

SKI Rapport 00:39  
SSI-rapport 2000:17

# **SKI:s och SSI:s gemensamma granskning av SKB:s Säkerhetsrapport 97**

Granskningsrapport

November 2000

## Förord

Föreliggande rapport redovisar Statens kärnkraftinspektions (SKI) och Statens strålskyddsinstitut (SSI) gemensamma granskning av Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) Säkerhetsrapport SR 97 ("Djupförvar för använt kärnbränsle, SR 97 – Säkerheten efter förslutning"). Målgruppen för myndigheternas granskningsrapport är i första hand SKB och andra experter inom kärnavfallsområdet. Myndigheterna har också tagit fram en sammanfattning riktad till förstudiekommunerna och den intresserade allmänheten.

Myndigheternas granskning har genomförts av en projektgrupp med representanter från avdelningarna för kärnavfallssäkerhet och för avfall och miljö på SKI respektive SSI. Följande personer har ansvarat för textframställningen (ansvar och huvudsakliga kompetensområden inom parentes):

### SKI:

Björn Dverstorp	(projektledare och redaktör; hydrogeologi, metoder för säkerhetsanalys)
Fritz Kautsky	(klimat och jordskalv-tektonik)
Christina Lilja	(kapsel, korrosion och värmeutveckling)
Bo Strömberg	(använt bränsle, geokemi och radionuklidtransport)
Öivind Toverud	(geologi och buffert)
Magnus Westerlind	(regelverk och beslutsprocess)
Stig Wingefors	(regelverk och systembeskrivning)

### SSI:

Mikael Jensen	(SSI:s projektledare; riskkriterier, mänsklig påverkan)
Leif Moberg	(biosfärsprocesser och miljöskydd)
Anders Wiebert	(scenario- och riskanalys)

Därutöver har flera experter på respektive myndighet konsulterats av projektgruppen, bl.a. Carl-Magnus Larsson, Rodolfo Avila, Synnöve Sundell-Bergman och Åsa Wiklund från SSI och Benny Sundström från SKI.

Stockholm, 7 november 2000

Björn Dverstorp  
Avdelningen för kärnavfall  
Statens kärnkraftinspektion

Mikael Jensen  
Avdelningen för avfall och miljö  
Statens strålskyddsinstitut

# INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>SKI:s och SSI:s granskning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syften	2
1.3	Granskningens genomförande	3
1.4	Granskningsrapporten	4
<b>2</b>	<b>Myndigheternas utgångspunkter för bedömning</b>	<b>5</b>
2.1	Bakgrund	5
2.1.1	Förutsättningar för granskningen av säkerhetsanalyser	5
2.1.2	Internationella regler och riktlinjer	6
2.2	Strålskyddskrav	8
2.2.1	Översikt	8
2.2.2	Grundläggande strålskyddskrav	9
2.2.3	Krav på konstruktion och utförande	9
2.2.4	Skydd av människors hälsa	9
2.2.5	Skydd av miljön	10
2.2.6	Krav på säkerhetsanalysen för olika tidsperioder	10
2.3	Säkerhetskrav	11
2.3.1	Översikt	11
2.3.2	Grundläggande säkerhetskrav	12
2.3.3	Krav på konstruktion och utförande	12
2.3.4	Krav på säkerhetsanalysen	13
2.4	Sammanställning av myndigheternas bedömningsgrunder för SR 97	15
2.4.1	Övergripande krav på säkerhet och strålskydd	15
2.4.2	De särskilda målsättningarna med SR 97	18
<b>3</b>	<b>SKB:s säkerhetsstrategi och tolkning av myndigheternas krav</b>	<b>19</b>
3.1	Inledning	19
3.2	Remissynpunkter	19
3.3	SKI:s och SSI:s granskning och bedömning	20
3.3.1	Hälsoskydd	20
3.3.2	Miljöskydd	20
3.3.3	Tidsperioder	21
3.3.4	Biosfärsförhållanden	21
3.3.5	SKB:s säkerhetskriterier och säkerhetsstrategi	21
3.3.6	Optimering och BAT	22
<b>4</b>	<b>Metodik för säkerhetsanalys och dess tillämpning i SR 97</b>	<b>25</b>
4.1	SKB:s redovisning	25
4.2	Remissynpunkter	26
4.3	SKI:s och SSI:s granskning och bedömning	26
4.3.1	Inledning	26
4.3.2	Struktur och presentation	27
4.3.3	Inriktning på säkerhetsanalysen	28

4.3.4	Systembeskrivning	29
4.3.5	Scenarier	30
4.3.6	Exponering och exponeringsvägar i biosfären	32
4.3.7	Utveckling och val av konceptuella modeller	34
4.3.8	Val av data	35
4.3.9	Mått på förvarets skyddsförmåga	36
4.3.10	Risکانالys och beräkningar	37
4.3.11	Dokumentation av expertbedömningar	39
4.3.12	Underlag för härledning av krav på platsundersökningsprogram och funktionskrav på tekniska barriärer	40
<b>5</b>	<b>SKI:s och SSI:s sammanfattande bedömningar</b>	<b>43</b>
5.1	Inledning	43
5.2	Underlag och tekniska förutsättningar för säkerhetsanalysen	44
5.3	Demonstrera metodik för säkerhetsanalys	44
5.4	Uppfyllelse av säkerhets- och strålskyddskrav	47
5.5	SR 97 som underlag för platsundersökningar och funktionskrav	48
<b>6</b>	<b>Referenser</b>	<b>49</b>

## BILAGA 1

<b>1</b>	<b>Processer och initialtillstånd i de tekniska barriärerna och geosfären</b>	<b>55</b>
1.1	Inledning	55
1.2	SKB:s redovisning	55
1.3	Remissynpunkter	56
1.4	SKI:s och SSI:s granskning och bedömning	58
1.4.1	Metodik för systembeskrivning	58
1.4.2	Bränsle	60
1.4.3	Kapsel	60
1.4.4	Buffert och återfyllning	62
1.4.5	Geosfär med platsundersökningar	63
1.5	Myndigheternas slutsatser	64
<b>2</b>	<b>Processer och initialtillstånd i biosfären</b>	<b>67</b>
2.1	SKB:s redovisning	67
2.2	Remissynpunkter	67
2.3	SKI:s och SSI:s granskning och bedömning	67
2.3.1	Beskrivning av processer	67
2.3.2	Övergången från geosfär till biosfär	67
2.3.3	Förändringar i biosfären	68

## BILAGA 2

<b>1</b>	<b>Basscenario</b>	<b>69</b>
1.1	SKB:s redovisning	69
1.2	Remissynpunkter	69
1.3	SKI:s och SSI:s granskning och bedömning	70
1.3.1	Allmänt om basscenariot	70
1.3.2	Strårelaterad utveckling	71
1.3.3	Termisk utveckling	71
1.3.4	Hydraulisk utveckling	72
1.3.5	Mekanisk utveckling	74
1.3.6	Kemisk utveckling	75
<b>2</b>	<b>Kapseldefektscenariot</b>	<b>79</b>
2.1	SKB:s redovisning	79
2.2	Remissynpunkter	79
2.3	SKI:s och SSI:s granskning och bedömning	81
2.3.1	Transport- och retardationsprocesser för radionuklider	81
2.3.2	Felanalys kapsel	84
2.3.3	Felanalys buffert	84
2.3.4	Kriticitetsanalys	85

2.3.5	Utveckling av defekt kapsel	85
2.3.6	Bränsleupplösning	87
2.3.7	Hydraulisk analys av A-, Be- och Ceberg	88
2.3.8	Radionuklidomsättning i biosfären	91
2.3.9	Modeller för radionuklidtransport och konsekvensberäkningar	95
2.3.10	Data för radionuklidtransport och konsekvensberäkningar	97
2.3.11	Beräkningsfall	100
2.3.12	Diskussion av resultat	103
<b>3</b>	<b>Klimatscenario</b>	<b>105</b>
3.1	SKB:s redovisning	105
3.2	Remissynpunkter	105
3.3	SKI:s och SSI:s granskning och bedömning	106
3.3.1	Allmänt om klimatscenariot	106
3.3.2	Termisk utveckling	107
3.3.3	Hydraulisk utveckling	107
3.3.4	Mekanisk utveckling	108
3.3.5	Kemisk utveckling	109
3.3.6	Biosfär och klimatförändringar	110
3.3.7	Beräkningar av radionuklidtransport	111
<b>4</b>	<b>Tektonik - jordskalvsscenario</b>	<b>113</b>
4.1	SKB:s redovisning	113
4.2	Remissynpunkter	113
4.3	SKI:s och SSI:s granskning och bedömning	114
4.3.1	Förutsättning för scenariot	114
4.3.2	Ursprung och frekvens av jordskalv	114
4.3.3	Mekanisk påverkan på berget	115
4.3.4	Betydelse för säkerhetsanalysen	116
<b>5</b>	<b>Scenarier baserade på mänskliga handlingar</b>	<b>117</b>
5.1	SKB:s redovisning	117
5.2	Remissynpunkter	117
5.3	SKI:s och SSI:s granskning och bedömning	117
5.3.1	Filosofin	117
5.3.2	Förvarets skyddsförmåga efter ett intrång	118

# 1 SKI:s och SSI:s granskning

## 1.1 Bakgrund

Säkerhetsanalysen har en central roll dels som styrinstrument för forskning och utveckling, dels som beslutsunderlag för tillstånd till uppförande, innehav eller drift av kärntekniska anläggningar. SKI har sedan 1990 konsekvent betonat säkerhetsanalysens betydelse i samband med samtliga granskningar av SKB:s FUD-program (SKI 1993, 1995, 1996a, 1999a, 1999b). För SKB:s nu aktuella säkerhetsanalys, SR 97, och dess granskning är SKI:s yttranden och regeringsbesluten angående 1995 och 1998 års FUD-program av särskild betydelse.

I yttrandet (SKI, 1996a) över FUD-program 95 framhöll SKI att SKB hade gjort avsevärda framsteg med säkerhetsanalysen och att det var dags att tillämpa och utvärdera nyutvecklad metodik och modeller. SKI, liksom en rad remissinstanser, ansåg vidare att en rad skäl talade för att en säkerhetsanalys redovisas och granskas innan SKB går vidare med verksamheter som innebär allt starkare bindningar till KBS-3. SKI föreslog därför att regeringen, med stöd av 12 § lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet, *”uppställer villkoret att innan SKB påbörjar platsundersökningar skall SKB redovisa en ingående och heltäckande säkerhetsanalys av den systemlösning som utgör SKBs huvudalternativ, samt låta genomföra och redovisa en fristående nationell och internationell expertgranskning av denna analys.”*

Regeringen fattade 19 december 1996 beslut om FUD-program 1995, huvudsakligen i enlighet med SKI:s förslag. Beslutet ställer som villkor för SKB:s fortsatta arbete att en säkerhetsanalys av slutförvarets långsiktiga säkerhet ska genomföras. Regeringen anger ingen specifik tidpunkt då analysen ska vara genomförd men av skälen för regeringens beslut framgår att *”en säkerhetsanalys av slutförvarets långsiktiga säkerhet bör enligt regeringens bedömning vara genomförd innan en ansökan om uppförande av den planerade inkapslingsanläggningen inges till myndigheterna, liksom innan platsundersökningar på två eller fler platser påbörjas.”*

Säkerhetsanalysens betydelse i allmänhet och som ett av beslutsunderlagen inför platsundersökningar diskuteras åter av SKI i samband med granskningen av SKB:s FUD-program 98. SKI preciserar i granskningen (SKI, 1999a) att ett av syftena med SR 97 ska vara att göra troligt att KBS-3 har goda förutsättningar att uppfylla säkerhets- och strålskydds krav. En sådan precisering av syftet kunde göras eftersom dels SSI 1998 fastställt föreskrifter för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall (SSI, 1999), dels SKI genomfört en remiss av utgångspunkter för föreskrifter om säkerhet för slutförvaring av kärnavfall (SKI dnr. 5.8-970478, 1997-03-24, *SKI:s utgångspunkter för föreskrifter och allmänna råd om slutförvaring av använt kärnbränsle m.m.*). Under 1999 genomfördes sedan en första remiss av förslag till föreskrifter (SKI dnr. 5.1-990760, 1999-06-03, *Förslag till föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring*). Myndigheternas föreskrifter har således tillkommit i ett relativt sent skede i SKB:s arbete med SR 97, vilket har beaktats i föreliggande granskning. Denna omständighet kommenteras utförligare i kapitel 2 och 3.

SKI föreslog att regeringen i beslutet om FUD-program 98 skulle upprepa villkoret att SKB ska genomföra en säkerhetsanalys. SKB avslutade emellertid sin analys och överlämnade redovisningen till SKI för granskning i december 1999, dvs. innan regeringen fattat beslut om FUD-program 98. Regeringen upprepar därför inte villkoret utan konstaterar endast att *”regeringen har vidare erfarit att Kärnkraftinspektionen och Strålskyddsinstitutet har inlett arbetet med att i nära samråd granska SR 97 och initierat en fristående internationell granskning av denna”*.

## 1.2 Syften

Baserat på granskningarna och regeringsbesluten om FUD-program 95 och 98 kan syftena med SR 97 sammanfattas:

- göra troligt att KBS-3 har goda förutsättningar att uppfylla säkerhets- och strålskyddskraven och visa på möjligheten att finna en plats i Sverige som uppfyller kraven
- demonstrera metodik för säkerhetsanalys
- utgöra underlag för mätprogram för geovetenskaplig platsundersökning och för utvärdering av mätresultaten
- utgöra underlag för specifikation av krav på kapselns och övriga barriärers funktion
- bidra till precisering av de faktorer som ligger till grund för val av områden för platsundersökningar.

Myndigheternas granskning syftar i sin tur till att bedöma i vilken utsträckning SR 97 uppfyller ovan redovisade syften. I första hand behandlar föreliggande granskning de syften som anges i 1:a och 2:a strecksatserna men berör även 3:e och 4:e strecksatserna. Utgående från SR 97 och dess underlagsrapporter är det inte möjligt för myndigheterna att bedöma på vilket sätt SKB använder resultaten från SR 97 för att precisera platsvalsfaktorer. En sådan bedömning kan göras först när ytterligare underlag lämnats av SKB. Ett sådant underlag kommer att ingå i den kompletterande redovisning till FUD-program 98 som SKB planerar lämna i december 2000 till följd regeringens beslut om FUD-program 98.

För att bidra till såväl djup som allsidighet har SKI alltsedan granskningen av FUD-program 95 förordat och planerat för en internationell expertgranskning av SR 97. Våren 1999 åtog sig OECD:s kärnenergibyrå, NEA, att sätta samman en expertgrupp för att granska SR 97. Valet av experter gjordes av NEA utgående från vissa kriterier som SKI ställt upp (SKI, 1999c). Bland dessa kriterier fanns krav på att det inte skulle ingå experter som haft större uppdrag för SKB de senaste sex åren samt att det skulle vara en rimlig balans mellan representanter från kärnkraftindustri och myndigheter. Granskningsuppdragets syften var i allt väsentligt desamma som redovisats ovan.



### 1.3 Granskningens genomförande

Det stod tidigt klart att ett nära samarbete mellan SKI och SSI var nödvändigt och önskvärt för att genomföra granskningen av SR 97 och under 1999 kom myndigheterna överens om att genomföra granskningen som ett gemensamt projekt, som skulle utmynna i en gemensam granskningsrapport.

Som beskrivits ovan har en internationell expertgrupp, organiserad av NEA, på SKI:s uppdrag genomfört en granskning av SR 97. Expertgruppen påbörjade sitt arbete i december 1999 omedelbart efter att SKB överlämnat SR 97 till SKI. Granskningen slutfördes under våren 2000 och resultaten redovisades på ett seminarium i Stockholm 31 maj 2000. Föreliggande granskningsrapport väger in expertgruppens resultat i de gjorda bedömningarna. Expertgruppens resultat finns också publicerade i en separat rapport (SKI, 2000a).

Myndigheterna inledde sin granskning i december 1999 men vissa förberedelser hade gjorts under hösten. I februari 2000 informerade (SKI dnr. 5.8-991436, 2000-02-07) SKI remissinstanserna till FUD-program 98 om granskningen av bl.a. SR 97. SKI förklarade att det i samband med remissbehandlingen av den ytterligare redovisning som regeringen begärt av SKB kommer att ges tillfälle att lämna synpunkter även på SR 97. SKI förklarade samtidigt att man även var beredd att ta emot synpunkter på SR 97 under vintern/våren 2000. Totalt inkom tolv yttranden (SKI, 2000b).

SKI bad dessutom Statens råd för kärnavfallsfrågor, Kasam, att granska SR 97 och Kasam:s yttrande inkom till SKI i början av maj 2000.

För att ytterligare fördjupa granskningen har SKI givit ca 15 konsulter i uppdrag att granska olika delar av SR 97 (SKI, 2000c). Konsulterna har vid flera tidigare tillfällen utfört uppdrag åt SKI och är således insatta i SKB:s program. Även SSI har konsulterat internationell expertis i vissa frågor som berör biosfärs- och strålskyddsaspekter på SR 97.

Sammanfattningsvis består således myndigheternas granskning av egna bedömningar som också tar hänsyn till:

- slutsatser från NEA:s internationella expertgranskning
- Kasam:s yttrande
- synpunkter från remissinstanser
- resultat från konsultgranskningar.

Totalt har drygt trettio svenska och internationella experter bidragit till myndigheternas granskning.

## 1.4 Granskningsrapporten

Myndigheternas granskningsrapport består av dels en del med generella slutsatser, dels två bilagor med detaljerade synpunkter som ligger till grund för slutsatserna.

Synpunkter från Kasam och övriga remissinstanser redovisas under egna rubriker i granskningsrapporten. Resultaten från den internationella expertgruppens och konsulter granskningar redovisas däremot tillsammans med myndigheternas egna bedömningar, eftersom dessa granskningar gjorts på myndigheternas direkta uppdrag.

Kapitel 2 i granskningsrapporten redovisar SKI:s och SSI:s utgångspunkter för granskningen av SR 97 och utgår huvudsakligen från respektive myndighets krav och föreskrifter. Dessutom diskuteras i vilken utsträckning olika krav är tillämpliga i den nu aktuella situationen och vilka som blir meningsfulla i senare skeden, t.ex. i anslutning till en ansökan om att uppföra, inneha och driva ett slutförvar.

Flertalet av myndigheternas krav och föreskrifter är generella till sin karaktär vilket innebär att SKB måste göra tolkningar av dem. I kapitel 3 redovisas myndigheternas bedömning av SKB:s tolkningar. Vidare kommenteras också SKB:s egen övergripande säkerhetsstrategi och dess överensstämmelse med myndigheternas syn.

En central del i myndigheternas granskning har varit att bedöma SKB:s metodik för att strukturera, genomföra och redovisa en säkerhetsanalys och hur denna metodik har tillämpats i SR 97. Kapitel 4 behandlar därför SKB:s metodik för att identifiera och välja scenarier, riskanalys och probabilistiska beräkningar, hur SKB valt data och modeller, hur osäkerheter i såväl data och modeller som scenarier har analyserats m.m.

Slutligen presenteras i kapitel 5 SKI:s och SSI:s sammanfattande bedömningar av SR 97 och i vilken utsträckning SR 97 uppfyller sina olika syften.

Mer detaljerade kommentarer till processer och initialtillstånd i tekniska barriärer, geosfär och biosfär ges i bilaga 1. De fem olika scenarier för ett slutförvars utveckling som SKB valt att analysera kommenteras i tur och ordning i bilaga 2. Detta innebär inte att myndigheterna i alla avseenden anser att SKB:s val av scenarier är fullständigt eller riktigt. Syftet med bilaga 2 är att underlätta för läsaren att finna myndigheternas bedömningar av de scenarier som SKB valt att analysera.

Regeringen uttalade i beslutet om FUD-program 98 att *”regeringen fäster stor vikt vid att säkerhetsanalysen och granskningsresultaten presenteras på ett sätt som underlättar förståelsen även bland icke-expert.”* Förutom de resultat som redovisas i denna granskningsrapport har myndigheterna därför också utarbetat en mer lättillgänglig sammanfattning (SKI, 2000d).

## 2 Myndigheternas utgångspunkter för bedömning

### 2.1 Bakgrund

Detta avsnitt ger en överblick av de allmänna förutsättningarna för myndigheternas granskning av säkerhetsanalyser, bl.a. av de olika slags krav som kan ställas på en säkerhetsanalys i olika sammanhang.

Som tillsynsmyndigheter för det svenska kärnavfallsprogrammet har SKI och SSI att utöva tillsyn enligt kärntekniklagen (KTL) respektive strålskyddslagen (SSL). En kort beskrivning av innebörden av denna tillsyn och säkerhetsanalysens roll ges i faktarutan i slutet av detta avsnitt. Där finns också upplysningar om gällande lagar och förordningar.

#### 2.1.1 Förutsättningar för granskningen av säkerhetsanalyser

##### *Säkerhetsanalyser i olika skeden av ett slutförvarsprogram*

En fullständig säkerhetsredovisning behöver färdigställas senast inför beslut om tillstånd att bygga en anläggning. Förutom denna mera självklara roll är säkerhetsanalys också ett hjälpmedel i tidigare skeden av ett slutförvarsprogram. Vid forskning och utveckling rörande slutförvar är säkerhetsanalysen ett av få tillgängliga verktyg för styrning och kontroll av verksamheten med hänsyn till långsiktig säkerhet och strålskydd. Användning av säkerhetsanalys för detta ändamål kan ske i olika skala från enkla överlagsberäkningar i enskilda detaljfrågor till större samordnade (integrerade) analyser.

Allmänt gäller andra förutsättningar för anläggningar i drift än för anläggningar som ännu befinner sig i planeringsstadiet eller som inte tagits i drift. Förutsättningarna som gäller för det planerade svenska kärnavfallsprogrammet har bl.a. hittills tagits fram i form av regeringsbeslut som resultat av myndigheternas granskning av SKB:s program. En självklar utgångspunkt för denna myndighetskontroll av industrins program är att efter hand som planerna konkretiseras, och tidpunkten för beslut om lokalisering närmar sig, ökar också kraven på att säkerhetsrelaterade frågor skall visas vara lösta eller lösbara. Detta gäller såväl hantering av osäkerheter och kunskapsluckor som att kunna visa hur förväntade egenskaper hos barriärerna i t.ex. ett slutförvar kan realiseras. Säkerhetsanalysen är ett instrument för att göra avstämningar hur långt ett program kommit i dessa avseenden och SR 97 är ett exempel på detta.

