration code for use with PROPER package, SKB Technical Report 90-01, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1990.

Ochs, M., Review of a report on diffusion and sorption properties of radionuclides in compact bentonite, SKB R-97-15, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1997.

Riggare, P., och Johansson, C., Project SAFE – Low and intermediate level waste in SFR-1. - Reference Waste Inventory, SKB R-01-03, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Romero, L., Thompson, A., Moreno, L., Neretnieks, I., Widén, H., och Boghammar, A., Comp23/Nucltran user's guide - Proper version 1.1.6, SKB R-99-64, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

Savage, D., Stenhouse, M., och Benbow, S., Evolution of near-field physico-chemical characteristics of the SFR repository, SKI Report 00:49, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2000.

Shaw, G., A review of models for dose assessment employed by SKB in the renewed safety assessment for SFR 1, SSI rapport 2002:18, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2002.

SKB, Slutförvar för radioaktivt driftavfall – SFR 1, slutlig säkerhetsrapport Reviderad utgåva, Svensk Kärnbränslehantering AB, maj 1993.

SKB, Djupförvar för använt kärnbränsle – SR 97 – Säkerheten efter förslutning, Huvudrapport del I och II, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1999.

SKB, Project SAFE – Compilation of data for radionuclide transport analysis, SKB R-01-14, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

SKI, Granskning av SKB:s fördjupade säkerhetsanalys för SFR-1, SKI Teknisk Rapport 92:16, Statens kärnkraftinspektion, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992.

SKI, Statens kärnkraftinspektionens föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall, SKIFS 2002:1, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

SSI, Granskning av SKB:s fördjupade säkerhetsanalys för SFR-1 / utarbetad av en arbetsgrupp från Statens strålskyddsinstitut och Statens kärnkraftinspektion, SSI-rapport 92:07, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992.

SSI, Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall, SSI FS 1998:1, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1998.

### **Avsnitt 5.9**

Maul, P., och Robinson, P., Exploration of important issues for the safety of SFR 1 using performance assessment calculations, SKI Report 02:62, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

SKB, Djupförvar för använt kärnbränsle – SR 97 – Säkerheten efter förslutning, Huvudrapport del I och II, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

SSI, Föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall – bakgrund och kommentarer, SSI rapport 99:03, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1999.

### **Kapitel 6**

Karlsson, S., Bergström, U., och Meili, M., Models for dose assessments – Models adapted to the SFR-area, Sweden, SKB TR-01-04, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2001.

Egan, M. J., Thorne, M. C., Little, R. H., and Pasco, R. F., Analysis of Critical Issues in Biosphere Assessment Modelling and Site Investigation, SSI Rapport 2003:12, ISSN 0282-4434, Statens strålskyddsinstitut (SSI), Stockholm Juli 2003.

SKB, Djupförvar för använt kärnbränsle – SR 97 – Säkerheten efter förslutning, Huvudrapport del I och II, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

SKI, Statens kärnkraftinspektions författningssamling, Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerhet i vissa kärntekniska anläggningar, Allmänna råd om tillämpningen av Statens kärnkraftinspektions föreskrifter enligt ovan, SKIFS 1998:1, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1998.

SKI, Granskning av SKB:s fördjupade säkerhetsanalys för SFR-1, SKI Teknisk Rapport 92:16, Statens kärnkraftinspektion, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992.

SKI, SKI:s och SSI:s gemensamma granskning av SKB:s Säkerhetsrapport 97, Granskningsrapport, SKI Rapport 00:39, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2000a.

SKI, Internationell fristående expertgranskning av Säkerhetsrapport 97: Säkerhet efter förslutning av ett djupförvar för använt kärnbränsle i Sverige, SKI Rapport: 00:45, Statens kärnkraftinspektion, 2000b.

SKI, Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall, SKIFS 2002:1, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2002.