En annan viktig roll för säkerhetsanalysen är att ge underlag för härledning och fördelning av säkerhetsfunktioner hos barriärsystemet. Analysen bör således användas för att om möjligt fastställa funktionskrav på barriärsystemets olika delar, t ex. genomsläpplighet hos en lerbuffert eller livslängd hos en kapsel. Från sådana funktionskrav går det att i senare skeden härleda krav på egenskaper hos material och utförande hos barriärerna. I sin tur skall det därefter gå att härleda krav på de tester och kontrollmetoder som används för att verifiera dessa egenskaper. Det är en viktig roll hos den fullständiga säkerhetsredovisningen för ett slutförvar att länka samman kraven på dessa olika nivåer på ett tydligt och spårbart sätt. Ett specialfall i detta avseende är här-

ledningen av krav på de test- och kontrollmetoder som skall användas för att undersöka och verifiera egenskaperna hos berget som barriär. Dessa egenskaper bör vara bestämda med rimlig noggrannhet inför valet av plats för slutförvar. Följaktligen bör det före platsundersökningarna redovisas en säkerhetsanalys som visar hur de föreslagna undersökningsmetoderna uppfyller krav som kan härledas från de mer övergripande kraven på slutförvaret. Detta var också ett av huvudsyftena med SR 97.

### ***Bedömningsgrunder i olika skeden***

Myndigheternas granskning av säkerhetsanalyser kan göras utifrån olika bedömningsgrunder beroende på det aktuella skedet av ett slutförvarsprogram.

I tidiga skeden av ett program behöver säkerhetsanalysen inte i detalj behandla alla frågeställningar kring barriärerna och deras funktioner. Det viktiga är att visa hållbarheten hos de använda principerna för slutförvarets utformning och på olika sätt göra troligt att de åsyftade anordningarna är genomförbara. Det behöver i ett sådant skede inte heller ställas krav på data från en fullständig platsundersökning eller att slutförvaret lokaliseras till en särskild plats. Det är dock hela tiden viktigt att den använda metodiken för och uppläggningsen av säkerhetsanalysen överensstämmer med de övergripande myndighetskraven och att metodiken går att utveckla mot att uppfylla kraven vid kommande redovisningstillfällen. Detta gäller inte bara analysen av barriärsystemet som sådant utan också analysen av omgivningspåverkan, d.v.s. spridning av radionuklider i biosfären och inverkan av joniserande strålning på människors hälsa och miljön.

Ett grundläggande krav, som är relevant för alla skeden, är att ingen olöst fråga är så allvarlig att det framstår som omöjligt att bygga ett slutförvar som fyller de övergripande kraven på säkerhet och strålskydd. Detta ställer i sin tur krav på att analysen skall vara så fullständig att detta går att bedöma på basis av tillgänglig kunskap. Senast i samband med ansökan om att få bygga slutförvaret skall analysen vara både fullständig och visa att ingen sådan olöst fråga kvarstår. Granskningen med hänsyn till fullständighet är i själva verket den viktigaste. En tillräckligt fullständig säkerhetsanalys bör i princip entydigt visa hur väl de övergripande kraven på säkerhet och strålskydd är tillgodosedda utan att myndigheterna vid sin granskning behöver tillföra ytterligare kunskap eller utveckla och tillämpa nya metoder för granskningen.

### **2.1.2 Internationella regler och riktlinjer**

Under de senaste 10-15 åren har det utvecklats en internationell samsyn om de grundläggande etiska principerna för hantering och slutförvaring av kärnavfall och använt kärnbränsle (t.ex. IAEA, 1995 och NEA, 1995a). Denna samsyn ligger bakom de principer som omfattas av den s.k. avfallskonventionen ("Gemensam konvention om säkerheten vid hantering av använt bränsle och om säkerheten vid hantering av radioaktivt avfall"). Konventionen, som framtagits under samordning av IAEA, ratificerades av Sverige 1999 och väntas träda i kraft under 2000 eller 2001. Bland bestämmelserna i konventionen kan nämnas krav på lagstiftning, myndighetsstruktur och etiska krav som att otillbörliga bördor inte skall läggas på framtida generationer.

Bland de principer som tas upp är följande av särskilt intresse för den långsiktiga säkerheten vid slutförvaring:

- Skydd av människans hälsa
- Skydd av miljön
- Skydd över nationsgränser
- Skydd av framtida generationer
- Hänsyn till alla hanteringssteg i ett system för omhändertagande av radioaktivt avfall
- Säkerheten vid drift av anläggningar

Internationella strålskyddskommissionen, ICRP, har med sina rekommendationer varit ett ledande internationellt organ inom strålskyddet under större delen av 1900-talet. De speciella problemen med avfall som ger konsekvenser långt in i framtiden har nyligen behandlats av kommissionen i ICRP publikation 81. SSI:s föreskrifter 1998:1 tillkom före ICRP:s rekommendationer, men dessa visade sig vara i god överensstämmelse med ICRP:s senare publicerade rekommendationer.

Utöver regler och rekommendationer som tagits fram av internationella organisationer finns det ett antal nationella bestämmelser om den långsiktiga säkerheten för slutförvaring och krav på säkerhetsanalyser. Bland dessa kan särskilt framhållas de franska Régles fondamentales de sûreté (DSIN, 1992), riktlinjer från den schweiziska kärnsäkerhetsmyndigheten HSK (HSK, 1993) samt vägledningar utgivna av bl.a. Environment Agency i England (EA, 1997) och av STUK baserade på finska statsrådets beslut (STUK, 1999). Även om det givetvis kan finnas rätt stora skillnader i uppläggning till följd av skillnader i lagstiftning och tidsplanering är dock i sak dessa nationella regelverk i nära överensstämmelse med de som tagits fram av de svenska myndigheterna. Under de gångna ca 10 åren har dessutom förekommit ett nära samarbete mellan de svenska myndigheterna och HSK (SKI, 1990) samt mellan de nordiska strålskydds- och säkerhetsmyndigheterna (Nordiska myndigheterna, 1993). De svenska myndigheterna engagerar sig fortlöpande i det internationella arbetet, främst inom NEA och IAEA, men också inom internationella miljökonventioner och EU.

Även i USA har myndigheterna, Environmental Protection Agency (EPA) och Nuclear Regulatory Commission (NRC), utarbetat förslag till föreskrifter för det planerade slutförvaret i Yucca Mountain, Nevada (EPA, 1999; NRC 1999). Till skillnad från de svenska reglerna är dessa mycket långtgående vid precisering av scenarier för förvarets utveckling och exponeringsvägar. Detta är möjligt genom att reglerna är platsspecifika. Avsikten är också att därigenom undvika långdragna diskussioner om möjliga framtids-scenarier.

### ***Myndigheternas tillsyn***

Som tillsynsmyndigheter för det svenska kärnavfallsprogrammet har SKI och SSI att utöva tillsyn under kärntekniklagen respektive strålskyddslagen. Denna tillsyn utövas i praktiken genom inspektion och granskning av verksamheten vid de olika kärntekniska anläggningarna. Målet för tillsynen är att fastställa om de lagenliga kraven på verksamheten är uppfyllda och vid behov besluta om åtgärder. De krav som ställs på verksamheten bygger på bestämmelserna i lagarna med sina förordningar, t.ex. i form av särskilda villkor och föreskrifter som utfärdats av regering och myndigheter i samband med att tillstånd givits för en viss verksamhet eller anläggning. SKI och SSI ger även ut generella föreskrifter på olika områden. Hur kraven uppfylls i det enskilda fallet skall framgå av säkerhetsredovisningen (säkerhetsrapporten) för anläggningen. Säkerhetsanalysen ingår som en del av säkerhetsredovisningen, som i övrigt främst består av en detaljerad anläggningsbeskrivning. Säkerhetsredovisningen är det viktigaste underlaget för myndigheternas tillsyn av en anläggning.

### ***Lagar och förordningar***

I 13 § strålskyddslagen (1988:220) anges att den som bedrivit en verksamhet med strålning har en skyldighet att omhänderta det avfall som uppkommer i verksamheten. Strålskyddsförordningen (1988:293) bemyndigar SSI att bedriva tillsyn enligt strålskyddslagen.

SSI får enligt 7 och 8 §§ strålskyddsförordningen meddela föreskrifter som krävs för skydd mot eller kontroll av strålning samt om omhändertagandet av radioaktivt avfall. Om tillstånd meddelas till kärnteknisk verksamhet enligt KTL föreskriver SSI de särskilda strålskyddsvillkor som kan behövas för verksamheten.

De övergripande kraven på *säkerhet* vid slutförvaring finns i lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (KTL). Som en grundläggande bestämmelse för kärnteknisk verksamhet anges i 4 § KTL att säkerheten skall upprätthållas genom de åtgärder vidtas som krävs för att förebygga fel i eller annan felaktig funktion hos utrustning, felaktigt handlande eller annat som kan leda till en radiologisk olycka. Lagens syfte är att dessa bestämmelser även gäller slutförvar efter förslutning i den meningen att spridning av radioaktiva ämnen utöver vad som är tolerabelt (från strålskyddssynpunkt) inryms i begreppet radiologisk olycka. I 10 § anges vidare att den som har tillstånd till kärnteknisk verksamhet skall svara för att de åtgärder vidtas som behövs för att på ett säkert sätt hantera och slutförvara i verksamheten uppkommet kärnavfall eller däri uppkommet kärnämne som inte används på nytt.

I förordningen (1984:14) om kärnteknisk verksamhet bemyndigas SKI att meddela de ytterligare villkor som behövs med hänsyn till säkerheten. SKI bemyndigas även att meddela föreskrifter om åtgärder enligt 4 § KTL enligt ovan.

## **2.2 Strålskyddskrav**

### **2.2.1 Översikt**

SSI:s föreskrifter (SSI, 1999) om skydd av människors hälsa och miljö vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall trädde i kraft 1999-02-01. De omfattar inte bara tiden efter förslutning av ett slutförvar utan också övriga steg i avfallshandlingen som företas inför slutförvaringen (behandling, mellanlagring, transport). För personalstrålskydd, utsläpp, dokumentation m.m. under drifttiden gäller ett flertal föreskrifter vilka inte behöver kommenteras här.

## 2.2.2 Grundläggande strålskyddskrav

*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 kärnbränsle och kärnavfall genomförs, dels i framtiden. Det slutliga omhändertagandet får inte orsaka svårare effekter på människors hälsa och miljön utanför Sveriges gränser än vad som accepteras inom Sverige. (3 §)*

Föreskrifterna innehåller också krav om optimering, d.v.s. att antalet bestrålade individer och sannolikheten att erhålla en stråldos skall begränsas så långt som det rimligen är möjligt. Detta krav gäller bl.a. för alla operativa moment i avfallshanteringen, såsom inkapsling, transport till och inom förvaret. Däremot ställs inga krav på att doser i ett extremt långtidsperspektiv skall vägas mot förvarets konstruktion och utförande. (4 §)

## 2.2.3 Krav på konstruktion och utförande

### ***Bästa möjliga teknik***

SSI kräver att slutförvar skall vara konstruerade och utförda med hänsyn till principen ”bästa möjliga teknik” (BAT, *best available technique*). Bästa möjliga teknik syftar på såväl byggnation, drift, avveckling, rivning m.m. för en anläggning. Barriärsystemet för det valda konceptet skall vara utförd med den bästa teknik som för tillfället finns att tillgå till rimlig kostnad, inklusive det teknisk-vetenskapliga underlaget för bedömning av barriärernas funktion och skyddsförmåga.

### ***Underlättande eller försvårande av tillträde***

Ett slutförvar skall främst konstrueras med hänsyn till förmågan att skydda omgivningen mot joniserande strålning från det avfall som slutförvaras. Åtgärder som vidtas i syfte att underlätta återtagande av avfall eller försvåra intrång i slutförvaret skulle kunna stå i strid med denna grundläggande princip. Därför skall effekterna på slutförvarets skyddsförmåga av sådana åtgärder redovisas (8 §).

En redovisning av hur skyddsförmågan påverkas i samband med intrång i slutförvaret är nödvändig för att ge en allsidig bakgrund som underlag för beslut. Ett sådant scenario förutsätter att kunskap om förvaret så småningom går förlorad, och att mänsklig aktivitet i en avlägsen framtid oavsiktligt påverkar förvarets förmåga att kvarhålla sitt innehåll, eller att fördröja ämnenas transport ut mot biosfären. Slutförvarets skyddsförmåga efter intrång skall därför redovisas med hänsyn till de långsiktiga konsekvenserna (9 §).

## 2.2.4 Skydd av människors hälsa

SSI har i sina strålskyddskrav valt att använda begreppet risk som mått på de krav som ställs på skyddet av människors hälsa. Risk inkluderar sannolikheten att erhålla en stråldos och sannolikheten att denna dos leder till skadeverkningar. Med skadeverkan avses här cancer och genetiska skador. Kravet formuleras:

*”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 §)*

Om risken bedöms från analys av ett antal s.k. scenarier, gäller att den totala risken till en berörd grupp kan bestå av bidrag från flera scenarier.

Sannolikhetsbedömningen förutsätter en redovisning som belyser helheten, d.v.s. att scenarierna kan identifieras i ömsesidigt uteslutande komponenter som tillsammans täcker alla utfall.

Redovisningen bör för varje beräkningsfall ge information om dosfördelningen, dess bredd och andra förhållanden av vikt för att bedöma måluppfyllelse för hälso- och miljöskydd, som följer av SKB:s valda biosfärsscenarioer. Om SKB väljer att jämföra med en individ som är högt (högst) belastad inom gruppen måste konservatismen framgå genom redovisning av de antaganden som gjorts.

### **2.2.5 Skydd av miljön**

SSI:s krav på miljöskydd är mer allmänt formulerade:

*”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.*

*Biologiska effekter av joniserande strålning i berörda livsmiljöer och ekosystem skall redovisas. Redovisningen skall bygga på tillgänglig kunskap om berörda ekosystem och ta särskild hänsyn till förekomst av genetiskt särpräglade populationer såsom isolerade populationer, endemiska arter och utrotningshotade arter samt i övrigt skyddsvärda organismer.” (6-7 §§)*

För att kunna bedöma om kraven är uppfyllda krävs således kunskap om de ekosystem som är (kan bli) berörda och biologiska effekter i de organismer som förekommer i ekosystemen.

### **2.2.6 Krav på säkerhetsanalysen för olika tidsperioder**

En beskrivning av radionuklidtransporten till och inom biosfären är en förutsättning för bedömning av hälso- och miljöskydd. Geologiska förhållanden kan beskrivas i ett långtidsperspektiv på ett annat sätt än människan och biosfären. SSI har därför begärt en redovisning för två skilda tidsperioder.

#### ***De första tusen åren***

För denna period bedöms en redovisning kunna göras med kvantitativa beräkningar som grund. SSI ställer höga krav på underlaget för redovisningen, och SSI anser att beräkningar görs med utgångspunkt från rimligt förutsägbara förhållanden. För denna period



förutsätts att beräkningarna grundar sig på egenskapernas hos dagens biosfär samt att hänsyn tas till nu kända och pågående förändringar såsom landhöjning.

### ***Långa tidsperioder***

Många komponenter kan och skall beskrivas i ett långtidsperspektiv. En bedömning av en ansökan får emellertid inte bli beroende av ändlösa diskussioner om hur människan lever och formar sin miljö i en fjärran framtid. SSI kräver därför att ”redovisningen skall innefatta ett fall, som utgår ifrån att de biosfärsförhållanden som råder vid tiden för ansökan om tillstånd för uppförande av slutförvaret inte förändras”.

Detta innebär att för detta fall skall redovisningen utgå från dagens förhållanden, vad avser biosfärens allmänna egenskaper och människans levnadssätt. Den geologiskt betingade landhöjningen är en förändring av biosfären som bör tas hänsyn till i alla tillämpliga tidsperspektiv. Vidare kan inte t.ex. påverkan på förvaret från en nedisning undantas från analysen. Användandet av dagens biosfär i ett fall skall tolkas så att eftersom biosfärsförhållanden efter en istid är svårbedömda, så skall dagens biosfär användas som referens vid beräkningar av doskonsekvenser för alla tidsperioder.

## **2.3 Säkerhetskrav**

### **2.3.1 Översikt**

Ett resultat av SKI:s och SSI:s samordning av föreskriftsarbetet var att myndigheterna samtidigt presenterade sina planer på föreskrifter om slutförvaring under 1997 i form av formella remisser som gick ut till kraftindustrin, SKB, andra myndigheter och berörda kommuner. SKI:s underlag (SKI dnr. 5.8-970478, 1997-03-24, *SKI:s utgångspunkter för föreskrifter och allmänna råd om slutförvaring av använt kärnbränsle m.m.*) till remissen var en PM som detaljerat redogjorde för innehållet i föreskrifterna och allmänna råd. Det bör framhållas att i sak skiljer sig innehållet i det nu (2000) aktuella förslaget föreskrifter endast marginellt från innehållet i denna PM från 1997. SKI:s syn på vilka krav som bör ställas på ett slutförvar och på säkerhetsanalysen har alltså i princip varit väl kända i varje fall sedan 1997.

I augusti 1998 fastställdes SKI:s föreskrifter om säkerhet vid vissa kärntekniska anläggningar (SKI FS 1998:1), vilka trädde i kraft 1 juli 1999. Dessa föreskrifter gäller även för uppbyggnad, drift och förslutning av slutförvar. De är dock främst fokuserade på säkerheten under drift och behöver därför kompletteras med hänsyn till bestämmelser om den långsiktiga säkerheten efter förslutning. En första version av kompletterande föreskrifter om slutförvaring, som anpassats till SKI FS 1998:1, sändes på en begränsad remiss till kraftindustri, SKB och SSI i juni 1999. Den version (daterad 2000-07-20, SKI dnr. 5.1-990760) som sänts på fullständig remiss under 2000 skiljer sig endast obetydligt från den tidigare versionen.

### **2.3.2 Grundläggande säkerhetskrav**

SKI:s förslag till föreskrifter är inriktade på att tillgodose kravet på en fullgod inneslutning av de radioaktiva ämnena för så lång tid som behövs med hänsyn till avfallens farlighet. Säkerheten skall uppnås genom ett system av barriärer. Varje sådan fysisk barriär, t.ex. en betongvägg, kan i sin tur ha en eller flera funktioner i slutförvaret. En brist i en av dessa flerfaldiga barriärfunktioner får inte påtaligt försämra slutförvarets säkerhet.

Ett passivt barriärsystem kan alltså bestå av en eller flera barriärer med barriärfunktioner som samverkar till att ge systemet tillräcklig inneslutningsförmåga under tillräckligt lång tid. Som barriärer räknas tekniska (tillverkade) barriärer och den naturliga barriär som berget utgör.

Platsen för ett slutförvar i berg, inklusive förvarsdjup, bör väljas så att berget ger tillräckligt stabila och gynnsamma förhållanden för att slutförvarets barriärer ska fungera som avsett under tillräckligt lång tid. De förhållanden som avses rör primärt temperatur (inklusive m.h.t. nuvarande och framtida klimat), vattenföring, bergmekanik och geokemi.

SKI:s förslag hänvisar även till de grundläggande krav på skydd av människors hälsa och miljön har angivits i SSI:s föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall.

Det framhålls i vidare i de allmänna råden till SKI:s förslag bl.a. att risker från slutförvaring inte kan förutsägas exakt utan måste uppskattas utifrån den riskbild som framgår av en sammanvägning av konsekvenser och sannolikheter för olika framtida händelseförlopp (scenarier). Denna riskbild bör framgå av en redovisning av beräknade eller på annat sätt uppskattade konsekvenser och sannolikheter för ett urval relevanta scenarier. Konsekvenserna behöver beräknas eller uppskattas för ett antal fall så att den resulterande riskbilden även täcker in ovissheten (osäkerheterna) i de antaganden och data som ligger till grund för beräkningarna eller uppskattningarna. Urvalet av scenarier bör vara sådant att de tagna tillsammans ger en allsidig bild av de risker som förknippas med slutförvaret.

### **2.3.3 Krav på konstruktion och utförande**

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.

Förslaget till 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.

## 2.3.4 Krav på säkerhetsanalysen

### *Analysens innehåll*

SKI:s förslag till föreskrifter ställer krav på att sådana förhållanden händelser och processer som har betydelse för säkerheten skall analyseras innan slutförvaret uppförs, innan det tas i drift och innan det försluts. I de redan publicerade föreskrifterna SKI FS 1998:1 ställs dessutom krav på att säkerhetsanalysen skall hållas aktuell och förnyas vart tionde år så länge förvaret är i drift.

SKI:s förslag ställer krav på dokumentation av säkerhetsanalysen och särskilt på att den skall innehålla information om följande:

- **Analysmetoder**

*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.*

*Redovisning av hur osäkerheter i systembeskrivning, scenarier, beräkningsmodeller och beräkningsparametrar samt variationer i bergets egenskaper som barriär 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.*

- **Analys av betingelserna efter förslutning**

*Redovisning [...] omfattande beskrivningar 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.*

### **Scenarier**

De allmänna råden till SKI:s förslag är särskilt detaljerade när det gäller rekommendationer om hur säkerhetsanalysen bör genomföras och dokumenteras. Således bör olika kategorier av scenarier användas för att analysera slutförvarets funktion under varierande yttre och inre betingelser:

- Ett *huvudscenario* som bör grunda sig på den troliga utvecklingen hos biosfären och realistiska antaganden om barriärernas egenskaper. Det bör vidare bygga på i största möjliga utsträckning trovärdiga antaganden om inre betingelser, inklusive underbyggda antaganden om förekomst av tillverkningsfel och andra ofullkomligheter, och som medger en analys av slutförvarets barriärfunktioner. (Det är t.ex. inte tillräckligt att alltid utgå ifrån täta avfallsbehållare under lång tid, även om detta skulle vara det mest sannolika fallet.) Huvudscenariot bör användas som utgångspunkt för

en analys av hur osäkerheter inverkar (se nedan), vilket innebär att även analysen av huvudscenariot inrymmer ett antal beräkningsfall (jämför kravet på känslighetsanalys ovan).

- Ett antal *mindre sannolika scenarier* för utvärdering av scenariosäkerhet, som bl.a. inkluderar alternativa händelse- och tidsförlopp samt scenarier för att belysa effekten av skador på barriärer till följd av framtida mänsklig verksamhet.
- *Restscenarier* som bör väljas och studeras bl.a. för att belysa betydelsen av enskilda barriärer och barriärfunktioner. Till restscenarierna hör också fall för att belysa skador på människor som gör intrång i slutförvar liksom fall för att belysa konsekvenserna av ett ej förslutet slutförvar som lämnats utan övervakning. Dessa scenarier utgör inte någon direkt grund för bedömning av slutförvarets säkerhet, och vissa av dem bör utvärderas i första hand med tanke på jämförelse med alternativa metoder för omhändertagande av kärnavfall.

*Sannolikheter* för att scenarier och beräkningsfall verkligen skall inträffa bör uppskattas så långt det är möjligt. Sådana uppskattningar är inte möjliga att göra exakt. Det är här nödvändigt att underbygga resonemangen med flera olika metoder, t.ex. bedömningar av flera av varandra oberoende experter. Detta kan göras t.ex. genom uppskattningar av när i tiden olika händelser förväntas ha inträffat.

Med utgångspunkt från viktiga scenarier bör ett antal *konstruktionsstyrande fall* identifieras. Dessa fall bör tillsammans med annan information, t.ex. om tillverknings teknik och kontrollerbarhet, användas för att fastställa de krav på barriärernas egenskaper som bör vara uppfyllda.

### ***Osäkerheter***

Enligt SKI:s förslag är utvärderingen av osäkerheter, d.v.s. brist på kunskap och andra ovissheter i beräkningsförutsättningar en viktig del av säkerhetsanalysen. Osäkerheter som behöver belysas rör val av scenarier, fullständighet i systembeskrivning, ingångsdata, beräkningsmodeller och rumslig variation hos bergets egenskaper. Osäkerheter av dessa slag bör beskrivas och hanteras på ett konsistent och strukturerat sätt såväl vid val av beräkningsfall, beräkningsmodeller och parametervärden som vid bedömning av beräkningsresultat.

### ***Beräkningsmodeller***

De antaganden och beräkningsmodeller som används bör väljas omsorgsfullt med tanke på tillämpningen och valet motiveras genom diskussion av alternativ och med hänvisningar till vetenskapligt underlag. I de fall det råder tvekan om vilken modell som är tillämplig bör flera modeller användas för att belysa effekterna av osäkerheten i val av modell. Både deterministiska och probabilistiska metoder bör användas så att de kompletterar varandra och på så sätt ger så allsidig riskbild som möjligt.

Giltigheten av använda modeller, parametervärden och andra förutsättningar bör t.ex. visas genom hänvisningar till vetenskaplig litteratur, särskilda utredningar och forskningsresultat, laboratorieexperiment i olika skalor, fältförsök och studier av naturliga

fenomen (naturliga analogier). Vetenskapligt underlag, liksom gjorda bedömningar av experter, bör dokumenteras på ett spårbart sätt.

### ***Tidsaspekter***

Enligt förslaget skall säkerhetsanalysen för tiden efter förslutning omfatta så lång tid som säkerhetsfunktioner är nödvändig, dock minst tiotusen år, men den behöver dock omfatta högst en miljon år. (Denna begränsning har införts bl.a. med tanke på osäkerheterna när det gäller bergets egenskaper, vilket gör att det inte är rimligt att genomföra en analys för längre tidsrymder.)

För slutförvar avsedda för långlivat avfall kan säkerhetsanalysen behöva omfatta scenarier som tar hänsyn till större förväntade klimatförändringar, främst i form av kommande nedisningar. Exempelvis bör man särskilt ta hänsyn till nästkommande fullständiga glaciationscykel som för närvarande beräknas vara i storleksordningen 100 000 år.

För tider upp till 1000 år efter förslutning ligger i enlighet med SSI:s föreskrifter dos och risk beräknade för dagens förhållanden i biosfären till grund för bedömningen av slutförvarets säkerhet och skyddsförmåga. För längre tider bör bedömningen ske med dos som en av flera säkerhetsindikatorer och för flera tänkbara biosfärer. Detta bör beaktas vid både beräkningar och presentation av analysresultat. Ett exempel på sådana kompletterande säkerhetsindikatorer är de halter av radioaktiva ämnen från slutförvaret som kan byggas upp i mark och yt nära grundvatten. Förekomster av naturligt radioaktiva ämnen kan då vara en utgångspunkt för bedömning av vad som är tolerabelt i dessa avseenden. Ett annat exempel är det beräknade flödet av radioaktiva ämnen till biosfären som kan ställas i relation till jämförbara naturliga flöden.

## **2.4 Sammanställning av myndigheternas bedömningsgrunder för SR 97**

Bedömningsgrunderna ansluter dels till myndigheternas föreskrifter, vilket diskuteras i avsnitt 2.4.1, och dels till de syften med SR 97 som uttalats av myndigheterna och regeringen, vilket diskuteras i avsnitt 2.4.2.

### **2.4.1 Övergripande krav på säkerhet och strålskydd**

Den kravbild som framgår av avsnitten 2.2 och 2.3 med avseende säkerhet och strålskydd måste uppfyllas senast inför uppförandet av ett slutförvar. Som framgår av avsnitt 2.1.1 behöver dock inte dessa krav nödvändigtvis vara uppfyllda i det nu aktuella skedet, d.v.s. storleksordningen ett decennium innan eventuell byggstart och många år före den slutliga tillståndsprovningen. Det är dock rimligt att begära att det skall framgå av analysen och av den oberoende granskningen att det inte finns någon ouppklarad fråga som allvarligt talar emot att kraven skulle kunna uppfyllas vid tiden för en ansökan. Av SKB:s redovisning bör det tvärtom framgå att det är troligt att kraven skall kunna uppfyllas. Detta är i överensstämmelse med SKI:s yttrande till regeringen om FUD-program 98, där det heter om SR 97 att ”syftet är att göra troligt att KBS-3-

metoden har goda förutsättningar att uppfylla de säkerhets- och strålskyddskrav som SKI och SSI preciserat de senaste åren”, jämför avsnitt 1.2.

En granskning av om dessa övergripande krav är uppfyllda kan lämpligen brytas upp i tre frågeställningar:

- Är den använda metodiken för säkerhetsanalys tillräckligt utvecklad för att medge en bedömning på fullständigt underlag?
- Finns det brister i redovisade kunskapsunderlaget och i de tekniska förutsättningarna, eller finns det kunskap som framkommit vid den oberoende granskningen, som talar emot att de övergripande kraven överhuvudtaget skall kunna uppfyllas med KBS-3-metoden?
- Är konsekvensanalysen tillräcklig med hänsyn till nuvarande skede av programmet?

Betydelsen av de två första punkterna framgår av att det givetvis inte endast är de framräknade och redovisade konsekvenserna (främst i form av i dos) eller risker som är avgörande, utan i minst lika hög grad *hur* (metodik) och på vilket *underlag* (kunskap om t.ex. processer och materialegenskaper) dessa mått på konsekvenser tagits fram.

#### ***Bedömning av metodik för säkerhetsanalys***

Metodik för SR 97 behöver inte vara utvecklad i alla detaljer, men SKB skall med SR 97 demonstrera metodik och dess användning så att det klart framgår att detta är en framkomlig väg, och att metoderna som används är tillräckliga med tanke på säkerhetsanalysens roll vid styrning och utvärdering av platsundersökningar. Demonstrationen av metodik bör avse följande faktorer:

- En logisk och väl strukturerad metod för kartläggning av förhållanden, händelser och processer, som är transparent, medger dokumentation på ett spårbart sätt och underlättar kontroll av fullständighet och bedömningar gjorda av SKB:s experter.
- En logisk och väl strukturerad metod för val av scenarier och definition av beräkningsfall.
- En tillräckligt väl genomförd hantering och utvärdering av osäkerheter (t.ex. användning av alternativa modeller, känslighetsanalys, identifiering och värdering av återstående osäkerheter).
- Användning av relevanta indikatorer för framtida konsekvenser av slutförvaret.
- Rimligt väl utvecklad metod för hantering av riskbegreppet och beräkning av risk.

Till metodikfrågorna hör också strukturen hos redovisningen och presentationen av säkerhetsanalysen.

#### ***Bedömning av kunskapsunderlag och tekniska förutsättningar***

Frågan om brister i kunskapsunderlaget, hänger delvis ihop med metodikfrågan. En fulländad metodik för säkerhetsanalys bör medge att redovisningen är så fullständig att det tydligt framgår i vilken grad de övergripande kraven på säkerhet och strålskydd är tillgodosedda. Ytterligare eller tydligare information skall inte behövas. En inte fullt utvecklad eller fullständigt tillämpad metodik ställer i praktiken större krav på granskningen, som dock inte kan gå så långt att granskaren tar över ansvar från sökanden.

Säkerhetsanalysen bygger på kunskap av både generell natur, såsom väl etablerade tekniska och vetenskapliga metoder, data och modeller, och av mer specifik natur när det gäller de tekniska förutsättningarna såsom egenskaper hos de tekniska barriärerna och

hos berget. I det första fallet är det rimligt att begära att tillräckligt underlag skall vara framtaget relativt tidigt i ett slutförvarsprogram. I det senare fallet är det inte rimligt att begära att all information är framtagen i ett lika tidigt skede, vilket är särskilt uppenbart när det gäller bergets egenskaper på en plats som ännu inte undersökts. Det skall dock finnas framme information som utvisar möjligheten av att hitta ett berg med lämpliga egenskaper.

De egenskaper hos de tekniska barriärerna som är önskvärda beror på vilka krav som ställs utifrån tillförlitligheten hos de övriga barriärerna samt avfallsets farlighet och andra egenskaper. Det går att med hjälp av säkerhetsanalysen härleda sådana önskvärda egenskaper (konstruktionsförutsättningar). Vid upprepade analyser, såsom t.ex. SR 97, bör det ingå att visa om de valda förutsättningarna är tillräckliga (t.ex. när det gäller tillåtet antal initialt defekta kapslar), vilket dock förutsätter en fullständig analys av scenarier och osäkerheter. En annan och lika viktig sak att bedöma är givetvis om det går att praktiskt realisera dessa egenskaper.

Vid bedömningen av SR 97 i dessa båda avseenden när det gäller underlaget är det viktigt att det inte får finnas något som allvarligt talar emot att ett säkert slutförvar kan byggas med den angivna metoden. Detta gäller då främst:

- Kunskap som visar på om förvarets tekniska egenskaper går att förverkliga
- Användning av modeller för utvärdering av barriärernas och systemets egenskaper som på ett godtagbart sätt visats vara tillämpliga i de aktuella fallen (tillräckligt validerade modeller för t.ex. värmetransport, hydrologi, bergmekanik och geokemi).

Det kan av praktiska skäl vara lämpligt att utföra och redovisa metodiken och dess tillämpning i ett sammanhang, vilket särskilt gäller

- tillräcklig fullständighet i hanteringen av egenskaper, händelser och processer
- tillräcklig identifiering av osäkerheter
- val av tillräckligt täckande och relevanta scenarier.

Redovisningen av myndigheternas sammanfattande bedömningar i kapitel 5 har gjorts på detta sätt.

### ***Genomförande av konsekvensanalys***

Slutsteget i säkerhetsanalysen är beräkning av omgivningskonsekvenser för att på detta sätt visa att skyddskraven är uppfyllda. Den utnyttjade metodiken och faktaunderlaget skall därvid användas för att välja beräkningsfall för olika scenarier med utgångspunkt i resultaten från känslighetsanalys och övrig bedömning av osäkerheter. Olika beräkningsmodeller används oftast för beräkning av radionuklidtransport i systemet av tekniska barriärer och närområde, fjärrområdet av geosfären samt biosfären. För utvärdering av risk används även probabilistiska modeller som tar hänsyn till sannolikheten vid val av indata och andra beräkningsförutsättningar. Bedömningen av konsekvensanalysen omfattar främst följande faktorer:

- Analysen genomförd tillräckligt detaljerat för relevanta tidsperioder
- Tillräcklig urval av beräkningsfall för att täcka in olika scenarier och förekommande osäkerheter.
- Tillräckligt väl underbyggda modeller för radionuklidtransport inom geosfär och biosfär.

- Tillämpning av relevanta mått på slutförvarets skyddsförmåga, inklusive säkerhetsindikatorer som kompletterar dos och risk i de långa tidsperspektiven (>1000 år).

Även konsekvensanalysen kan lämpligen bedömas i sammanhang med metodiken såsom gjorts i kapitel 5.

## **2.4.2 De särskilda målsättningarna med SR 97**

Som framgår av avsnitt 1.2 borde SR 97, förutom att göra troligt att säkerhets- och strål-skyddskraven kan uppfyllas av KBS-3-metoden, uppfylla ett antal olika målsättningar. Bedömningsgrunderna för var och en av dessa går igenom nedan.

### ***Visa på möjligheten att finna en plats i Sverige som uppfyller kraven***

Att det finns möjligheter att finna en godtagbar plats framgick redan av SKI:s granskning av KBS-3 1983-84 (SKI dnr. 7.3.1-633/83, sid. 9; 1984-02-23, *Yttrande till industridepartementet*). Syftet med SR 97 bör tolkas så att det bör framgå om denna slutsats fortfarande är giltig baserad på dagens kunskap. Det är samtidigt uppenbart att mer fullständig visshet kan bara uppnås baserat på verkliga platsundersökningar.

### ***Utgöra underlag för platsundersökningar***

Syftet är att baserat på SR 97 skall det gå att fastställa vilka slags undersökningar som är nödvändiga och med vilken kvalitet mätprogrammen bör bedrivas. Vilka undersökningar som kan komma ifråga är väl känt och behöver inte preciseras ytterligare. Det är däremot inte klarlagt hur viktig olika slags information är. För detta ändamål behövs tillräckligt omfattande analyser som kan ge vägledning om vilka undersökningar som bör prioriteras. För att dra mera definitiva slutsatser behövs dock ett bredare underlag än vad som är rimligt att begära från en enstaka säkerhetsanalys.

### ***Utgöra underlag för specifikation av funktionskrav på barriärerna***

På samma sätt som säkerhetsanalysen kan användas för att ställa krav på berget och platsundersökningar kan den användas för att utarbeta konstruktionsförutsättningar i form av funktionskrav, tekniska krav samt och provnings- och kontrollprogram för de tekniska barriärerna (jämför avsnitt 2.1.1 och 2.2.6). Detta var också ett av syftena med SR 97. Återigen är det fullständigheten i analysen som avgör i vilken utsträckning en sådan målsättning kan uppnås. En fullständig kravbild av detta slag måste tas fram senast inför att ett slutförvar tas i drift, men det är viktigt att de mera grundläggande funktionskraven ringas in i det nu aktuella skedet av programmet, inte minst för att kunna utnyttjas för styrning av insatserna i FUD-programmet.

### ***Bidra till precisering av platsvalsfaktorer***

De geologiska platsvalsfaktorer som avses här kan preciseras genom SR 97 endast utifrån skillnader i bergets egenskaper på de platser som ingår i studien. Bedömning bör alltså avse om platsutvärderingarna är tillräckliga i detta avseende.



## **3 SKB:s säkerhetsstrategi och tolkning av myndigheternas krav**

### **3.1 Inledning**

I kapitel 2 redogjordes för SSI:s och SKI:s föreskrifter, vilka ger vissa förutsättningar för SKB:s säkerhetsanalys. Föreskrifterna är generella till sin karaktär vilket innebär att SKB måste göra tolkningar av dem. I detta kapitel redovisas myndigheternas bedömning av SKB:s tolkningar. SKB har också formulerat en egen övergripande säkerhetsstrategi, som också kommenteras nedan. Syftet är att bedöma om SKB:s strategi överensstämmer med myndigheternas grundläggande krav på säkerhet och strålskydd.

Det ska framhållas att ett antal myndighetskrav utvecklats eller fastställts parallellt med SKB:s arbete med SR 97. Detta gäller framför allt SKI:s föreskrifter men i någon mån även SSI:s.

När det gäller skyddsmålen för människors hälsa och miljön, tog SSI upp miljöaspekterna redan i den första remissen av SSI:s strålskyddskriterier för slutförvar (SSI, 1995). I den senare remissen av underlaget till SSI FS 1998:1 argumenterade SSI för ett doskriterium, 10  $\mu\text{Sv}$  årlig medeldos till individer i kritisk grupp. Av SSI:s kommentarer (SSI, 1997) framgick följande:

*”En beräkning av det matematiska väntevärdet av individdos skall eftersträvas. Detta innebär att en högre dos än restriktionen kan accepteras som ett beräkningsfall, om den sökande kan göra troligt att sannolikheten för händelsekedjan är så låg att väntevärdet för individdos inte överstiger restriktionen”.*

Detta motsvarar i princip en riskberäkning såsom den senare definierats i (SSI, 1999), se avsnitt 2.2.4. På grund av detta och på grund av att analys av scenariosannolikhet är en naturlig del av en säkerhetsanalys, anser inte myndigheterna att det faktum att SSI:s föreskrifter fastställdes i september 1998 på ett avgörande sätt kan ha förändrat inriktningen i SKB:s arbete. Däremot bidrog föreskrifterna med tydliga skyddsmål för SKB.

Myndigheternas bedömningar i detta kapitel baseras huvudsakligen på granskning av kapitel 2 och 3 samt avsnitt 5.7 i SR 97. Bedömningarna tar även upp några frågeställningar om inte berörs av SKB i SR 97. Vissa av dessa frågor (t.ex. miljöskydd och kollektivdosberäkningar) kommer i framtiden att behöva inkluderas i säkerhetsanalysen med andra även fortsättningsvis med fördel hanteras utanför säkerhetsanalysen (t.ex. optimering och BAT).

### **3.2 Remissynpunkter**

Remissinstanserna har endast i mycket begränsad omfattning berört SKB:s tolkning och tillämpning av myndigheternas föreskrifter. Ett undantag är SSI:s riskkriterium, som tas upp av flera remissinstanser samt av några av SKI:s konsulter (SKI, 2000c). Syn-

punkterna rör emellertid snarast modellering och beräkning och inte den principiella tolkningen av kriteriet. Därför behandlas dessa synpunkter i avsnitt 4.3.10, som behandlar riskanalys och probabilistiska beräkningar.

Statens råd för kärnavfallsfrågor, Kasam, anser att det enda acceptanskriterium SKB använder i SR 97 är SSI:s riskgräns och att det kan diskuteras om det är tillräckligt. Enligt Kasam finns andra kriterier som kan tillämpas, t.ex. miljöpåverkan, materialtillgång och kompetent arbetskraft. Acceptansen skulle sedan avgöras genom att väga samman samtliga kriterier.

### **3.3 SKI:s och SSI:s granskning och bedömning**

#### **3.3.1 Hälsoskydd**

SKB återger SSI:s föreskrifter om hälso- och miljöskydd (SSI, 1999), och noterar att dessa har tillkommit sent i arbetet med SR 97. Vad gäller SSI:s krav på individskydd, formulerat som en högsta årlig risk av  $10^{-6}$ , lägger SKB vikt vid SSI:s kommentarer (SSI, 1999) till föreskrifterna som anger att

*”Om sökanden önskar göra beräkningar för en individ som bedöms vara högt belastad, kan det vara acceptabelt att utföra beräkningarna för en individ som representerar den högre nivån inom intervallet, i stället för en individ som är representativ för hela gruppens belastning.”*

Med intervallet avses ett intervall för årlig risk som kan variera över en regional grupp av människor från  $10^{-7}$  till  $10^{-5}$ .

Myndigheterna är medvetna om att SKB i sitt arbete hellre använder någon sorts ”testperson” med den årliga risken  $10^{-5}$  i stället för föreskrifternas nivå på  $10^{-6}$ . Myndigheterna vill emellertid understryka att redovisningen måste innehålla argument som visar att testpersonen verkligen representerar den högre nivån inom intervallet, dvs. att det valda fallet rimligen innebär att risken för individer i en större grupp ligger kring  $10^{-6}$ . Myndigheterna återkommer med kommentarer kring detta i avsnitt 4.3.9.

Behovet av fördjupningar kring riskkriteriet och framförallt dess tillämpning tas upp även av den internationella expertgruppen (SKI, 2000a), som i sin granskning konstaterar att SKB inte har en färdig metodik för riskberäkningar. Expertgruppen framhåller att ytterligare dialog krävs mellan myndigheterna och SKB för att utveckla tillämpningen av riskkriteriet. Myndigheterna delar denna uppfattning och frågan kommer även fortsättningsvis att diskuteras med SKB.

#### **3.3.2 Miljöskydd**

Myndigheterna konstaterar att SKB förstått de angivna miljöskyddsmålen i SSI:s föreskrifter, och delar SKB:s syn på saken, t.ex. avsaknad av etablerad internationella riktlinjer.

Frånvaron av klara internationella bedömningskriterier inom miljöskyddsområdet gör att SKB själva måste driva ett omfattande arbete för att, i samband med en framtida ansökan om uppförande av ett slutförvar, kunna göra en redovisning som uppfyller myndigheternas allmänna krav. Detta belyses ytterligare i avsnitt 4.3.9.

### **3.3.3 Tidsperioder**

SKB kommenterar SSI:s särskilda rapporteringskrav för de första tusen åren. Ett viktigt skäl som anges av SKB är att 99 % av de radioaktiva ämnena sönderfallit under denna tid. I SSI:s kommentarer till föreskrifterna finns ytterligare skäl redovisade (SSI, 1999). Myndigheterna anser att SKB inte tillräckligt tydligt har gått igenom tusenårsperspektivet med den noggrannhet som den relativt korta tidsperioden medger. Det bör ligga också i SKB:s eget intresse att bättre redovisa den period som är överblickbar, som berör våra barn och barnbarn och som därför har en självklar aktualitet. En möjlighet att bättre beskriva tusenårsperspektivet kan vara att gå igenom de scenarier som överhuvudtaget skulle kunna ge dos till individer inom den tidsperioden.

SKB diskuterar inte explicit de krav på analys av längre tidsperspektiv som krävs enligt SKI:s förslag till föreskrifter. Enligt myndigheternas uppfattning behandlar SKB ändå denna fråga på ett i stort sett korrekt sätt i följande avseenden:

- någon absolut övre gräns för hur lång tid analysen ska göras anges inte, däremot görs beräkningar fram till 1 miljon år
- SKB anger att som utgångspunkt att förvaret ska fungera så länge det är farligt.