SSI, Granskning av SKB:s fördjupade säkerhetsanalys för SFR-1 / utarbetad av en arbetsgrupp från Statens strålskyddsinstitut och Statens kärnkraftinspektion, SSI rapport 92:07, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1992.

SSI, SKI:s och SSI:s gemensamma granskning av SKB:s säkerhetsrapport 97, Granskningsrapport, SSI rapport 2000:17, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 2000.

### 2003:01 Avfall och miljö vid de kärntekniska anläggningarna; tillsynsrapport 2001

Avdelningen för avfall och miljö.  
Monica Persson et.al.

### 2003:02 Stråldoser vid användning av torvbränsle i stora anläggningar

Avdelning för beredskap och miljöövervakning.  
Hans Möre och Lynn Marie Hubbard. 80 SEK

### 2003:03 UV-strålning och underlag för bedömning av befolkningsdos från solarier i en storstadsregion

Avdelning för beredskap och miljöövervakning.  
Björn Nilsson, Björn Närlundh och Ulf Wester. 70 SEK

### 2003:04 Enkätundersökning av entreprenörers inställning till strålning och strålskyddsutbildning vid de svenska kärnkraftverken

Avdelning för personal- och patientstrålskydd  
Ingela Thimgren 60 SEK

### 2003:05 Radiofarmakaterapier i Sverige – kartläggning över metoder

Avdelning för personal- och patientstrålskydd  
Helene Jönsson 60 SEK

### 2003:06 Säkerhets och strålskyddsläget vid de svenska kärnkraftverken 2002

### 2003:07 Mätning av naturlig radioaktivitet i dricksvatten. Test av mätmetoder och resultat av en pilotundersökning

Avdelning för beredskap och miljöövervakning.  
Inger Östergren, Rolf Falk, Lars Mjones och Britt-Marie Ek 70 SEK

### 2003:08 Optisk strålning strålskydd

Avdelning för beredskap och miljöövervakning.  
Anders Glansholm 70 SEK

### 2003:09 Årlig kontroll av diagnostisk röntgenrustning för medicinskt bruk – en utredning av kontrollverksamheten

Avdelning för personal- och patientstrålskydd  
Anja Almén och Torsten Cederlund 70 SEK

### 2003:10 Förändring av stråldoser till patienter vid övergång från konventionell till digital, filmlös teknik vid röntgenundersökning av grovtarm och njurar Slutrapport SSI-projekt P 933

Avdelning för personal- och patientstrålskydd  
Börje Sjöholm och Jan Persliden 60 SEK

### 2003:11 AMBER and Ecolego Intercomparisons Using Calculations from SR97

Avdelningen för avfall och miljö  
Gemensam SKI och SSI rapport

### 2003:12 Analysis of Critical Issues in Biosphere Assessment Modelling and Site Investigation

Avdelningen för avfall och miljö  
M. J. Egan, M. C. Thorne, R.H. Little and R.F. Pasco 60 SEK

### 2003:13 Personalstrålskydd inom kärnkraft-industrin under 2002

Avdelning för personal- och patientstrålskydd  
Stig Erixon, Peter Hofvander, Ingemar Lund, Lars Malmqvist, Ingela Thimgren, Hanna Ölander Gür 60 SEK

### 2003:14 Exchange processes at geosphere-biosphere interface. Current SKB approach and example of coupled hydrological-ecological approach

Avdelningen för avfall och miljö  
Anders Wörman 60 SEK

### 2003:15 Föreskrifter om planering inför och under avveckling av kärntekniska anläggningar

Avdelningen för avfall och miljö och Avdelning för personal- och patientstrålskydd.  
Henrik Efraimsson och Ingemar Lund 60 SEK

### 2003:16 Radon in Estonian dwellings - Results from a National Radon Survey

Internationellt utvecklingssamarbete (SIUS)  
Lia Pahapill, Anne Rulkov, Raivo Rajamäe och Gustav Åkerblom 60 SEK