### **3.3.4 Biosärförhållanden**

Myndigheterna anser att arbetet med säkerhet och strålskydd inte ska göras beroende av spekulationer om hur en avlägsen framtid ser ut. SSI har därför krävt att säkerhetsredovisningen ska inkludera ett fall med oförändrad biosfär. SKB har kommenterat detta förhållande i sin genomgång av myndigheternas krav.

Det har emellertid inte varit SSI:s avsikt att scenarier såsom nedslänning som omöjliggör en oförändrad biosfär skulle uteslutas från säkerhetsredovisningen. För sådana fall anser myndigheterna att SKB bör använda dagens biosfär och samhälle efter händelsen, t.ex. en nedslänning, för att åskådliggöra effekterna av ett utsläpp.

### **3.3.5 SKB:s säkerhetskriterier och säkerhetsstrategi**

SKB har under utvecklingen av KBS-3, inte minst i samband med redovisningen av sitt program definierat olika krav som slutförvaret ska uppfylla, t.ex. säkerhetsprinciper och olika funktionskrav för slutförvarets delar. För att föra en för utomstående begriplig diskussion av dessa frågor behövs en enda och av alla parter konsekvent använd terminologi. SKB bör i samråd med myndigheterna utarbeta en sådan.

Även den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) diskuterar SKB:s säkerhetsstrategi och bedömer att SKB har utvecklat ett robust slutförvarskoncept baserat på flera barriärer. Enligt expertgruppen är strategin så pass flexibel att nya vetenskapliga och tekniska framsteg kan utnyttjas till att vidareutveckla slutförvarskonceptet.

Expertgruppen diskuterar även formerna för hur säkerhetsstrategin bör presenteras. Expertgruppen anser att SKB saknar ett övergripande dokument som sammanfattar säkerhetsstrategin. Ett sådant dokument skulle hållas uppdaterat med hänsyn till ny kunskap, förändringar i strategin, väsentliga säkerhetsfrågor m.m. Sammantaget menar expertgruppen att ett strategidokument skulle bidra till en intern samsyn inom SKB på slutförvarsprogrammet mål och status, underlätta företagets dialog med säkerhetsmyndigheterna samt ge en sammanhängande beskrivning även till en bredare publik. SKI och SSI har också insett behovet av ett sådant dokument som expertgruppen efterlyser. Det skulle också kunna ge den terminologi som efterlyses ovan för att sätta in olika slags krav och kriterier i sitt sammanhang i olika skeden av byggande och drift av ett slutförvar såsom säkerhetsindikatorer, funktionskrav, tekniska kriterier och tekniska specifikationer.

I avsnitt 5.7 anger SKB vad man kallar sina säkerhetskriterier, vilket delvis överensstämmer med kvantitativa och kvalitativa funktionskrav på de olika barriärerna: kapsel, buffert, återfyllnad och berg. SKB anger att säkerhetsanalysens mål är att visa att dessa kriterier är uppfyllda. Detta är dock inte tillräckligt, det måste också visas att de uppsatta säkerhetskriterierna fullt ut täcker myndigheternas krav. I SKI:s förslag till föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring anges i de tillhörande allmänna råden att säkerhetsanalysen bör innehålla ett antal konstruktionsstyrande fall för att belysa denna fråga. Enligt myndigheterna skulle en dokumenterad säkerhetsstrategi vara till nytta i detta sammanhang.

Sammanfattningsvis råder det ingen större skillnad i uppfattning mellan myndigheternas och SKB:s syn på säkerhetskriterier. En uppstramning behövs dock med hänsyn till terminologin och till hur dessa begrepp hanteras och används i de olika faserna av ett program för slutförvaring.

### **3.3.6 Optimering och BAT**

SKB återger 4 § SSI FS 1998:1 om optimering samt nämner föreskrifternas krav på beräkning av kollektivdos. SSI vill erinra om att optimeringskravet formulerats med tanke på att föreskrifterna täcker mer än slutförvaring enligt ett KBS-3-koncept, nämligen all tänkbar slutlig hantering, även alternativ till slutförvaring såsom transmutation. Vid transmutation skulle t.ex. kollektivdosen från C-14 spela en viktig roll i strålskyddsbedömningen.

För slutförvaring är optimering inte möjlig i den klassiska meningen att förbättringar i strålskyddet ska utföras om kollektivdosen kan sänkas med en given effektivitet uttryckt i kronor/mansievert. Det skulle kräva att doser i mycket långa tidsperioder bedömdes för att styra kostnader som uppstår idag. I t.ex. ett miljonårsperspektiv är inte bara dosen osäker, det är t.o.m. osäkert vilka varelser som skulle belastas med stråldoser.

Däremot kan begreppet optimering uppfattas som allmän strävan att sänka stråldoser. Om SKB ser en möjlighet att förbättra konceptet till en rimlig kostnad bör förbättringen genomföras. För det långa tidsperspektivet motsvarar detta kravet på bästa möjliga teknik (BAT).

Det ska betonas att optimering i första hand inte är en uppgift för analysen av slutförvarets långsiktiga säkerhet. I optimeringen ska samtliga led i avfallets slutliga hantering beaktas och vägas samman. För KBS-3-metoden innebär det att stråldoser till personal och allmänhet från inkapsling, transport och drift av slutförvaret ska vägas samman med eventuella doser i en avlägsen framtiden från ett förslutet slutförvar. Optimering är därför i första hand en uppgift för den analys av hela slutförvarssystemets funktion och säkerhet som SKB är ålagt att genomföra.

Av samma skäl som för optimering är tillämpningen av BAT inte en uppgift för säkerhetsanalysen utan bör redovisas på annat sätt av SKB. Det kan tilläggas att BAT numera är ett krav inte bara i SSI FS 1998:1 utan sedan 1999 också en av de allmänna hänsynsreglerna i miljöbalken. Även SKI kommer i kommande slutförvarsföreskrifter att ställa krav på tillämpning av BAT för konstruktion och utförande av barriärsystemet i ett slutförvar. Även om både optimering och BAT till stor del ligger utanför säkerhetsanalysen anser SKI och SSI att det kan finnas anledning för SKB att inleda arbete samt dialog med berörda myndigheter på dessa två områden.



## 4 Metodik för säkerhetsanalys och dess tillämpning i SR 97

I detta kapitel redovisar myndigheterna övergripande bedömningar av SKB:s metodik för säkerhetsanalys och dess tillämpning i SR 97. Myndigheternas detaljerade synpunkter på SKB:s redovisning av processer och initialtillstånd och på SKB:s redovisning i de olika scenarierna redovisas i bilaga 1 respektive bilaga 2. I bilagorna ges således mer exempel och fylligare argument som stöd för de övergripande bedömningarna i detta kapitel.

### 4.1 SKB:s redovisning

SR 97 innehåller ett särskilt metodkapitel (kapitel 4 i huvudrapporten) som på ett övergripande sätt beskriver de ingående momenten och analysmetoderna i säkerhetsanalysen. Metodiken för beräkningar av radionuklidtransport och riskanalys redovisas dock direkt i kapseldefektscenariot (kapitel 9) och diskuteras i viss mån också i slutsatskapitlet (kapitel 13). Genomförandet och redovisningen i SR 97 delas in i fem huvudmoment:

1. Systembeskrivning
2. Beskrivning av initialt tillstånd
3. Val av scenarier
4. Analys av valda scenarier
5. Utvärdering.

SKB presenterar i SR 97 ett nytt sätt att strukturera systembeskrivningen med processer och variabler i så kallade THMC-diagram (Termiska, Hydrauliska, Mekaniska och Kemiska processer). De identifierade processerna beskrivs i en särskild bakgrundsrapport (Processrapporten). Beskrivningen är vidare strukturerad så att de olika variablerna i THMC-diagrammen tilldelats initiala värden. Det initiala tillståndet är en beskrivning av hur förvaret är tänkt att se ut just efter det förslutits, dvs. en beskrivning av egenskaperna hos slutförvarets alla delar inklusive slutförvarsplatsen. Denna beskrivning redovisas i den så kallade Förvarssystemrapporten och i kapitel 6 i huvudrapporten.

SKB presenterar i SR 97 analyser av fem scenarier: basscenario, kapseldefektscenario, klimatscenario, tektonik/jordskalvsscenario och scenario baserade på mänskliga handlingar. Valet av scenarier sägs vara baserade på erfarenheter från tidigare säkerhetsanalyser och på systembeskrivningen. Beräkningar av radionuklidtransport redovisas för kapseldefektscenariot och viss mån för klimatscenario. Alla indata till transportberäkningarna i kapseldefektscenariot redovisas i en särskild bakgrundsrapport (Data-rapporten). Den totala riskbedömningen baseras på ett resonemang om hur riskerna för de olika scenarierna kan vägas samman. Den samlade risken baseras dock i praktiken på resultatet för kapseldefektscenariot för vilket en formell riskanalys genomförts.

## 4.2 Remissynpunkter

Statens råd för kärnavfallsfrågor, Kasam, anser att SKB:s arbete är av hög kvalitet och att säkerhetsfrågorna har belysts på ett så allsidigt och ingående sätt som är rimligt att kräva på detta stadium. Kasam pekar på svårigheterna att ur säkerhetsanalysen härleda platsvalskriterier för geosfären och att SKB därför fäster avgörande vikt vid de övriga säkerhetsbarriärerna, framförallt kapseln och bentonitbarriären. Beträffande valet av scenarier i SR 97, anser Kasam att det finns en risk att en alltför ingenjörsmässig inställning till scenarioanalysen kan leda till ett alltför begränsat beslutsunderlag. Som ett exempel påpekar Kasam att även om SR 97 främst skall belysa slutförvarets säkerhet efter förslutning så borde även omständigheter vilka medför att förvaret inte försluts ingå i säkerhetsanalysen.

Kasam menar att osäkerheter kring buffertens långsiktiga utveckling i olika förvarsmiljöer borde belysas mer utförligt samt att SKB bör anstränga sig att skaffa underlag för realistiska antaganden om initiala kapseldefekter. Kasam framhåller också att vissa parametrar som kan anta olika värden i berggrunden behöver förses med osäkerhetsintervall, d.v.s. i de fall fördelningsfunktioner inte har använts för att beskriva variabiliteten.

Sveriges Geologiska Undersökning, SGU, anser att kopplingen mellan nedisningar och rörelser i berget är otillräckligt belyst i SR 97. SGU anser också att säkerhetsanalysen är alltför hypotetisk och att en slutlig säkerhetsanalys kan göras först när data har erhållits från den eller de platser som bedömts ha goda förutsättningar för ett djupförvar.

Pereira vid Stockholms Universitet anser att SKB har de nödvändiga programverktygen för att genomföra probabilistiska säkerhetsanalyser men framhåller att dessa borde använts för att genomföra en mer komplett riskanalys än vad som gjorts i SR 97. Pereira pekar också på att Datarapporten behöver kompletteras för att SKB skall kunna genomföra en mer fullständig riskanalys. Enligt Pereira borde de redovisade deterministiska beräkningarna ha kompletterats med andra parameterkombinationer i syfte att utreda synergieffekter. Pereira framhåller vidare att användningen av diskreta fördelningar med två värden är föga trovärdig och ifrågasätter SKB:s slutsats att formen hos de beräknade dosfördelningarna kan tas som en indikation på systemets robusthet.

Kungl Tekniska högskolan i Stockholm anser att det varit värdefullt om urvalsprocessen för scenarioval hade beskrivits och att uteslutna scenarier redovisats.

## 4.3 SKI:s och SSI:s granskning och bedömning

### 4.3.1 Inledning

Myndigheterna är eniga med SKB om att det inte finns en standardiserad metod för att genomföra säkerhetsanalyser av ett slutförvar för använt kärnbränsle. Myndigheterna ser därför positivt på att SKB deltar i internationellt arbete, t.ex. inom OECD/NEA, för att säkerställa att metodiken för säkerhetsanalys är uppdaterad och heltäckande.



Myndigheterna konstaterar att SKB:s metodik för säkerhetsanalys har förbättrats inom flera viktiga områden, t.ex. vad gäller:

- dokumentationen av de processer och egenskaper, med tillhörande osäkerheter, som kan påverka slutförvarets funktion
- redovisning av indata till konsekvensanalysen
- utvecklingen av kunskap och modeller för utvärdering av initialt defekta kapslar
- den mer detaljerade utvärderingen av biosfären.

Vidare har SKB i och med SR 97 tagit ett första steg mot att anpassa sina säkerhetsredovisningar mot de krav som ställs i myndigheternas föreskrifter, t.ex. vad gäller presentation av förvarets skyddsförmåga i form av risk. Myndigheterna avser att föra en fortsatt dialog med SKB om innebörden av de preciserade säkerhets- och strålskydds-kraven i myndigheternas föreskrifter.

Myndigheterna konstaterar samtidigt i sin granskning nedan att vissa delar av den presenterade metodiken i SR 97 behöver vidareutvecklas och konkretiseras inför kommande tillståndsansökningar. Myndigheterna vill samtidigt understryka att SKB:s utveckling av metodik för säkerhetsanalys är ett kontinuerligt arbete som bör fortgå under alla steg av utbyggnaden av ett slutförvar. Myndigheterna avser att återkomma med ytterligare synpunkter på vilken redovisning som behövs inför de olika stegen av SKB:s slutförvarsprogram i samband med kommande granskningar av SKB:s program för Forskning, Utveckling och Demonstration (FUD-program).

#### **4.3.2 Struktur och presentation**

Myndigheterna anser i likhet med den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) och Kasam (SKI, 2000b) att huvudrapporten SR 97 överlag är välskriven och väldisponerad. Strukturen med särskilda bakgrundsrapporter för processer, dataunderlag och förvarssystemet ger en bra översikt även om vissa delar av texterna, t.ex. den hydrogeologiska beskrivningen, upprepas på flera ställen. Vid en övergripande bedömning kan myndigheterna också fastslå att SR 97 innehåller de delar som enligt SKI:s förslag till föreskrifter och SSI:s föreskrifter skall ingå i en säkerhetsredovisning för ett slutförvar för använt kärnbränsle (se kapitel 2).

Myndigheternas liksom den internationella expertgruppens viktigaste kritik vad gäller presentation i SR 97 berör brister i spårbarhet och transparens i olika typer av bedömningar. Dessa frågor kommenteras närmare under avsnitt 4.3.11. En annan brist, som även uppmärksammas av SKB, är att val av scenarier och metoden för riskberäkningar behöver beskrivas bättre inför kommande säkerhetsredovisningar (se även avsnitt 4.3.10).

Myndigheterna anser att beskrivningen av biosfärsprocesser och biosfärsmodeller inte tillräckligt redovisade i huvud- och bakgrundsrapporterna till SR 97. Materialet måste i allt väsentligt hämtas från underreferenser.

SR 97 bygger på den mall som SKB tidigare presenterat i rapporten SR 95 – Mall för säkerhetsrapporter med beskrivande exempel (SKB, 1995). Myndigheterna stödjer SKB:s ambition att använda sig av en stående grundstruktur (mall) för sina säkerhets-

redovisningar. Stora delar av den grundläggande dokumentationen, t.ex. systembeskrivningen och metodikbeskrivningen, behöver då bara uppdateras inför nya säkerhetsredovisningar. Detta underlättar myndigheternas granskningar och det blir lättare att identifiera vilken ny information som tillförts i förhållande till tidigare säkerhetsanalyser. Myndigheterna vill avslutningsvis uppmana SKB att se över sin struktur för säkerhetsredovisningar med hänsyn till erfarenheterna från SR 97 och den kritik som framkommit i myndigheternas granskning.

### 4.3.3 Inriktning på säkerhetsanalysen

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) framhåller att KBS-3-metoden bygger på en internationellt förankrad säkerhetsstrategi med flerfaldiga långlivade barriärer, och att SKB:s säkerhetsanalys understöds av ett omfattande forsknings- och utvecklingsprogram som är väl anpassat till den stegvisa utvecklingen av slutförvaret. Den internationella expertgruppen anser vidare att SR 97 ger en bra illustration av säkerheten för KBS-3-metoden även om spårbarhet och fullständighet i argumentationen kan förbättras.

Expertgruppen anser även att SKB bör bli tydligare med att beskriva sin strategi för att åstadkomma och visa säkerhet. Experterna föreslår att SKB fortsättningsvis bör genomföra säkerhetsanalyser oftare och att man bör förstärka säkerhetsanalysens roll för integrering av olika delar av slutförvarsprogrammet. Kasam (SKI, 2000b) anser att SKB bör bli tydligare med att redovisa de grundläggande etiska och värdemässiga ställningstaganden i säkerhetsanalysen.

Myndigheterna anser att SR 97 innehåller de moment som krävs för en allsidig belysning av säkerhet och strålskydd. Myndigheterna håller dock med den internationella expertgruppen om att SKB bör förtydliga säkerhetsanalysens roll för att uppfylla olika syften. SKB har i SR 97 lagt stor vikt vid syftet att visa att KBS-3-metoden kan uppfylla SSI:s riskkriterium. Myndigheterna anser dock att syftena att ge underlag för härledning av krav på platsundersökningar och de tekniska barriärerna fått för litet utrymme (se avsnitt 4.3.12).

SKB anger i metodikkapitlet (kapitel 4) att man i SR 97 valt att lägga mer fokus på slutförvarets isolerande funktioner jämfört med tidigare säkerhetsanalyser, vilket bl.a. återspeglas i basscenariots analyser av de tekniska barriärernas (närområdets) egenskaper och framtida utveckling. SKI:s konsult Voss (SKI, 2000c) anser att antagandena om närområdets funktioner är alltför optimistiska och menar att detta har inneburit att bergets betydelse för säkerheten inte har kunnat testats tillräckligt väl i SR 97. Wörman och Xu (SKI, 2000c) efterlyser allmänt en tydligare redovisning av hur olika barriärfunktioner i närområdet och geosfären bidrar till slutförvarets säkerhet.

Myndigheterna anser att fokuseringen på slutförvarets isolerande funktioner borde ha föranlett en mer ingående analys av de osäkerheter som är förknippade med närområdets långsiktiga utveckling. Myndigheterna vill dock betona att det är den samlade funktionen hos samtliga barriärer som är avgörande för bedömningar av säkerhet och strålskydd.

Myndigheterna anser i likhet med bl.a. Tsang resp. Voss (SKI, 2000c) att SR 97 har alltför lite fokus på utvärderingen av ogynnsamma förhållanden eller kombinationer av ogynnsamma förhållanden. Myndigheterna konstaterar att flera potentiellt ogynnsamma FEP avfärdats i ett tidigt skede av analyserna (i Processrapporten) utan att deras eventuella betydelse för riskanalysen utvärderats (se även 4.3.4 och 4.3.10). Enligt myndigheternas uppfattning bör SKB bättre försäkra sig om att belysa säkerhetsmarginalerna för KBS-3-metoden genom att illustrera slutförvarets tålighet mot hypotetiska och mindre sannolika störningar, vilket kan innefatta beräkningsfall som ger höga doser.

SKB anger (i kapitel 3) att man inte tillgodoräknar sig utspädning och spridning i biosfären som en säkerhetsfunktion, bl.a. med hänvisning till svårigheterna att förutsäga biosfärens framtida utveckling. Samtidigt framstår just utspädning i biosfären som en avgörande faktor vid bedömningen av konsekvenserna av klimatscenariot. Myndigheterna anser att SKB i samråd med myndigheterna bör precisera biosfärens roll inför framtida säkerhetsanalyser.

Myndigheterna konstaterar avslutningsvis att SKB valt att inte belysa de säkerhetsmässiga kopplingarna mellan slutförvaret för använt kärnbränsle och slutförvaret för annat långlivat avfall i SR 97. Myndigheterna har erfarenhet att detta beror på att SKB valt att helt frikoppla lokaliseringsprocessen för dessa två slutförvar. I det fall då SKB väljer att inte definitivt utesluta en samlokalisering bör dock den påverkan som de båda förvaren kan ha på varandra redovisas.

#### **4.3.4 Systembeskrivning**

Med systembeskrivning avses den strukturerade beskrivning av de förhållanden, händelser och processer som behöver beaktas för att kunna beskriva utvecklingen av slutförvarets barriärsystem och dess funktion för olika scenarier. SKB presenterar i SR 97 ett nytt sätt att strukturera systembeskrivningen med processer och variabler i så kallade THMC-diagram (Termiska, Hydrauliska, Mekaniska och Kemiska processer). De identifierade processerna beskrivs i en särskild bakgrundsrapport (Processrapporten).

Myndigheterna anser att den systematiska genomgången av processer och av data som presenteras i Processrapporten och Datarapporten är nödvändig för att uppnå spårbarhet. Sambandet mellan dessa båda rapporter är däremot inte säkerställt på ett sådant sätt att de tillsammans ger en tillräckligt god och entydig bild av förutsättningarna för beräkningarna i säkerhetsanalysen. Det bör dock ändå framhållas att hantering av spårbarheten i SR 97 utgör ett stort framsteg.

SKB har i SR 97 valt att inte inkludera processerna i biosfären i det format för systembeskrivning som utvecklats för processerna i tekniska barriärerna och geosfären. Myndigheterna ser ingen anledning till att särbehandla processerna i biosfären i detta avseende.

SKB:s systembeskrivning utgår från internationellt tillgängliga listor över förhållanden, händelser och processer (FEP, från engelskans Features, Events and Processes) som skulle kunna påverka säkerheten. Myndigheterna anser att bedömningarna som ligger

till grund för att utesluta vissa FEP bör underbyggas på ett bättre sätt, t.ex. med väl-dokumenterade expertgranskningar och referenser till vetenskapligt underlag eller genom en tydlig struktur och underreferenser (se avsnitt 4.3.11). Alternativt bör beräkningar inkluderas i riskanalysen så att riskbidragen kan utvärderas.

De metoder som används för systembeskrivning (förutom THMC-diagram, främst influensdiagram och interaktionsmatriser) är samtliga komplicerade att förstå och använda. Myndigheterna anser därför det är viktigt att fortsätta utvecklingen av sådana metoder, framförallt så att de på ett bättre sätt kan vara till hjälp vid granskning av säkerhetsanalysen. De flesta nackdelar som påtalats av den internationella expertgruppen och konsulterna delar THMC-diagrammen med övriga tillgängliga metoder. Den mest framträdande bristen hos THMC-metoden är att vissa samband inte framgår direkt av diagrammen, men även här finns det ännu inte något bättre alternativ.

Sammanfattningsvis ser myndigheterna THMC-metoden som ett värdefullt bidrag till metodiken för säkerhetsanalyser. Metoden är inte färdigutvecklad, men går att utveckla vidare. Allt talar dock för att det fortfarande finns goda skäl att använda olika metoder inom samma program för att kunna belysa systembeskrivningen från olika synvinklar. Myndigheterna delar den åsikt som framförs av flera av SKI:s konsulter om att de expertbedömningar som ligger till grund för diagrammen behöver dokumenteras.

#### **4.3.5 Scenarier**

Myndigheternas anger i sina föreskrifter och allmänna råd (se kapitel 2) att de scenarier och beräkningsfall som väljs ut för analys, tillsammans skall ge en god täckning av risk-bilden. Det är således viktigt att metoden för riskberäkningar liksom syftet med olika scenarier är tydligt redovisade. Kopplingen mellan de valda scenarierna och systembeskrivningen bör framgå tydligt.

##### ***Formulering av scenarier***

SKB definierar i SR 97 ett scenario som: "...den utveckling förvarssystemet genomgår givet ett initialtillstånd och specificerade förhållanden i omgivningen." I SR 97 formulerar SKB fem scenarier vilka utvärderas separat i huvudrapporten:

- Ett basscenario där förvaret tänks vara byggt enligt specifikationer, där inga kapslar har initiala fel och där dagens förhållanden i omgivningen tänks bestå.
- Ett kapseldefektscenario som skiljer sig från basscenarioet genom att ett fåtal kapslar tänks vara behäftade med initiala fel.
- Ett klimatscenario som behandlar en möjlig framtida klimatutveckling.
- Ett tektonik/jordskalvsscenario.
- Ett scenario som behandlar framtida mänskliga handlingar som kan tänkas påverka djupförvaret.

SKB baserar valet av scenarier på erfarenheter från andra tidigare genomförda säkerhetsanalyser, men även på arbetet med att kartlägga vilka förhållanden, händelser och processer, FEP, som kan tänkas påverka slutförvarssystemet, samt på arbetet med att strukturera dessa FEP.

Myndigheterna anser, liksom den internationella expertgruppen (SKI 2000a) och SKI:s konsult Wilmot och Crawford (SKI 2000c), att SKB på ett mycket tydligare sätt behöver presentera metoden för att formulera scenarier och syftet med de valda scenarierna. Det är inte tillräckligt att som i SR 97 bara konstatera att man utgått från de erfarenheter man samlat på sig under arbetet med SR 97 och vid tidigare arbeten.

SKB anger i SR 97 att representationen av slutförvarssystemet i form av THMC-diagram kan utnyttjas för ett systematiskt scenarioval och att man inför kommande analyser avser att tydliggöra sambandet mellan valet av scenarier och systembeskrivningen. Myndigheterna anser att detta är ett viktigt och nödvändigt utvecklingsarbete.

I SR 97 har SKB valt att behandla scenarier baserade på mänskligt intrång separat. Detta är i enlighet med SSI:s föreskrifter för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall och med SKI:s förslag till föreskrifter för slutförvaring av kärnavfall (se kapitel 2). SKB:s utvärdering kommenteras i bilaga 2, kapitel 5.

### ***Kopplingar mellan scenarier***

SKB har i SR 97 valt att analysera flera av de viktigaste inre och yttre störningarna separat i olika scenarier. Myndigheterna har i princip inget emot detta angreppsätt, under förutsättning att kopplingarna mellan scenarierna tas om hand i analyserna. Ett alternativ som bör övervägas är att utvärdera mera heltäckande scenarier som på ett integrerat sätt belyser inverkan av både inre och yttre störningar. Ett sådant alternativ vore mera konsistent med de allmänna råden tillhörande SKI:s förslag till föreskrifter. Myndigheterna anser, i likhet med den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) och flera av SKI:s konsulter (SKI, 2000c), att flera viktiga kopplingar mellan scenarierna i SR 97 inte redovisats på ett tillfredställande sätt. Som exempel kan nämnas att:

- SKB:s tektonik/jordskalvsscenario är begränsat till en analys av störningar av kapselns isolerande funktion under isfria perioder. Scenariot tar således inte hänsyn till en ökad frekvens och magnitud av jordskalv till följd av framtida glaciationer. Scenariot belyser heller inte effekterna av rörelser i berget på transporten av radionuklider från en defekt kapsel.
- Trots att SKB konstaterar att andra klimatförhållanden än de som antas råda i bas-scenariot kommer att dominera i framtiden, används hydrogeologiska och geokemiska data baserade på dagens klimatförhållanden för modellberäkningar av kopparkorrosion och buffertens utveckling under tidsperioder av 100 000-tals år.
- Påverkan av framtida klimatförändringar på transport av radionuklider redovisas mycket översiktligt. SKB nöjer sig i SR 97 med att konstatera att utspädningen ökar i samband med klimatförändringar och att effekten av ett ökat utflöde av radionuklider därmed kommer att kompenseras av den högre utspädningen.

### ***Utvärdering av scenarioosäkerhet***

Analyserna av kapseldefekt-, klimat- och tektonik/jordskalvsscenarierna i SR 97 belyser effekterna av olika typer av störningar på slutförvarssystemet. Analyserna som SKB gör är ett bra steg mot en fullständig säkerhetsanalys. Myndigheterna anser dock att SKB inför kommande redovisningar bör göra en mer fullständig analys av de viktigaste osäkerheterna i de olika scenarierna.

Myndigheterna vill särskilt framhålla att SKB bör utvärdera alternativa antaganden om frekvens och karaktär av initiala defekter i både kapsel och buffert. Exempelvis postulerar SKB i kapseldefektscenariot att inte fler än 0,1 % av kapslarna kommer att vara behäftade med skador större än detektionsgränsen. Resten av kapslarna antas vara hela. Myndigheterna anser att SKB också bör föra ett resonemang om skador som är mindre än detektionsgränsen och vad dessa kan betyda för kapselns långsiktiga integritet.

Ett annat exempel gäller SKB:s klimatscenario. I SR 97 beskrivs en möjlig klimatutveckling vilken bland annat innebär att Aberg förväntas ligga under havsytan under en mycket lång tidsperiod. Detta antagande är dock förenat med stora osäkerheter. Myndigheterna anser, liksom den internationella expertgruppen (SKI 2000a) och Voss (SKI 2000c), att alternativa klimatutvecklingar bör belysas i framtida säkerhetsanalyser. Detta är också en rekommendation i de allmänna råden tillhörande SKI:s förslag till föreskrifter (se kapitel 2).

Myndigheterna anser vidare att SKB i framtida säkerhetsanalyser bör föra en mer ingående diskussion om betydelsen av tidsberoende processer. Som ett exempel kan nämnas processer som skulle kunna leda till en ackumulation och senare utspolning av radionuklider från geosfären till biosfären inte utvärderats i klimatscenariot.

#### ***Relevans av SKB:s scenarier för riskutvärdering***

Myndigheterna anser, liksom den internationella expertgruppen, att de scenarier som återfinns i SR 97 ger en acceptabel täckning över vad som kan förväntas återfinnas i en säkerhetsanalys. Myndigheterna anser dock att SKB bör tydliggöra kopplingen mellan val av scenarier och utvärderingen av risk. Den sammanvägning av riskerna i de olika scenarierna som SKB gör i slutsatskapitlet (kapitel 13) är enligt myndigheterna visserligen numeriskt korrekt, men myndigheterna anser som nämnts ovan att SKB:s scenarier inte tillräckligt väl tar hänsyn till viktiga kopplingar mellan olika typer av inre och yttre störningar i de olika scenarierna.

En mer generell iakttagelse myndigheterna gör, och som bidrar till myndigheternas uppfattning att SKB bör ägna mer eftertanke åt scenariofrågorna, är att SKB:s tillämpning av den definition av ett scenario som återfinns i SR 97 inte är konsekvent tillämpad. Kapseldefektscenariot är t.ex. inte en beskrivning av hela slutförvarssystemet, utan omfattar enbart en liten delmängd av slutförvarets samtliga kapslar. Myndigheterna vill därför uppmana SKB att se över metoden för formuleringen av scenarier så att de ger en bra utgångspunkt för, och är logiskt kopplade till riskberäkningarna.

#### **4.3.6 Exponering och exponeringsvägar i biosfären**

Här redovisas myndigheternas viktigaste synpunkter på SKB:s modellering av biosfären och de processer som leder till dos för människa och miljö. SKB:s metoder för att utvärdera hälso- och miljöskydd kommenteras i avsnitt 4.3.9. Synpunkter på SKB:s redovisning av initialtillstånd och processer i biosfären ges i bilaga 1, kapitel 2.

### **Beräkningsförutsättningar**

Redovisningen av de utförda biosfärsberäkningarna är inte överskådlig. Det kan tyckas att SKB:s val av torvmosse som en konservativ representant för alla andra ekosystem, gör en detaljerad beskrivning onödig. Flera skäl talar dock mot en sådan förenkling:

- Konservativa antaganden, d.v.s. överskattningar som kan rättfärdiga att analysen hoppar över vissa steg, kräver en relativt omfattande motivering, vilket innebär att de överhoppade stegen ändå måste redovisas i detalj.
- Som nämns bl.a. i avsnitt 4.3.9 är det nu för tidigt att ha måluppfyllelse som det enda centrala syftet med den redovisade analysen. Ett viktigt syfte är att belysa angreppssätt och svaga punkter i analysen.

Myndigheterna anser därför att SKB bör:

- Styrka att det antagande som görs i SR 97 om övergången mellan geosfär och biosfär är konservativt, nämligen att radionuklider förutsätts förflyttas direkt från grundvatten till rotzonen.
- Fortsätta arbetet med att beskriva relevanta ekosystem.
- Identifiera radionuklider som är kritiska för konsekvensbedömningen.
- Utveckla sitt arbete med exponeringsvägar så att andra skyddsobjekt än människans hälsa blir godtagbart behandlade, vilket är en förutsättning för att kunna uppfylla SSI:s föreskrifter (kapitel 2).

Människans placering i de analyserade ekosystemen är dessutom otydlig. SKB använder i sin biosfärsmodell ömsom en brunn, ömsom andra ekosystem. Myndigheterna anser att SKB bör studera effekterna av kombinationer av exponeringsvägar, bland-exponering, för fall då detta inte kan uteslutas, t.ex. exponering via dricksvattenkonsumtion i kombination med andra potentiella exponeringsvägar. Alternativt krävs en mera utförlig argumentation för att tydliggöra att den valda redovisningen är konservativ.

Att Aberg ligger under vatten under en stor del av den undersökta tiden har redan kommenterats ovan. Myndigheterna anser inte att SKB på ett övertygande sätt har visat att Aberg (Äspö) inte skulle kunna utsättas för nedisning men ändå befinna sig över vattenlinjen under betydligt längre tider än vad som anges i klimatscenariot. En annan fråga som är relevant för alla kustnära förläggningar av ett slutförvar, och därför borde ha be-lysts i fallet Aberg, är ett utflöde till sediment som genom landhöjning blir åtkomligt för nya exponeringsvägar. I detta scenario finns således en särskild typ av risk för påverkan av miljö och människa som inte utvärderats i SR 97.

### **Tidsaspekten**

Det är ett krav i myndigheternas föreskrifter (se kapitel 2) att SKB redovisar säkerheten för slutförvaret i ett mycket långt tidsperspektiv. Myndigheterna anser emellertid att processen är så långt framskriden att det är hög tid för SKB att ta fram alla teoretiska verktyg som senare behövs för en slutlig prövning, däribland en särskild redovisning av tusenårsperspektivet såsom krävs i föreskrifterna (SSI, 1999). En möjlig väg är att definiera och diskutera de scenarier (inklusive extrema scenarier) som *skulle kunna* ge dos till individer under denna tid. Det ligger i allmänhetens intresse att ett sådant kortare tidsperspektiv från tiden för förvarets förslutning och några hundratals år framåt i tiden redovisas särskilt noga.

För långa tidsperioder kan dos bara beräknas för referenssamhälle och referensbiosfär. Som nämns i kapitel 2 och 3, kan doser till människor efter mycket långa tidsförlopp användas som ett säkerhetsmått. Där har SSI angivit att dagens biosfär och samhälle skulle kunna utgöra en utgångspunkt, vilket inte utesluter ytterligare analyser.

#### ***Biosfärens roll i framtida analyser***

Myndigheterna anser att om SKB i fortsättningen väljer att hålla fast vid att ge en särskild tyngd åt redovisningar för torvmosse, bör SKB göra en noggrannare beskrivning av exponeringsvägar från torvmossen till människa. I en utredning om torv och strålskydd som SSI gjort (SSI, 1990) utgör en avfallsdeponi med torvaska det kanske största problemet ur strålskyddssynpunkt. Denna exponeringsväg har dock inte redovisats i SKB:s underlagsrapport (Lindborg och Shüldt, 1998) trots att det i SR 97 förutsätts att torv i framtiden kommer att användas som bränsle. Myndigheterna vill också uppmana SKB att ta fram en modell för skogsekosystem.

Det står samtidigt klart att SKB inte kan beskriva alla tänkbara biosfärsscenarier för ett hypotetiskt utsläpp. SSI behöver därför fastställa mer detaljerade kriterier för att bedöma den uppställda kravbilden. SKB har emellertid det slutliga ansvaret och bör därför inte passivt avvakta myndigheternas arbete med denna fråga.

#### **4.3.7 Utveckling och val av konceptuella modeller**

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) anser att SKB har tillgång till en lämplig uppsättning modeller för säkerhetsanalysens behov. Expertgruppen framhåller dock, liksom Wilmot och Crawford (SKI, 2000c), att SKB behöver ta fram en mer komplett och spårbar dokumentation, t.ex. vad gäller konceptuella antaganden, betydelsen av förenklingar, samt matematiska och numeriska metoder. Experterna framhåller också att SKB bör bli tydligare med att redovisa hur olika modeller valts ut i de olika stegen av säkerhetsanalysen, alltifrån valet av detaljerade processmodeller till valet av de mer förenklade beräkningsmodellerna för konsekvensanalysen.

Flera av SKI:s konsulter samt Pereira (SKI, 2000b) framhåller särskilt att SKB bör diskutera osäkerheter i de modeller som använts för beräkningar av radionuklidtransport i konsekvensanalysen. Dessa modeller innehåller stora förenklingar, vars betydelse för beräkningsresultaten är bristfälligt redovisad i SR 97. Wörman och Xu resp. Tsang anser exempelvis att osäkerheterna i de förenklade transportmodellerna bör illustreras genom jämförelser med mer detaljerade processmodeller för olika transportprocesser.

Myndigheterna anser att SKB inför genomförandet av SR 97 byggt upp en ändamålsenlig uppsättning modeller som motsvarar den ambitionsnivå som kan förväntas i detta skede. Myndigheterna instämmer dock i viss mån i ovanstående kritik att redovisningen av modellernas begränsningar och osäkerheter behöver förbättras. Det finns obalans i SR 97 i detta hänseende, där t.ex. inverkan av konceptuella osäkerheter för hydrogeologiska modelleringen utreds relativt detaljerat medan motsvarande analys saknas för modellerna som täcker närområdets utveckling och radionuklidtransport. Myndigheterna finner framtagandet av Processrapporten vara ett lovvärt initiativ att dokumentera den vetenskapliga förståelsen för de underliggande processerna i modellerna. I



kommande säkerhetsanalyser bör dock SKB bli tydligare med att redovisa hur processbeskrivningarna utnyttjas i valet av konceptuella modeller.

Myndigheterna anser i likhet med den internationella expertgruppen att utvärderingen av alternativa hydrogeologiska modeller för Aberg är ett värdefullt exempel på hur förståelse kan skapas för modellosäkerhet. Myndigheterna konstaterar dock att SKB i de flesta fall ändå valt att välja ut och använda endast en konceptuell modell för de olika beräkningarna i säkerhetsanalysen. Myndigheterna anser att det är angeläget att SKB inför påbörjandet av platsundersökningar tar fram en genomtänkt strategi för användande och eventuell uteslutning av alternativa konceptuella modeller, vilken också belyser behovet av mätdata för de olika modellerna.

#### **4.3.8 Val av data**

Myndigheterna bedömer att den s.k. Datarapporten (där SKB:s val av data till kapseldefektscenariot motiveras) generellt innehåller en bra diskussion om det vetenskapliga underlaget för val av värden på olika parametrar. Myndigheterna anser dock att SKB bör använda sig av mera väldefinierade och kvalitetssäkrade procedurer för val av data, eftersom det i SR 97 oftast inte framkommer hur bedömningarna genomförts samt vilka experter som varit inblandade (se vidare avsnitt 4.3.11). Myndigheterna vill också uppmana SKB att inför kommande redovisningar komplettera Datarapporten med data som erfordras för analyser i andra scenarier än kapseldefektscenariot.

De parametrar som diskuteras i Datarapporten speglar uteslutande databehovet till de ofta förenklade modellerna som använts för beräkningar av radionuklidtransport. Wörman och Xu (SKI, 2000c) påpekar att osäkerheter i dessa modeller inte diskuterats tillräckligt och att det är oklart hur dessa osäkerheter kan påverka behovet av data från platsundersökningar. Wörman och Xu understryker därför att identifieringen av viktiga parametrar också måste utgå från mer grundläggande processmodeller och beskrivningar av relevanta transportprocesser. Geier (SKI, 2000c) anser att SKB bättre bör diskutera möjligheterna att få fram relevanta data i samband med valet av huvudmodell (HYDRASTAR) för modellering av grundvattenströmning och transportvägar.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) har liksom flera av SKI:s konsulter givit synpunkter på SKB:s metod för val av data till riskberäkningarna. Wilmot och Crawford (SKI, 2000c) anser att användningen av (bimodala) fördelningar med ett rimligt och ett pessimistiskt värde inte är fel i sig, men att sannolikheterna 0,9 och 0,1 förefaller vara godtyckligt valda. Den internationella expertgruppen och Pereira (SKI, 2000b) anser, i motsats till SKB, att brister i dataunderlaget för vissa parameter inte kan tas som ett motiv för att begränsa de analyserade parameterintervallen på det sätt som gjorts i SR 97.

Myndigheterna anser att SKB bör vidareutveckla sin metod för val av data till riskberäkningarna, bl.a. därför att SKB inte visat att de bimodala fördelningarna, med en sannolikhet på 0,9 och 0,1 för rimliga respektive pessimistiska värden, är ett försiktigt val. Myndigheterna håller också med de externa granskarna om att det finns ett mått av godtycklighet i SKB:s sätt att representera en parameter och dess tillhörande osäkerhet

med de bimodala fördelningarna, vilket gör att analysen kan bli svårbedömd och ha en oklar statistisk innebörd.

#### **4.3.9 Mått på förvarets skyddsförmåga**

##### ***Hälsoskydd***

SKB har använt begreppen dos och risk korrekt såsom de definieras i SSI:s föreskrifter (kapitel 2). SKB har angivit att då den högsta dosen drabbar ett litet område har man använt den årliga risken  $10^{-5}$  som kriterium för måluppfyllelse. Detta angreppssätt finns inte nämnt i föreskrifterna men väl i kommentarerna som säger: ”Om sökanden önskar göra beräkningar för en individ som bedöms vara högt belastad, kan det vara acceptabelt att utföra beräkningarna för en individ som representerar den högre nivån inom intervallet, i stället för en individ som är representativ för hela gruppens belastning.” (SSI, 1999). SSI använder uttrycket ”kan vara acceptabelt” eftersom SSI vill ställa krav på en redovisning av testpersonens representativitet.

Myndigheterna anser att SKB bör förbereda sig för att särskilt motivera förhållandet mellan den högst belastade individen eller gruppen och belastningen för andra större grupper. En sådan redovisning bör innehålla ett antal alternativ och som analyseras med hänsyn till dosfördelningen över en större grupp. För fall med en mera jämt exponerad större grupp som kan förekomma vid utsläpp till sjöar, gör SKB korrekt en jämförelse med den föreskrivna gränsen,  $10^{-6}$  för årlig risk.

##### ***Miljöskydd***

Med miljöskydd avses i detta sammanhang skydd mot biologiska effekter av joniserande strålning på andra organismer än människa och på ekologiska system (se kapitel 2). Den internationella expertgruppen konstaterar att dessa frågor inte behandlas i SR 97, och att SKB hänvisar till ett icke underbyggt antagande om att strålnings-effekterna på berörda livsmiljöer är försumbara om utsläppen från förvaret är lägre än bakgrundsstrålningen. Experterna har dock under granskningsarbetet erfarit att SKB har påbörjat ett utvecklingsarbete inom området och rekommenderar att frågan diskuteras vidare i en dialog mellan myndigheterna och industrin. Den internationella expertgruppens slutsats är att bristerna kring hanteringen av miljöskyddet inte påverkar de övergripande slutsatserna om KBS-3-metodens säkerhet som presenteras i SR 97.

Myndigheterna anser att den redovisning av miljökonsekvenser som ges i SR 97 långt ifrån motsvarar myndigheternas krav. SKB måste prioritera detta arbete för att, i samband med en framtida ansökan om uppförande av en kärnteknisk anläggning, kunna göra en redovisning som uppfyller myndigheternas krav. Myndigheterna konstaterar att SKB i sin förnyade säkerhetsredovisning för SFR planerar att genomföra en ekosystem-baserad analys, med en helt annan utvecklingspotential än vad som har visats i SR 97 (SKB, 1998). Myndigheterna anser att SKB bör utveckla denna metodik och använda den för en bedömning av KBS-3-metodens långsiktiga skydd för miljön.

### ***Alternativa mått på förvarets funktion***

För det rimliga fallet i kapseldefektscenariot redovisar SKB massflöden (Bq/år) från när- och fjärrzon. I övrigt diskuteras inte alternativa säkerhetsindikatorer till dos. Detta är inte i överensstämmelse med SKI:s nuvarande rekommendationer när det gäller långa tider (längre än 1000 år). Resultaten av beräkningarna bör om möjligt illustreras med hjälp av flera säkerhetsindikatorer för att ge en allsidig bild av de risker som är förknippade med slutförvaret.