### 2003:17 Miljöövervakning enligt Euratomfördraget av joniserande strålning i miljön i Sverige, år 1997 till 2001

Avdelning för beredskap och miljöövervakning.  
Hans Möre, Lynn Marie Hubbard, Lena Wallberg och Inger Östergren 60 SEK

### 2003:18 (SKInr xxx) Otillåten hantering av radioaktivt material och kärnämne – Hotanalts och förslag till åtgärder

Lena Oliver, Lena Melin, Jan Prawitz, Anders Ringbom, Björn Sandström, Lars Wigg och Jens Wirstam

### 2003:19 (SKInr xxx) Development of a quantitative framework for regulatory risk assessments: Probabilistic approaches.

Roger Wilmot

### 2003:20 Med fokus på SSI:s risk- och strålskyddskriterier. En rapport baserad på diskussioner i fokusgrupper i Östhammars och Oskarshamns kommuner

Avdelningen för avfall och miljö  
Britt-Marie Drottz-Sjöberg 60 SEK

### 2003:20e Focusing on SSI's risk and radiation protection criteria. A report based on discussions in focus groups in Östhammar and Oskarshamn municipalities

Avdelningen för avfall och miljö  
Britt-Marie Drottz-Sjöberg 60 SEK

### 2003:21; SKI 2003:37 SSI:s och SKI:s granskning av SKB:s uppdaterade Slutlig Säkerhetsrapport för SFR I. Granskningsrapport

Avdelningen för avfall och miljö  
SSI och SKI



**S**TATENS STRÅLSKYDDSIKSTITUT, SSI, är central tillsynsmyndighet på strålskyddsområdet. Myndighetens verksamhetsidé är att verka för ett gott strålskydd för människor och miljö nu och i framtiden.

SSI är ansvarig myndighet för det av riksdagen beslutade miljömålet *Säker strålmiljö*.

SSI sätter gränser för stråldoser till allmänheten och för dem som arbetar med strålning, utfärdar föreskrifter och kontrollerar att de efterlevs. Myndigheten inspekterar, informerar, utbildar och ger råd för att öka kunskaperna om strålning. SSI bedriver också egen forskning och stöder forskning vid universitet och högskolor.

SSI håller beredskap dygnet runt mot olyckor med strålning. En tidig varning om olyckor fås genom svenska och utländska mätstationer och genom internationella varnings- och informationssystem.

SSI medverkar i det internationella strålskydssamarbetet och bidrar därigenom till förbättringar av strålskyddet i främst Baltikum och Ryssland.

Myndigheten har idag ca 110 anställda och är beläget i Stockholm.

**THE SWEDISH RADIATION PROTECTION AUTHORITY (SSI)** is the government regulatory authority for radiation protection. Its task is to secure good radiation protection for people and the environment both today and in the future.

The Swedish parliament has appointed SSI to be in charge of the implementation of its environmental quality objective *Säker strålmiljö* ("A Safe Radiation Environment").

SSI sets radiation dose limits for the public and for workers exposed to radiation and regulates many other matters dealing with radiation. Compliance with the regulations is ensured through inspections.

SSI also provides information, education, and advice, carries out its own research and administers external research projects.

SSI maintains an around-the-clock preparedness for radiation accidents. Early warning is provided by Swedish and foreign monitoring stations and by international alarm and information systems.

The Authority collaborates with many national and international radiation protection endeavours. It actively supports the on-going improvements of radiation protection in Estonia, Latvia, Lithuania, and Russia.

SSI has about 110 employees and is located in Stockholm.



*Statens strålskyddsinstitut*  
Swedish Radiation Protection Authority

Adress: Statens strålskyddsinstitut; S-17116 Stockholm;

Besöksadress: Karolinska sjukhusets område, Hus Z 5.

Telefon: 08-729 71 00, Fax: 08-729 71 08

Address: Swedish Radiation Protection Authority;

SE-17116 Stockholm; Sweden

Telephone: + 46 8-729 71 00, Fax: + 46 8-729 71 08

www.ssi.se