När ett hypotetiskt utflöde från förvaret analyseras kan konsekvenserna beskrivas så att de följer beräkningsresultaten i flera steg:

- Utflöde från de tekniska barriärerna i förvaret, dvs. ett mått på mängden radioaktiva ämnen som penetrerar de olika tekniska barriärerna. Dessa indikatorer ger ett mått på barriärernas funktion.
- Indikatorer som anger mellanresultat i form av utflöden till biosfären.
- Koncentrationer av radioaktiva ämnen i biosfären.
- Konsekvenser för hälsa och miljö.

Alla beräkningsresultat ovan kan användas som säkerhetsindikatorer som kan tjäna olika syften. Dos- och riskberäkningar tjänar ett viktigt syfte i att visa att säkerhets- och strålskyddskrav kan uppfyllas. Ett annat syfte kan vara att belysa skillnader mellan olika platser och de olika barriärernas relativa betydelse. Enligt myndigheternas uppfattning är alternativa indikatorer såsom utflöde av radioaktiva ämnen till biosfären bättre lämpade för detta syfte.

Alternativa säkerhetsindikatorer, t.ex. utflöden av radioaktiva ämnen från kapsel och buffert, ger också viktig information för att kunna härleda funktionskrav på de tekniska barriärerna och berget. Detta är speciellt viktigt för den situation som råder vid denna tidpunkt då alla komponenter av slutförvaret ännu inte är fastställda eller färdigutvecklade.

### **4.3.10 Riskanalys och beräkningar**

#### ***Genomförda osäkerhets- och känslighetsberäkningar***

SKB presenterar för kapseldefektscenariot en uppsättning beräkningsfall som har förutsättningar att på ett allsidigt sätt illustrera olika aspekter av slutförvarets funktion. Beräkningsfallen för kapseldefektscenariot ger också en tillräckligt bra täckning av de synpunkter som framförs i SKI:s förslag till allmänna råd (kapitel 2). De beräkningar som redovisas för de övriga scenarierna är mer av överslagskaraktär, och tjänar främst till att illustrera dessa scenariers mindre betydelse ur konsekvenssynpunkt. Myndigheterna anser att SKB behöver utveckla analyserna för alla scenarier så att de blir lika omfattande som de för kapseldefektscenariot. Detta har även framförts av den internationella granskningsgruppen (SKI, 2000a), Voss resp. Tsang (SKI, 2000c) samt Pereira (SKI, 2000b).

Den osäkerhets- och känslighetsanalys som SKB genomför för kapseldefektscenariot ger en värdefull insikt om hur förvarssystemet kan påverkas av olika faktorer. Myndigheterna anser dock att analyserna behöver kompletteras för att belysa betydelsen av de

potentiellt ogynnsamma processer (FEP) som uteslutits ur riskanalysen i SR 97, t.ex. alternativa antaganden om initiala defekter i kapsel, skador på bufferten, oxiderande förhållanden m.m. (se vidare bilaga 1, avsnitt 1.4.1). Myndigheterna anser dessutom att SKB bör utveckla en mer systematisk känslighetsanalys, bl.a. för att kunna identifiera parametrar som är av särskild vikt och som behöver inkluderas i de probabilistiska beräkningarna. En genomgång av parametrarnas inverkan på konsekvens, i termer av linjära och icke-linjära samband, kan också behövas för detta ändamål.

SKB:s ansats att enbart variera en parameter eller parametergrupp åt gången innebär enligt myndigheternas uppfattning en begränsning av osäkerhetsanalyserna i SR 97. De flerparametervariationer som genomförs analytiskt för geosfärens retardation skulle kunna utvecklas att omfatta den fullständiga beräkningskedjan. För att klargöra det valda parameterintervallets betydelse borde SKB dessutom genomföra en känslighetsanalys som separerar effekterna av modellens känslighet och parameterintervallets storlek. Myndigheternas synpunkter på osäkerhets- och känslighetsanalyserna kommenteras ytterligare i bilaga 2, kapitel 2.

### ***Riskberäkningar***

På grund av de svårigheter som är förknippade med att på ett systematiskt och stringent sätt kunna beräkna den långsiktiga radiologiska risken från ett slutförvar, samt de osäkerheter som slutförvaret och den omgivande miljön är förknippade med, är det inte tillfredsställande att enbart presentera den framräknade risken. Sökanden måste även redovisa de beräkningar som genomförts på ett tillräckligt transparent sätt. Den metod SKB tillämpar för riskanalysen i SR 97 presenteras inte i rapporterna. Det är dock möjligt att i delar härleda SKB:s metod från kapitel 4, 7, 9 och 13 i SR 97.

De riskberäkningar som SKB genomför för kapseldefektscenariot presenteras i form av kumulativa dosfördelningsdiagram (cdf-diagram). Dessa ger information om dosfördelningen från den Monte-Carlo analys som SKB gjort för scenariot genom att slumpmässigt variera ett antal parametervärden. För varje beräkning som genomförts har den högst erhållna dosen avsatts i cdf-diagrammen. Myndigheterna bedömer att SKB:s angreppssätt är försiktigt då alla doser antas belasta samma grupp av människor oavsett *var* och *när* utsläppet inträffar. Myndigheterna anser dock att SKB i framtiden bör presentera beräkningarna på ett sådant sätt att det också framgår hur de beräknade doserna är fördelade i tiden och hur doserna är fördelade mellan olika exponeringsvägar.

Den probabilistiska analys som SKB gör för kapseldefektscenariot är en bra första ansats, men vissa delar behöver förbättras i framtida säkerhetsanalyser. SKB har inte tagit hänsyn till parameterkorrelationer, med undantag för närområdesflöde och gångtider. SKB medger i SR 97 att så är fallet, men menar att detta är en konservativ ansats. Myndigheterna anser att denna fråga förtjänar ytterligare utredning, eftersom det inte kan uteslutas att det kan finnas kombinationer av ogynnsamma förhållanden som kan leda till en försämrad funktion hos förvaret, vilket bland annat poängterats i SKI:s säkerhetsanalys SITE-94 (SKI, 1996b).

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a), Wilmot och Crawford (SKI, 2000c) och Pereira (SKI, 2000b) ifrågasätter SKB:s slutsats att formen på de beräknade dos-

fördelningarna ger en indikation på slutförvarets robusthet, bl.a. med hänvisning till SKB:s sätt att representera dataosäkerheter med rimliga och pessimistiska värden. SKB framhåller i sitt yttrande daterat 2000-07-07 (SKI, 2000b) angående remissvaren till SR 97 att formen hos de antagna datafördelningarna (bimodal fördelning) är av mindre betydelse så länge medelvärde och varians inte ändras. SKB anger också att man avser att bekräfta detta med ytterligare analyser efter granskningen av SR 97.

Myndigheterna håller med konsulterna om att det finns oklarheter i SKB:s sätt att representera osäkerheter i indata, och att det inte kan anses vara klarlagt, på det sätt som SKB anför, att den radiologiska risken överskattas genom det valda angreppssättet. Myndigheterna förutsätter att SKB ser över representationen av osäkerheter i data i samband med den planerade utvärderingen av metoden för probabilistiska riskberäkningar.

Riskberäkningarna är direkt kopplade till valet av beräkningsfall och scenarier. Vid den slutliga utvärderingen av risk behöver riskbidraget från de olika beräkningsfallen adderas. Vid denna addering behöver hänsyn tas till sannolikheterna för de olika riskbidragen. Dessa sannolikheter bör i princip vara normerade. Myndigheterna bedömer att sammanvägningen av riskbidrag från de valda scenarierna i SR 97 har gjorts på ett konservativt sätt. SKB:s resonemang bygger dock på att ett enda scenario, kapseldefektscenariot, beräknas dominera de förväntade framtida doserna. Myndigheterna anser att SKB inför kommande analyser bör utveckla en mer allmängiltig metod för den totala riskbedömningen, som kan hantera en situation med signifikanta riskbidrag från mer än ett scenario.

#### **4.3.11 Dokumentation av expertbedömningar**

En säkerhetsanalys av ett slutförvar för använt kärnbränsle kommer alltid att vara behäftad med osäkerheter och brister i kunskapsunderlaget som måste tas om hand genom olika typer av expertbedömningar. I detta sammanhang menas med expertbedömningar val, baserade på tillgänglig kunskap, av modeller, data och andra förutsättningar för säkerhetsanalysen. En viktig förutsättning för att myndigheterna skall kunna bedöma trovärdigheten av säkerhetsanalysen är att alla expertbedömningar är väldokumenterade, har genomförts på ett spårbart sätt och att de bygger på etablerat vetenskapligt underlag.

Myndigheterna konstaterar att SKB med SR 97 har gjort väsentliga framsteg vad gäller redovisningen av förutsättningarna för säkerhetsanalysen i och med den systematiska genomgången av processer och indata till konsekvensberäkningarna i Process- och Datarapporterna. Enligt myndigheternas uppfattning skulle dock SKB vinna på att använda sig av mer väldefinierade och kvalitetssäkrade procedurer framförallt för dokumentation, men även för genomförande, av expertbedömningar, för att på så sätt öka spårbarheten och underlätta granskningsarbetet.

Myndigheterna anser, i likhet med den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) och flera av SKI:s konsulter (SKI, 2000c), att det finns brister i SR 97 vad gäller redovisningen av vilka kriterier som använts vid olika typer av bedömningar, vem eller vilka som är ansvariga för bedömningarna och på vilket sätt bedömningarna har gjorts. Exempel på områden där SKB bör förstärka dokumentationen av expertbedömningar är:

- val av scenarier
- urval av FEP som inkluderats respektive uteslutits i säkerhetsanalysen, t.ex. förekomst av syresatta förhållanden på förvarsdjup och kolloidal transport av radionuklider
- val av modeller och andra beräkningsförutsättningar, t.ex. antaganden om (initiala) defekter i kapsel och buffert och modeller för korrosion av initialt defekta kapslar
- val av svårbestämda parametervärden i Datarapporten, t.ex. flödesvätt yta och fördelningskoefficienter.

I de fall där kunskapsunderlaget för viktiga bedömningar är bristfälligt, bör SKB överväga någon form av fristående expertgranskning (peer review). En annan möjlighet är att arrangera formella expertutfrågningar (expert elicitation) som föreslagits av Wilmot och Crawford resp. Tsang. Den internationella expertgranskning som genomförts för SR 97 är ett exempel på en fristående granskning, men den kan av naturliga skäl inte gå på djupet i alla delar av den omfattande säkerhetsredovisningen. Myndigheterna anser att SKB inför kommande tillståndsansökningar i större utsträckning bör pröva kvaliteten och fullständigheten hos de viktigaste underlagen och antagandena redan innan säkerhetsanalysen färdigställs.

#### **4.3.12 Underlag för härledning av krav på platsundersökningsprogram och funktionskrav på tekniska barriärer**

##### ***Återkoppling till platsval och platsundersökningar***

Ett syfte med SR 97 är att ge underlag för att precisera de faktorer som ligger till grund för val av områden för platsundersökningar och för att härleda vilka parametrar som behöver bestämmas i en platsundersökning. I slutsatskapitlet anger SKB att resultaten av SR 97 använts i arbetet med att formulera krav och önskemål på berget – ett arbete som genomförts parallellt med SR 97. SKB anger också att man använt SR 97 för att definiera önskemål på värdeområden för olika geovetenskapliga parametrar. I övrigt förs inte någon djupare diskussion om vad resultaten av säkerhetsanalysen betyder för platsundersökningsprogrammet.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) anser inte att SR 97 uppfyller syftet att ge underlag för optimering av platsundersökningsprogram och förvarsutformning. Som skäl anger man att osäkerhets- och känslighetsanalyserna är alltför begränsade och inriktade på att visa att kraven på säkerhet och strålskydd kan uppfyllas. Man menar vidare att användningen av förenklade modeller och pessimistiska antaganden har medfört att betydelsen av skillnaderna i platsernas egenskaper och framtida utveckling inte har kunnat belysas på ett bra sätt. Experterna konstaterar samtidigt att SKB har tillräckliga erfarenheter från platsundersökningar vid bl.a. Äspö som kan användas vid utvecklingen av platsundersökningsprogram.

Voss (SKI, 2000c) och Kasam (SKI, 2000b) framför liknande synpunkter och menar att SKB inte tillräckligt väl lyfter fram den säkerhetsmässiga betydelsen av de plats-specifika skillnader som faktiskt konstaterats i SR 97. Voss anser också att antagandena om närområdets funktion (felfri bentonitbuffert och antaganden om kapseldefekter) är optimistiska och innebär att bergets säkerhetsmässiga betydelse för transport av radio-

nuklider inte har kunnat testas på ett meningsfullt sätt. SR 97 ger därför inte tillräcklig information om vad som är viktigt att mäta i en platsundersökning.

Myndigheterna bedömer, liksom den internationella expertgruppen, att SKB har omfattande erfarenheter från platsundersökningar vid bl.a. Äspö som kan användas vid utvecklingen av platsundersökningsprogram. Myndigheterna bedömer också att SR 97 har givit ett värdefullt underlag för SKB:s fortsatta arbete med platsval och platsundersökningar. Myndigheterna instämmer dock i stora drag i kritiken från den internationella expertgruppen och SKI:s konsulter, och upprepar därför SKI:s uppmaning från tidigare granskningar av SKB:s FUD-program att SKB bör vidareutveckla säkerhetsanalysen och fortsätta arbetet med de utvärderingar som krävs för att åstadkomma en tydligare återkoppling till arbetet med platsundersökningar och förvarsutformning.

SKB konstaterar, baserat på de resultat som presenteras i kapseldefektscenariot, att tänkta slutförvar vid alla tre platserna (A-, Be- och Ceberg ) har goda förutsättningar att uppfylla SSI:s strålskyddskriterier. Riskberäkningarna visar dock på betydande plats-specifika skillnader, med mindre marginaler för Aberg än för Be- och Ceberg. Som framförts av konsulterna ovan, skulle dessa skillnader dessutom kunnat bli betydligt större med andra (mer pessimistiska) antaganden om närområdets funktion. Myndigheterna anser därför att plats-specifika skillnader i de geologiska förhållandena ändå måste tillmätas stor betydelse vid val av platser för slutförvar.

Utvecklingen av platsundersökningsprogram och precisering av platsvalsfaktorer görs av SKB i separata projekt. Enligt myndigheternas uppfattning är det angeläget att SKB inför start av platsundersökningar tydligt redovisar hur bl.a. erfarenheterna från SR 97, inklusive de synpunkter som framförts i denna granskning, har tagits om hand i detta arbete. Myndigheterna avser att återkomma till bedömningen av SKB:s program för platsundersökningar bl.a. i samband med granskningen av FUD-98-kompletteringen och FUD-01.

#### ***Återkoppling till utvecklingsarbetet med de tekniska barriärerna***

SKB anger i SR 97 att resultaten från säkerhetsanalysen kommer att användas som ett underlag för en översyn av de funktionskrav och konstruktionsförutsättningar som bestämmer utformningen av kapseln och de övriga tekniska barriärerna. SKB framhåller dock att det endast är i få fall som funktionskrav kan härledas direkt ur analysresultaten.

Myndigheterna har förståelse för denna invändning, men anser att den delvis är ett resultat av de begränsade känslighets- och osäkerhetsanalyserna i SR 97. Utifrån mer systematiska analyser av hur olika typer av initiala defekter på kapsel och buffert kommer att utvecklas i slutförvaret bör det vara möjligt att bättre konkretisera både konstruktionskrav på de tekniska barriärerna och krav på kontrollmetoder för tillverkning, förslutning och hantering. Myndigheterna anser att det är av stor vikt att SKB i sitt fortsatta arbete bättre redovisar hur funktions- och säkerhetsanalyser används för denna återkoppling till utvecklingsarbetet med de tekniska barriärerna.





## 5 SKI:s och SSI:s sammanfattande bedömningar

### 5.1 Inledning

Detta kapitel sammanfattar myndigheternas bedömningar av de tekniska förutsättningarna för säkerhetsanalysen (avsnitt 5.2) och hur SR 97 uppfyller syftena att:

- Demonstrera metodik för säkerhetsanalys, bl.a. systembeskrivning, val av scenarier och beräkningsfall, hantering av osäkerheter, mått på slutförvarets skyddsförmåga, metod för riskanalyser, struktur och presentation (avsnitt 5.3).
- Göra troligt att KBS-3 har goda förutsättningar att uppfylla kraven på långsiktig säkerhet och strålskydd och visa på möjligheten att finna en plats i Sverige som uppfyller kraven (avsnitt 5.4).
- Ge underlag till platsval och utvecklingsarbetet med program för platsundersökningar och de tekniska barriärerna (avsnitt 5.5).

Myndigheternas grunder för bedömning av i vilken utsträckning dessa syften är uppfyllda redovisas närmare i avsnitt 2.4. Det framgår där att metodik, tekniskt underlag och konsekvensanalys behöver beaktas vid bedömningen av säkerhet och strålskydd. Konsekvensanalysen behandlas här tillsammans med metodikfrågan i avsnitt 5.3. Såsom förklarats i kapitel 2 är det inte rimligt att i detta skede strikt tillämpa myndigheternas föreskrifter vid en bedömning av de redovisade metoderna för säkerhetsanalys och vid bedömningen av uppfyllelse av de övergripande kraven på säkerhet- och strålskydd. Däremot har myndigheterna utrett om det mot bakgrund av redovisningen i SR 97 kan finnas någon olöst fråga är så allvarlig att den skulle omöjliggöra byggandet av slutförvar enligt KBS-3-metoden som uppfyller kraven, vilket bl.a. framgår av avsnitt 5.4.

Det bör betonas att i det nuvarande skedet av SKB:s arbete med att utveckla KBS-3-systemet, måste vissa delar av en säkerhetsanalys bygga på antaganden utgående från dagens kunskaper. Detta gäller främst driften av slutförvaret inklusive tillverkningen av barriärer. Dessutom saknas ännu data från platsundersökningar på kandidatplatser för ett slutförvar. Ett omfattande arbete bedrivs för närvarande av SKB för utveckling av de tekniska barriärerna och slutförvarsteknik. Granskningen av detta utvecklingsarbete ingår inte i myndigheternas granskning av SR 97, utan sker huvudsakligen i samband med granskningen av SKB:s återkommande redovisningar av programmet för Forskning, Utveckling och Demonstration (FUD-program).

I den kommande myndighetsgranskningen av SKB:s program (bl.a. kompletteringen av FUD-program 98) kan myndigheterna, i enlighet med kärntekniklagen, lämna förslag till regeringskrav som gäller för SKB:s fortsatta arbete. Dessa förslag kommer att bygga på granskningen av SR 97 och de ytterligare redovisningar som begärts av regeringen, bl.a. en kompletterande analys av alternativ till KBS-3-metoden, en samlad utvärdering av förstudier och övrigt underlag för platsval samt ett program för platsundersökningar. Granskningen av SR 97 bör ses i detta större sammanhang. I den föreliggande granskningsrapporten ges följaktligen inga förslag till formella krav på SKB.

## 5.2 Underlag och tekniska förutsättningar för säkerhetsanalysen

Antaganden om initialtillstånden i de tekniska barriärerna är viktiga utgångspunkter för analyserna i SR 97. SKB utgår i praktiken från ett antagande att en av kapslarna deponeras med initial skada medan övriga kapslar antas vara hela vid deponeringen. Vidare antas i SR 97 att bufferten har applicerats utan fel och att bufferten kring samtliga kapslar utvecklas på ett likartat sätt. Frågor om den långsiktiga utvecklingen av återfyllnad och pluggar belyses inte i SR 97.

Med hänsyn till att kunskapen om de tekniska barriärerna idag är ofullständig och att det finns ett behov av att ge återkoppling till utvecklingsarbetet med de tekniska barriärerna, anser myndigheterna att alternativa typer av kapselskador och skadefrekvenser borde ha utvärderas på ett mer fullständigt sätt i SR 97. Av samma skäl anser myndigheterna att SKB i framtida analyser bör utvärdera betydelsen av möjliga felfunktioner i buffert, återfyllnad och pluggar, inte minst med tanke på termiska effekter under återmättnad av bufferten.

SKB har i SR 97 använt data från tre tidigare undersökta platser: Äspö (Aberg), Finnsjön (Beberg) och Gideå (Ceberg). Platsdata är av varierande omfattning och kvalitet för de olika platserna men myndigheterna bedömer att dataunderlaget har en rimlig omfattning i förhållande till syftena med SR 97, och att det ger en rimlig täckning av de förhållanden som kan förväntas i de områden som är aktuella för SKB:s planerade platsundersökningar. Modelleringen av biosfären utgår från de befintliga ekosystemen vid de tre platserna.

## 5.3 Demonstrera metodik för säkerhetsanalys

Myndigheterna anser att SKB med SR 97 visat att man har tillgång till ett kvalificerat vetenskapligt underlag och de verktyg och metoder som behövs för att utvärdera den långsiktiga säkerheten av ett slutförvar för använt kärnbränsle. Metodiken för säkerhetsanalys i SR 97 har i flera avseenden utvecklats i förhållande till tidigare presenterade säkerhetsanalyser, exempelvis har SKB i och med SR 97 tagit ett första steg mot att anpassa sina säkerhetsredovisningar mot de krav som ställs i myndigheternas föreskrifter, bl.a. presentation av förvarets skyddsförmåga i form av risk. Metodiken i SR 97 uppfyller också kvalitativt de krav på omfattning och innehåll som framgår av SKI:s förslag till föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring (se kapitel 2), och utgör därmed en bra plattform för SKB:s fortsatta utvecklingsarbete med säkerhetsanalyser.

Myndigheterna konstaterar samtidigt i sin granskning att vissa delar av den presenterade metodiken i SR 97 behöver vidareutvecklas och konkretiseras inför kommande tillståndsansökningar, vilket redovisas nedan. Viktiga delar av den kritik som framförs i denna granskning har påtalats redan tidigare, bl.a. i samband med SKI:s granskning av SKB:s säkerhetsanalys SKB 91 (SKI, 1992). Myndigheterna bedömer också att vissa av de påtalade bristerna hade kunnat undvikas om SKB vid utformningen av SR 97 i större utsträckning tagit hänsyn till de utgångspunkter för säkerhetsanalysen som SKB själva angivit i SR 95 (SKB, 1995). Detta gäller exempelvis diskussionerna om fullständighet

vid val av scenarier, validering av modeller och utvärdering av beräkningsresultat med hänsyn till olika typer av osäkerheter.

### ***Struktur och presentation***

Myndigheterna anser att SR 97 överlag är välskrivna och väldisponerade. SR 97 innehåller de delar som enligt SKI:s förslag till föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av kärnavfall skall ingå i en säkerhetsredovisning. Den huvudsakliga kritiken vad gäller presentationen i SR 97 berör brister i spårbarhet och transparens i olika typer av bedömningar och brister i dokumentationen av delar av metodiken för säkerhetsanalys, t.ex. val av scenarier och riskanalys. Vidare är beskrivningen av biosfärprocesser och biosfärmodeller otillräckligt redovisade i huvud- och bakgrundsrapporterna till SR 97. Materialet måste i allt väsentligt hämtas från underreferenser. Myndigheterna bedömer dock att dessa frågor kan tas om hand i SKB:s fortlöpande arbete med att utveckla en grundstruktur för säkerhetsredovisningar.

### ***Inriktningen på säkerhetsanalysen***

SKB anger att man i SR 97 lagt större fokus på analyser av slutförvarets isolerande funktioner jämfört med tidigare säkerhetsanalyser. Myndigheterna anser att detta borde ha föranlett en mer ingående analys av de osäkerheter som är förknippade med de tekniska barriärerna och deras utveckling i slutförvaret, t.ex. vad gäller antaganden om defekter och felfunktioner i kapsel och buffert samt långsiktiga kemiska förändringar hos bufferten. En sådan utvärdering av osäkerheter är värdefull, både för att kunna analysera bergets barriärfunktioner och för att kunna ta fram funktionskrav för de tekniska barriärerna. Dessa synpunkter har tidigare framförts bl.a. i SKI:s granskning av SKB:s säkerhetsanalys SKB 91 (SKI, 1992).

### ***Systembeskrivning***

Myndigheterna bedömer att de nyutvecklade THMC-diagrammen är ett bra komplement till tidigare utvecklade metoder för systembeskrivning och visualisering av processerna i slutförvaret. SKB bör dock utveckla metoden för att på ett bättre sätt kunna inkludera tidsberoende effekter och strukturella förändringar. SKB bör även fortsätta arbetet med att utveckla en systematisk beskrivning av processerna i biosfären.

SR 97 innehåller en systematisk genomgång av de processer och data som används i konsekvensanalysen för kapseldefektscenariot. Dokumentationen är ett stort framsteg, men SKB bör utveckla metodiken ytterligare främst med tanke på underbyggandet av motiv för att utesluta potentiellt ogynnsamma processer från konsekvensanalysen. Alternativt bör dessa processer inkluderas i beräkningarna så att riskbidragen kan utvärderas. Kolloidal transport av radionuklider och mikrobers påverkan på korrosion av kapseln är två exempel på sådana processer som identifierats i denna granskning.

### ***Scenarier***

Myndigheterna anser att de scenarier som utvärderats i SR 97 ger en acceptabel täckning av de inre och yttre störningar som kan tänkas påverka slutförvarets skyddsförmåga. Vid det fortsatta arbetet med scenarier behöver dock SKB tillgodose att dessa ger en bra utgångspunkt för, och är logiskt kopplade till, både systembeskrivningen och riskberäkningarna. En brist i SR 97 är att kopplingar mellan olika störningar inte är tillräckligt analyserade. Till exempel har SKB inte tillräckligt belyst vilken påverkan fram-

tida klimatförändringar kan ha på de tekniska barriärerna, på transport av radionuklider samt hur frekvens och magnitud på jordskalv kan påverka slutförvarets skyddsförmåga. Myndigheterna anser att SKB bör överväga att analysera mer heltäckande scenarier som på ett mer integrerat sätt hanterar händelser och processer som kan påverka förvarets säkerhet. SKB bör också genomföra en mer omfattande analys av scenarioosäkerheter, t.ex. alternativa klimatutvecklingar och alternativa defekter i de tekniska barriärerna.

### ***Data och modeller***

Myndigheterna bedömer att SKB inför genomförandet av SR 97 har tagit fram en allsidig uppsättning av modeller och data för säkerhetsanalysens behov. Dokumentation och motivering av modeller behöver dock förbättras i kommande säkerhetsanalyser. Utvärderingen av alternativa hydrogeologimodeller i SR 97 är ett värdefullt initiativ för att förstå modellbegränsningar och konceptuella osäkerheter. Ett liknande angreppssätt borde övervägas även för andra delar av modellkedjan, som t.ex. utvecklingen av närområdet och radionuklidtransport.

Det är positivt att SKB söker skaffa kunskap om de komplicerade processer som påverkar utvecklingen av defekta kapslar i slutförvaret. Myndigheterna anser dock att de modeller som använts i SR 97 behöver utvärderas och underbyggas bättre inför framtida analyser. Korrosionsanalysen för hela kapslar behöver valideras bättre mot experiment och andra korrosionsmodeller. Dessutom bör SKB i korrosionsanalysen ta hänsyn till svetsfogen på kapslarna.

Vad det gäller val av data konstaterar myndigheterna att framtagandet av Datarapporten är ett lovvärt initiativ, även om data som används i andra sammanhang än konsekvensanalysen för kapseldefektscenariot borde kunna ha dokumenterats på motsvarande sätt.

SKB har i SR 97 tagit ett första steg mot en mer strukturerad modellering av biosfären genom att analysera ett antal exponeringsvägar i olika ekosystem för de hypotetiska förvarsplatserna, A-, Be- och Ceberg. Myndigheterna anser dock att SKB bör förbättra kunskapen om hur radionuklider överförs från geosfären till biosfären och utveckla utvärderingen miljöskydd för att leva upp till de krav som ställs av myndigheterna. SKB bör också beakta att flera exponeringsvägar kan ge upphov till stråldoser samtidigt. Till exempel behöver exponering via dricksvattenkonsumtion belysas tillsammans med andra möjliga exponeringsvägar.

### ***Mått på förvarets skyddsförmåga***

Myndigheterna konstaterar att SKB på ett korrekt sätt tolkat SSI:s hälsoskydds krav i föreskrifterna SSI FS 1998:1 (SSI, 1999), som innebär att riskgränsen för större populationer är  $10^{-6}$  per år. SKB har utnyttjat möjligheten att jämföra den högst belastade individen eller gruppen med risknivån  $10^{-5}$  per år. Myndigheterna anser att SKB mera utförligt bör motivera valet av den högst belastade individen eller gruppen, eftersom det inte är klart hur denna individ förhåller sig till en större population.

Bedömningen av miljöskyddet är bristfälligt analyserat i SR 97. Myndigheterna är dock medvetna om att SKB aktivt arbetar med frågan. Det finns en stark förväntning på SKB att ta ytterligare initiativ inom området, vilket också avspeglas i SSI:s föreskrifter (SSI, 1999).

SKB anger att man inte tillgodoräknar sig utspädning och spridning i biosfären som en säkerhetsfunktion, bl.a. med hänvisning till svårigheterna att förutsäga biosfärens framtida utveckling. Samtidigt framstår just utspädning i biosfären som en avgörande faktor vid bedömningen av konsekvenserna av klimatscenariot. Myndigheterna anser att SKB efter samråd med myndigheterna bör precisera biosfärens roll inför framtida säkerhetsanalyser.

SKB har endast i begränsad utsträckning använt sig av alternativa mått på förvarets skyddsförmåga. Myndigheterna anser att alternativa säkerhetsindikatorer, som flödet av radionuklider från geosfär till biosfär och koncentrationer av radionuklider i miljön, är viktiga komplement till dos och risk och kan användas för att få fram platsskiljande information. Det hade varit värdefullt med en diskussion om resultaten för Aberg med hänsyn till alternativa säkerhetsindikatorer.

### ***Risکانalyser och beräkningar***

Myndigheterna bedömer att SKB i kapseldefekts scenariot har tagit fram en uppsättning av beräkningsfall som på ett rimligt sätt beskriver hur förvarets olika barriärfunktioner samverkar samt illustrerar möjliga konsekvenser av läckage från en defekt kapsel. Osäkerhets- och känslighetsanalyserna bör dock kunna utvecklas betydligt, t.ex. genom att innefatta variationer av fler än en parameter eller parametergrupp åt gången samt hypotetiska beräkningsexempel som testar individuella barriärfunktioner hårdare.

Enligt myndigheternas uppfattning utgör riskberäkningarna i SR 97 ett första steg i anpassningen till användandet att ett riskkriterium. SKB bör dock ta fram en mindre godtycklig metod för att representera sannolikheter för de många parametrarna som ingår i riskanalysen. Korrelationer mellan olika parametrar i riskanalysen bör även studeras mera detaljerat, eftersom dessa skulle kunna ha stor påverkan på slutresultatet. Myndigheterna saknar också den särskilda redovisning av slutförvarets skyddsförmåga för det korta tidsperspektivet (0 – 1000 år efter förslutning) som anges i SSI:s föreskrifter för slutligt omhändertagande.

### ***Expertbedömningar***

Myndigheterna anser att SR 97 innehåller en förtjänstfull genomgång och beskrivning av de processer som kan påverka slutförvarets funktion och av de data som använts för beräkningarna av radionuklidtransport i kapseldefekts scenariot. Inför framtida säkerhetsredovisningar som skall ligga till grund för tillståndsansökningar bör SKB dock utveckla mer väldefinierade och kvalitetssäkrade procedurer för dokumentation och genomförande av de expertbedömningar som ligger till grund för val av modeller, data och andra viktiga förutsättningar i säkerhetsanalysen. Myndigheterna vill också uppmana SKB att i större utsträckning låta utomstående experter granska de viktigaste underlagen och antagandena innan säkerhetsanalysen färdigställs.

## **5.4 Uppfyllelse av säkerhets- och strålskydds krav**

Ett övergripande syfte med SR 97 är att göra troligt att KBS-3 har goda förutsättningar att uppfylla kraven på långsiktig säkerhet och strålskydd och visa på möjligheten att finna en plats i Sverige som uppfyller kraven. SKB framför i SR 97 att ”ett säkert

djupförvar för använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden kan byggas vid en plats där förhållandena liknar dem vid såväl Aberg, Beberg som Ceberg”.

Myndigheterna har i granskningen av SR 97 inte funnit några hinder mot att geologisk slutförvaring enligt KBS-3-metoden skulle kunna uppfylla erforderliga säkerhets- och strålskyddskrav. Efter granskningen av SR 97 och tidigare granskning av SKB:s FUD-program, anser myndigheterna att KBS-3-metoden är en god grund för SKB:s kommande platsundersökningar och den fortsatta utvecklingen av de tekniska barriärerna. En utförligare bedömning av KBS-3-metodens förutsättningar att uppfylla kraven kan dock bli aktuell först då ett detaljerat dataunderlag från platsundersökningar tagits fram samt då det finns mer omfattande praktiska erfarenheter rörande tillverkning och provning av de tekniska barriärerna. Det är dessutom en förutsättning att SKB kompletterar och vidareutvecklar sina metoder för säkerhetsanalys, bl.a. med hänsyn till granskningen av SR 97.

## **5.5 SR 97 som underlag för platsundersökningar och funktionskrav**

SR 97 skall också ge underlag för att härleda vad som behöver mätas i en platsundersökning och för att precisera de faktorer som ligger till grund för valet av områden för platsundersökningar. Vidare skall SR 97 ge underlag för att härleda preliminära funktionskrav på de tekniska barriärerna.

Myndigheterna bedömer att SR 97 givit SKB ett underlag för det fortsatta arbetet med platsundersökningsprogram och funktionskrav. Myndigheterna konstaterar dock att SR 97 inte innehåller någon djupare diskussion om vad resultaten av säkerhetsanalysen betyder för platsundersökningsprogrammen och funktionskraven på de tekniska barriärerna. SKB hänvisar istället till att resultaten från SR 97 tas om hand i separata projekt; bl.a. i projekt för utveckling av platsundersökningsprogram, formulering av krav och önskemål på berget och översyn av funktionskrav och konstruktionsförutsättningar för kapseln och de övriga barriärerna. Myndigheterna avser därför att återkomma till dessa frågor i samband granskningen av SKB:s kompletterande redovisning av FUD-program 98 och senare i samband med granskningen av SKB:s FUD-program 01.

Myndigheterna har i denna granskning bl.a. framfört att SKB bör genomföra mer omfattande analyser av osäkerheter i antagandena om kapselns och buffertens funktioner för att bättre kunna belysa bergbarriärens säkerhetsbetydelse, och därmed för att kunna identifiera vilka parametrar som är viktiga att mäta i en platsundersökning. Sådana analyser är enligt myndigheternas uppfattning också nödvändiga för att SKB skall kunna konkretisera konstruktionskrav på de tekniska barriärerna. Det är angeläget att SKB utvärderar erfarenheterna från SR 97, inkl. de synpunkter som framkommit i myndigheternas granskning, i det fortsatta utvecklingsarbetet med platsundersökningsprogram och tekniska barriärer.

## 6 Referenser

Ageskog, L., och Jansson, P., Heat propagation in and around the deep repository, Thermal calculations applied to three hypothetical sites: Aberg, Beberg and Ceberg, SKB TR-99-02, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

Allard, B., Karlsson, F., och Neretnieks, I., Concentrations of particulate matter and humic substances in deep groundwaters and estimated effects on the adsorption and transport of radionuclides, SKB TR 91-50, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1991.

Andersson, J., Carlsson, T., Eng, T., Kautsky, F., Söderman, E., och Wingefors, S., The joint SKI/SKB scenario development project, SKI TR 89:14, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1989. (Också publicerad som SKB TR 89-35.)

Arthur, R. C., Estimated rates of redox-front migration in granitic rocks, SKI Rapport 96:35, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1996.

Banwart, S., Tullborg, E.-L., Pedersen, K., Gustafsson, E., Laaksoharju, M., Nilsson, A.-C., Wallin, B., och Wikberg, P., Organic carbon oxidation induced by large-scale shallow water intrusion into vertical fracture zone at the Äspö Hard Rock Laboratory (Sweden), *J. Contaminant Hydrol.* 21, 115-125, 1996.

Baudoin, P., Gay, D., Certes, C., Serres, C., Alonso, J., Luhrmann, L., Martens, K.H., Dodd, D., Marivoet, J., och Vieno, T., Spent fuel disposal performance assessment (SPA project), European Commission, EUR 19132 EN, 2000.

Bergström, U., Nordlinder, S., och Aggeryd, I., Models for dose assessment - Modules for various biosphere types, SKB TR-99-14, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

Bond, A. E., Hoch, A. R., Jones, G. D., Tomczyk, A. J., Wiggin, R. M. och Worraker, W. J., Assessment of a spent fuel disposal canister: Assessment studies for a copper canister with cast steel inner compartment, SKB TR 97-19, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1997.

Bruno, J., Cera, E., de Pablo, J., Duro, L., Jordana, S., och Savage, D., Determination of radionuclide solubility limits to be used in SR 97: Uncertainties associated to calculated solubilities, SKB TR 97-33, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1997.

Bruno, J., Arcos, D., och Duro, L., Processes and features affecting the near field hydrochemistry: Groundwater-bentonite interaction, SKB TR-99-29, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

Cho, W.J., Lee J.O., Hahn P.S., och Park, H.H., Hydraulic and diffusive properties of clay-based backfill material for a low- and intermediate-level waste repository, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 353, 299-306, 1995.

DSIN, Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires, Règles fondamentale de sûreté III.2.f ("Applicability: Disposal of radioactive waste in deep geological formations"). Ministère de l'Industrie et au Commerce Exotérique, DSIN, Paris no 466/91, 1992.

DOE, Civilian Radioactive Waste Management System Management and Operating Contractor: Saturated Zone Flow and Transport Expert Elicitation Project, prepared by Geomatrix Consultants, Inc., San Francisco, California and TRW, Las Vegas, Nevada, WBW 1.2.5.7, 1997.

EA, Environment Agency, Disposal facilities on land for low and intermediate level radioactive wastes: Guidance on requirements for authorisation, Environment Agency, Bristol, 1997.

EPA, 40 CFR Part 197, Environmental protection Standards for Yucca Mountain, Nevada; Proposed Rule, Environmental Protection Agency, 1999.

Eriksen, T., Radiolysis of water within a ruptured fuel element, SKB PR U 96-29, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1996.

Forsström, L., Future glaciation in Fennoscandia, Posiva Report 99-30, Posiva Oy, Helsinki, 1999.

Gascoyne, M., Long-term maintenance of reducing conditions in a spent nuclear fuel repository. A re-examination of critical factors, SKB Rapport R-99-41, Svensk Kärnbränslehantering AB., Stockholm, 1999.

Glynn, P.D., och Voss, C.I., Geochemical Characterization of Simpevarp Ground Waters near the Äspö Hard Rock Laboratory, SKI Rapport 96:29, Statens kärnkraft-inspektion, Stockholm, 1999.

Guimera, J., Duro, L., Jordana, S., och Bruno, J., Effects of ice melting and redox front migration in fractured rocks of low permeability, SKB TR-99-19, Svensk Kärnbränslehantering AB., Stockholm, 1999.

Haworth, A., Thompson, A. M., och Tweed, C. J., Use of the HARPROB program to evaluate the effect of parameter uncertainty on chemical modelling predictions, *Radiochim. Acta*, 82, pp. 429-433, 1998.

Helton, J. C., Uncertainty and sensitivity analysis techniques for use in performance assessment for radioactive waste disposal, *Rel. Eng. and System Safety*, vol. 42, pp. 327-367, 1993.

Helton, J. C., Treatment of uncertainty in performance assessments for complex systems, *Risk Analysis*, Vol. 14, no. 4, 1994.



Hermansson, H-P., och Eriksson, S., Corrosion of the copper canister in the repository environment, SKI Rapport 99:52, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1999.

Hicks, T., och Prescott, A., A study of criticality in a spent fuel repository based on current canister designs, SKI Rapport 00:13, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2000.

HSK, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Schutzziele für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, HSK-Richtlinie R-21 Nov 1993, HSK, Villigen, 1993.

IAEA, The principles of radioactive waste management, Safety Series No. 111 F, IAEA, Wien, 1995.

King-Clayton, L.M., Chapman, N.A., Kautsky, F., Svensson, N.O., de Marsily, G., och Ledoux, E., The central scenario for SITE-94: A climate change scenario, SKI Rapport 95:42, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm 1995.

Lindborg, T., och Schüldt, R., The biosphere at Aberg, Beberg and Ceberg - a description based on literature concerning climate, physical geography, ecology, land use and environment, SKB TR 98-20, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1998.

McKinley, I., och Savage, D., Comparison of solubility databases used for HLW performance assessment, *Fourth intl. conf. on the chemistry and migration behavior of actinides and fission products in the geosphere*, R. Oldenburg Verlag Publ., München, 656-665, 1994.

Morén, L., och Pässe, T., Climate and shoreline in Sweden during the Weichsel and the next 150 000 years, SKB TR-99-xx (under bearbetning), Svensk Kärnbränslehantering AB., Stockholm, 1999.

NEA, The environmental and ethical basis of geological disposal, OECD/NEA, Paris, 1995a.

NEA, Future human action at disposal sites, OECD/NEA, Paris 1995b.

NIREX, A Preliminary Analysis of the Groundwater Pathway for a Deep Repository at Sellafield. Volume I: Development of the Hydrogeological Conceptual Model. Volume II: Derivation of Effective Hydrogeological Parameters for Regional Modeling. Volume III: Calculations of Risk, United Kingdom NIREX Limited, Science Report 5/95/012, 1995.

Nordiska myndigheterna, Slutförvaring av högaktivt radioaktivt material, Strålskydds- och kärnsäkerhetsmyndigheterna i Danmark, Finland, Island, Norge och Sverige, 1993.

Nordlinder, S., Bergström, U., och Mathisson, L., Ecosystem specific dose conversion factors for Aberg, Beberg and Ceberg, SKB TR-99-15, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

NRC, 10 CFR part 19 et al. Disposal of high-level radioactive wastes in a proposed geological repository at Yucca Mountain, Nevada; Proposed Rule, Nuclear Regulatory Commission, 1999.

Ochs, M., Review of a report on diffusion and sorption properties of radionuclides in compacted bentonite, SKB R-97-15, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1997.

Pers, K., Skagius, K., Södergren, Sara., Wiborgh, M., Hedin, A., Morén, L., Sellin, P., Ström, A., Pusch, R., och Bruno, J., SR 97 – Identification and structuring of process, SKB TR-99-20, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

Saksa, P. och Nummela, J., Geological-structural models used in SR 97. Uncertainty analysis, SKB TR 98-12, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1998.

Savage, D., Lind, A., och Arthur, R., Review of the properties and uses of bentonite as a buffer and backfill material, SKI Rapport 99:09, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1999.

Skagius, K., Ström, A., och Wiborgh, M., The use of interaction matrices for identification, structuring and ranking of FEPs in a repository system. Application on the far-field of a deep geological repository for spent fuel, SKB TR 95-22, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1995.

SKB, SR 95 Mall för säkerhetsrapporter med beskrivande exempel, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1995.

SKB, Project SAFE, Update of the SFR-1 safety assessment, Phase 1, editors: Andersson, J., Riggare, P., och Skagius K., SKB R-98-43, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1998.

SKB, Djupförvar för långlivat låg-och medelaktivt avfall, Preliminär säkerhetsanalys, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

SKI; , HSK, SSI, SKI: Regulatory guidance for radioactive waste – an advisory document, SKI TR 90:15, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1990.

SKI, Granskning av SKB 91, SKI TR 92:24, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1992.

SKI, SKIs utvärdering av SKBs FUD-PROGRAM 92, Sammanfattning och slutsatser, SKI Teknisk Rapport 93:13, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1993.

SKI, SKIs yttrande över SKBs kompletterande redovisning till FUD-program 92, SKI Rapport 95:1, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1995.

SKI, SKIs utvärdering av SKBs FUD-program 95, Sammanfattning och slutsatser, SKI Rapport 96:49, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1996a.

SKI, SKI SITE-94 Deep repository performance assessment project, SKI Rapport 96:36, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1996b.

SKI, SKIs utvärdering av SKBs FUD-program 98, Sammanfattning och slutsatser, SKI Rapport 99:15, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1999a.

SKI, SKIs yttranden över SKBs forsknings- och utvecklingsprogram, FoU-89, FUD-92, FUD-92 Kompl., FUD-95, FUD-98, En sammanställning, SKI Rapport 99:47, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1999b.

SKI, Terms of Reference For The OECD/NEA International Peer Review of the Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company Safety Report 97, SKI-PM 99:46, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1999c.

SKI, Internationell fristående expertgranskning av Säkerhetsrapport 97: Säkerhet efter förslutning av ett slutförvar för använt kärnbränsle i Sverige, SKI Rapport 00:45, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2000a. (Finns även på engelska, utgiven av NEA: SR 97: Post-closure Safety of a Deep Repository for Spent Nuclear Fuel in Sweden, An International Peer Review, OECD/NEA, 2000.)

SKI, Remissyttranden över SKB:s säkerhetsanalyser SR 97 och SFL 3-5, SKI Rapport 00:34, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2000b.

SKI, Opinions on SKB's safety assessments SR 97 and SFL 3-5, A review by SKI consultants, SKI Rapport 00:47, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2000c.

SKI, SKI:s och SSI:s gemensamma granskning av SKB:s Säkerhetsrapport 97, Sammanfattning, SKI Rapport 00:38, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 2000d.

SSI, Torv och strålskydd, SSI Rapport 90:15, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1990.

SSI, The Swedish Radiation Protection Institute's protection criteria for disposal of spent nuclear fuel, SSI Rapport 95:35, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1995.

SSI, Health, environment and high level waste: the Swedish Radiation Protection Institute's proposed regulations concerning the final management of spent nuclear fuel or nuclear waste, SSI Rapport 97:07, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1997.

SSI, SSI FS 1998:1, Statens strålskyddsinstituts föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall, samt SSI Rapport 99:03 med bakgrund och kommentarer till föreskrifterna, 1999.

STUK, Statsrådets beslut (478/1999) om säkerheten vid slutförvaring av använt kärnbränsle (25 mars 1999), med av STUK utarbetade riktlinjer (YVL 8.4), 1999.

Takase, H., Benbow, S., och Grindrod, P., Mechanical failure of SKB spent fuel disposal canisters: Mathematical modelling and scoping calculations, SKB TR-99-34, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

Werme, L., Konstruktionsförutsättningar för kapsel för använt kärnbränsle, SKB R-98-08, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1998.

Wilmot, R., Wickham, S., och Galson, D., Elements of a regulatory strategy for the consideration of future human actions in safety assessments, SKI Rapport 99:46, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, 1999.

Yu, J-W., och Neretnieks, I., Diffusion and sorption properties of radionuclides in compacted bentonite, SKB TR 97-12, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1997.

# BILAGA 1

## 1 Processer och initialtillstånd i de tekniska barriärerna och geosfären

### 1.1 Inledning

SKB delar in säkerhetsanalysen i fem olika moment: systembeskrivning, beskrivning av initiala tillstånd, val av scenarier, analys av valda scenarier och utvärdering. I detta kapitel redovisar myndigheterna synpunkter på momenten systembeskrivning och beskrivning av initiala tillstånd. Granskningen avser i första hand kapitel 5, samt avsnitten 4.2 och 6.1-5 i huvudrapporten samt relevanta beskrivningar i Processrapporten.

SKB har redogjort för den metod som används i SR 97 för beskrivning av egenskaper och processer som styr utvecklingen av slutförvaret ("processsystemet") i rapporten "Identification and structuring of processes" (Pers m.fl., 1999). En översiktlig beskrivning av metodiken finns också i huvudrapportens kapitel 4.

### 1.2 SKB:s redovisning

#### *Systembeskrivning – THMC-diagram*

Det är nödvändigt att använda en systematisk metod för att kartlägga och beskriva förhållanden, händelser och processer (FEP, eng. Features, Events, Processes) som påverkar slutförvarets funktion. Både SKB och SKI intar en framskjuten ställning bland de organisationer som under de senaste tio åren utvecklat metoder för detta ändamål.

SKB har tidigare utvecklat och utnyttjat s.k. interaktionsmatriser för att kartlägga processerna i slutförvar. En sådan kartläggning har dock gjorts fristående från analysen i övrigt och visade sig svår att integrera i redovisningen. I SR 97 har SKB därför utvecklat och prövat en ny struktur för systembeskrivningen i form av s.k. THMC-diagram. Huvuddragen i denna metod är:

- slutförvaret delas upp i fyra systemdelar, vilka också svarar mot barriärerna i KBS-3-metoden: bränslet, kapseln, bufferten (inkl. återfyllning) och berget;
- för varje systemdel skapas en "tabell" med de aktuella processerna, som indelas efter om de är termiska (T), hydrauliska (H), mekaniska (M) eller kemiska (C);
- i "tabellen" (se t.ex. Figur 4-3 i huvudrapporten) införs också vilka variabler som karakteriserar tillståndet hos barriärerna och förekommande flöden av gas och vätska;
- i diagrammet markeras slutligen med pilar de variabler och processer som påverkar varandra.

Syftet med THMC-diagrammen är att tydliggöra vilka processer som är aktiva i olika systemdelar och hur de påverkar funktionen hos respektive barriärer. Denna systematik underlättar identifiering av processer och har av SKB använts i Processrapporten och i kapitel 5 i huvudrapporten (Systembeskrivning; processer och variabler).

### ***Bränsle***

I SR 97 antas förenklat att alla kapslar innehåller BWR-bränsle av typ SVEA 96 med en utbränningsgrad av 38 MWd/tU. Detta bränsle har bl.a. använts som utgångspunkt för det innehåll av radionuklider som använts i konsekvensanalysen. SKB går igenom de processer och variabler som påverkar tillståndet i bränslet och det omgivande hålrummet i kapseln. De viktigaste av dessa processer är radioaktivt sönderfall, strålningspåverkan, värmeutveckling, värmetransport samt kemiska processer som i sin tur påverkar vattenkemi och gasutveckling.

### ***Kapsel***

Kapseln består av en inre behållare av gjutjärn, som skall ge mekanisk stabilitet, och ett yttre hölje av koppar, som skyddar mot korrosion. Kopparhöljet är 5 cm tjockt och kapseln har formen av en ca 4,8 m hög cylinder med en diameter av 1,05 m. Kapseln väger totalt ca 25 ton och är fylld med 12 BWR-element. En kapsel rymmer ca. två ton bränsle. Mekaniskt kan insats och kapsel deformeras av yttre laster och efter ett genombrott av kopparhöljet också av mekaniskt tryck från de korrosionsprodukter som kan bildas vid korrosion av järninsatsen. Den viktigaste kemiska processen är dock korrosion av kopparhöljet eftersom denna process skulle kunna riskera kapslarnas isolerande funktion.

### ***Buffert och återfyllning***

Buffertens uppgift är att utgöra diffusionsbarriär och mekaniskt skydd mellan kapsel och berg, medan återfyllningen förutom att begränsa flödet i tunnelsystemet ska motverka att bufferten tränger upp i tunneln som ett resultat av dess svällning.

De funktionskrav, variabler och långsiktiga säkerhetskriterier som SKB omnämner beträffande buffert och återfyllning berör hydraulisk konduktivitet, densitet och svälltryck. SKB listar också ett antal processer (vatten- och gastransport, termisk expansion, erosion, radiolys etc.) som påverkar buffertens funktion och därmed är av betydelse för förvarets långsiktiga säkerhet.

### ***Geosfär med platsundersökningar***

Beskrivning av geosfärens initialtillstånd i SR 97 bygger på tolkningar av observationer vid tre hypotetiska förvarsplatser, Aberg, Beberg och Ceberg, som motsvaras av Äspö, Finnsjön och Gideå. Data från dessa platser har i SR 97 analyserats för att illustrera förhållanden och variabler i svensk kristallin berggrund.

## **1.3 Remissynpunkter**

### ***Bränsle***

Tord Jonsson anser att mer detaljerade beräkningar behöver göras av bränslets innehåll av aktinider, framför allt för kontroll av de nu mera översiktliga beräkningarna där medelflöde, medelanrikning och medelutbränning använts.

### ***Kapsel***

Statens råd för kärnavfallsfrågor, Kasam anser att en möjlig sprickbildning genom kopparmanteln och svetsförband på grund av krypning behöver belysas i det fortsatta

arbetet. Kasam rekommenderar därför ytterligare långtidsförsök för att belägga att korrosionsbeständigheten och krypduktiliteten är tillräckligt stor för svetsförbanden.

### ***Bentonitbuffert och återfyllning***

Kasam noterar att ett naturligt förekommande lermineral som bentonit alltid uppvisar en viss inhomogenitet med avseende på sammansättning och struktur, vilket kan ge upphov till lokala variationer av dess egenskaper. Variationer kan också uppkomma genom att deponeringen pågår under en tidsrymd av flera decennier. Kasam saknar vidare en mer ingående diskussion av hur kemiska förhållanden påverkar buffertlerans egenskaper. Kasam påpekar också att betydelsen av temperaturgradienten över bufferten under de första hundra åren troligen är underskattad samt att vattnets och hydratiserade joners sorption mellan skikten i lerpartiklarna är temperaturberoende.

### ***Geosfären***

Kasam påpekar att SKB inte redovisar några platsspecifika bergmekaniska modellstudier och att SKB:s bedömning av geosfärens betydelse för isoleringen av radionukliderna är oklar. Det hävdas att ett säkert förvar kan byggas på platser motsvarande A-, Be- och Ceberg men samtidigt påpekas betydande skillnader mellan platserna. Eftersom en avgörande vikt fäst vid andra barriärer än berget, framför allt kapseln och bentonitbufferten, är det svårt att bedöma betydelsen av olika platsval.

Sveriges Geologiska Undersökning, SGU, konstaterar att en viktig förutsättning för de scenarier som används i SR 97 och den preliminära säkerhetsanalysen för SFL3-5 (SKB, 1999) är de geologiska förhållandena vid de tre platserna A-, Be och Ceberg. SGU:s bedömning är att säkerhetsanalysen är alltför hypotetisk och att en slutlig säkerhetsanalys kan göras först när data har erhållits från den eller de platser som bedömts ha goda förutsättningar för ett djupförvar.

SGU saknar en djupare analys beträffande de begränsade geologiska och hydrologiska variationer (alla platser är belägna under högsta kustlinjen) som redovisas i SR 97. Det framgår inte om variationerna beror på olika bergartstyper eller olikartad tektonisk historia för respektive område och därmed olika frekvens av sprickor eller sprickzoner. För att klarlägga detta hade det enligt SGU varit önskvärt med ett urval av platser med större spridning i geologiska och hydrologiska förhållanden.

SGU saknar en sammanställning och analys av tillgängliga geologiska och hydrogeologiska data som skulle kunna ge viktig information om vilken bergartstyp och/eller tektonisk miljö som generellt sett kan anses som mest gynnsam för ett djupförvar.

Mörner vid Stockholms Universitet håller inte med SKB att nya bergrorelser oftast följer redan befintliga sprickzoner. Mörner anser att det snarare är regel än undantag att en förkastning följer en gammal linje för att plötsligt bryta en ny linje i vinkel bort från den gamla linjen och sedan avklinga. Som exempel anger Mörner de förvarsgeometrier som SKB redovisar för respektive plats där redovisade strukturer successivt växt genom att det ena sidonätet fogats till det andra. Mörner anser att denna process inte är avslutad och därmed blir föreslagna placeringar av deponeringstunnlar intill och mellan sprickzoner olämplig.

## 1.4 SKI:s och SSI:s granskning och bedömning

### 1.4.1 Metodik för systembeskrivning

#### *THMC-diagram*

Som redan påpekats ovan har SKB på ett framträdande sätt bidragit till att utveckla metoder för en systematisk beskrivning av processerna i ett slutförvar. Denna utveckling berörs dock endast flyktigt i SKB:s rapportering av SR 97. En tillbakablick och beskrivning av olika alternativ hade varit av värde för att bättre motivera det angreppssätt som valts för SR 97. Utan en sådan bakgrund och bättre motiveringar ter sig användningen av THMC-diagram som överdrivet abstrakt och svårtolkad. Det kan i detta sammanhang påpekas att möjligheten till indelning av processerna i ett slutförvar i kategorierna T, H, M och C diskuterats i ett för SKI och SKB gemensamt projekt om scenarioutveckling (Andersson m.fl., 1989).

Vid bedömning av en metod för systembeskrivning bör man först och främst utgå från det huvudsakliga syftet: att dokumentera fullständigheten i systembeskrivningen. Detta huvudsyfte innebär också att systembeskrivningarna bör kunna fungera som ett effektivt hjälpmedel vid granskning. Ett mera elementärt syfte är att metoden även bör kunna fungera som ett hjälpmedel vid själva analysarbetet. Det är dock viktigt att påminna om att en bra metod för dokumentation av fullständighet inte automatiskt innebär en inbyggd kvalitetssäkring av hela säkerhetsanalysen. För att uppnå en sådan målsättning krävs det förutom redovisning av vetenskapligt och tekniskt underlag även spårbarhet för de data och modeller som används i analysen. I dessa båda avseenden fyller THMC-metoden i sig ingen funktion och det har antagligen inte heller varit SKB:s avsikt.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) framför bl.a. att THMC-diagrammen kan anses ge en ganska förenklad bild av processerna i olika barriärer och att däri kan dölja sig många subjektiva bedömningar. Detta är dock något som gäller även andra metoder. Expertgruppen anser vidare att sambandet mellan valet av scenarier och användning av THMC-diagram bör utvecklas. Synpunkten att THMC-diagram i stor utsträckning bygger på subjektiva bedömningar av experter framförs även av Wilmot och Crawford (SKI, 2000c), som påpekar att sådana expertbedömningar behöver dokumenteras.

Tsang (SKI, 2000c) diskuterar framförallt brister i valet av processer och variabler som gör det svårt att spåra vissa samband, framförallt sådana som inbegriper förändringar i struktur och geometri, samt koppling mellan fler än två processer. Tsang anser även att arbetet med systemanalysen inte bör bedrivas helt separerat från arbetet med att ta fram beräkningsmodeller och genomföra en konsekvensanalys.

De metoder som används för systembeskrivning (förutom THMC främst s.k. influensdiagram och interaktionsmatriser) är samtliga komplicerade att förstå och användning av dem för att rationalisera säkerhetsanalysen har ännu inte demonstrerats fullt ut. I det senare avseendet innebär dock SR 97 ett viktigt framsteg. Myndigheterna anser att det därför är viktigt att fortsätta utveckling av dessa metoder, inte minst så att de på ett bättre sätt kan vara till hjälp för granskningen av säkerhetsanalyser.



Ännu återstår det mycket arbete innan en metod framstår som överlägsen de övriga i detta avseende. THMC-diagrammen lyfter fram vissa aspekter på ett bra sätt, bl.a. därför att diagrammen kan anordnas så att de nära överensstämmer med de modell- eller tankekedjor som används i analysen. Det är av samma skäl också en fördel att diagrammen indelar processerna i de olika kategorierna THMC. Många av de nackdelar som påtalats av den internationella expertgruppen och SKI:s konsulter för THMC-diagrammen är gemensamma med övriga tillgängliga metoder. Den mest framträdande bristen hos THMC-metoden är att vissa samband inte framgår direkt av diagrammen, men även i detta avseende är det svårt att bedöma om det finns något bättre alternativ.

Sammanfattningsvis ser myndigheterna THMC-metoden som ett värdefullt bidrag till metodiken för säkerhetsanalyser. Metoden är inte färdigutvecklad och går att utveckla vidare. Allt talar dock för att det fortfarande finns goda skäl att använda olika metoder inom samma program för att kunna belysa systembeskrivningen från olika aspekter. Myndigheterna delar konsulternas åsikt att de expertbedömningar som ligger till grund för diagrammen behöver dokumenteras. Myndigheterna vill påpeka att detta inte utesluter att oberoende expertis kommer krävas vid framtida granskningsarbete.

### ***Formulering av scenarier***

Listor över tänkbara FEP (förhållanden, händelser och processer; se ovan) finns tillgängliga från ett antal organisationer som utfört säkerhetsanalyser. Det finns även en internationell databas över FEP som tagits fram i NEA:s regi. SKB har i tidigare arbeten tagit fram en bra förteckning av dessa FEP. Listan över FEP kan sedan reduceras genom att sortera bort de FEP som inte är relevanta, t.ex. med hänsyn till aktuell geologi och förvarsutformning. En reduktion kan också ske för att begränsa analysen till de FEP som kan påverka slutförvarssystemet signifikant eller inte bedöms ha liten sannolikhet att inträffa. Enligt myndigheternas uppfattning är denna reduktion otillräckligt beskriven i SR 97, varvid ett exempel är erosion av berget. Kvarvarande FEP används som utgångspunkt för systembeskrivningen (enligt ovan). Ett annat steg är att utifrån den reducerade FEP-listan formulera ett antal scenarier som inkluderar dessa FEP. Inte heller detta steg presenteras på ett tydligt sätt i SR 97.

Myndigheterna konstaterar att flera potentiellt ogynnsamma FEP på mer eller mindre goda grunder har undantagits från riskanalysen i SR 97, bl.a. med motiveringen att de är osannolika. Exempel på sådana FEP är:

- återmättnadsförloppet i bufferten
- skador på bentonitbufferten (p.g.a. initiala defekter, erosion vid mycket låga salthalter m.m.)
- alternativa typer av kapseldefekter
- oxiderande förhållanden i samband med glaciation
- ackumulerade och tidsberoende effekter av upprepade glaciationer (t.ex. ackumulation och senare utspolning av radionuklider från geosfären och upprepade mindre berggrörelser i samband med glaciationsavlastningar)
- långsiktig erosion av geosfären
- kolloidal transport av radionuklider
- effekter av nedbrytning av bultar, pluggar m.m.

Däremot tillgodoser sig SKB potentiellt gynnsamma FEP även om de är osäkra. Ett sådant exempel rör biosfärens bidrag till säkerheten i klimatscenariot.

Myndigheterna anser att bedömningarna som ligger till grund för att utesluta FEP bör underbyggas på ett bättre sätt, t.ex. med väldokumenterade expertgranskningar (peer reviews) och referenser till vetenskapligt underlag (se avsnitt 4.3.11). Alternativt bör beräkningar inkluderas i riskanalysen så att riskbidrag kan utvärderas.

### 1.4.2 Bränsle

I SR 97 har data för nuklidinnehåll, resteffekt och strålning för använt bränsle tagits fram med genom beräkningar med programtypen ORIGEN. SKI:s konsult Grambow (SKI, 2000c) pekar på att denna typ av beräkningar inte validerats för vissa nuklider, t.ex. Cl-36, Se-79 och Sn-126, varför betydande osäkerheter kan föreligga för dessa nuklider. Innehållet av Cl-36 i SR 97 är t.ex. betydligt lägre än vad som antagits i ett tidigare genomfört internationellt projekt. Denna skillnad är av särskilt stor betydelse för konsekvensberäkningarna eftersom innehållet av en sådan löslig och lättroilig nuklid som Cl-36 ger direkt effekt på dos. För att vid granskningen kunna bedöma vissa delresultat i SKB:s beräkningar hade det också varit bra om SKB hade delat upp nuklidinnehållet på bränsle, inkapsling och metalldelar.

Effekter av icke-radioaktiva fissionsprodukter såsom xenon skulle ha behövt beskrivas närmare, eftersom de kan ha både positiv och negativ säkerhetsmässig betydelse.

### 1.4.3 Kapsel

#### *Termiska processer*

Myndigheterna anser att beskrivningen av värmetransporten är ett exempel på hur vissa samband inte framgår klart med den använda metoden för systembeskrivning. Det i och för sig självklara förhållandet att även värmetransporten i berget styr yttertemperaturen på kapseln beskrivs under avsnittet om värmetransporten i berget (Processrapporten avsnitt 5.4.1), men framgår inte tydligt i beskrivningen av värmetransporten i kapseln.

SKB anger att en stor osäkerhet i temperaturberäkningarna ligger i värmeövergången över en initial spalt mellan kopparytan och bufferten i deponeringshålet. Dessa osäkerheter härrör i första hand från osäkerheterna i mätnadsförloppet hos bentoniten och från osäkerheten i kopparytans förmåga till strålningsöverföring av värme (emissivitet). Myndigheterna anser att en mer detaljerad studie av ytegenskapernas betydelse för värmeöverföringen behövs för att formulera designkraven för ytorna, både med avseende på maskinbearbetning och lagring av kapslar före deponeringen. Tillsammans med erfarenheter av uppnådda ytegenskaper vid kapseltillverkningen, bör osäkerheten i emissivitet kunna minskas. Hydromekanisk utveckling hos spalten mellan kapsel och buffert har uppmärksamats av SKB som ett område för kommande arbete och myndigheterna instämmer i detta.

#### *Mekaniska processer*

Myndigheterna är eniga med SKB om att sannolikheten för en eventuell kapseldefekt är störst i locksvetsen. I brist på erfarenheter från serietillverkning av kapslar är det därför rimligt att förutsätta en defekt vid locket i SR 97.

SKB anger att designkravet med hänsyn till initiala defekter är att högst 0,1 % av kapslarna får ha större fel än vad acceptanskriterierna för den oförstörande provningen tillåter. Enligt myndigheternas uppfattning återstår det dock för SKB att visa att detta är ett tillräckligt och realistiskt mål.

I modellstudien av hur spänningar och töjningar i kopparkapseln byggs upp, förutsätter SKB fullt utbildat tryck efter en timme. Myndigheterna anser att det bör redovisas tydligare hur denna förenkling inverkar på hur resultatet av studien kan tillämpas i det verkliga fallet (där bentoniten tar upp vatten och sväller i ett troligt tidsperspektiv av flera år).

### ***Kemiska processer - korrosion***

SKB anför att dragspänningar inte kan uppstå i sådan omfattning att spänningskorrosion skulle leda till genombrott på kapseln, eftersom kapseln befinner sig under yttre tryck. Enkla hållfasthetsberäkningar som SKI har utfört visar att under normala förhållanden kommer delar av kopparkapseln att ligga under dragspänningar även om tryckspänningar råder på större delen av kapselytan. Myndigheterna anser därför att SKB tydligare behöver visa att förhållandena är sådana att spänningskorrosion inte kan förekomma på kopparhöljet alternativt att SKB tar hänsyn till tänkbara effekter av spänningskorrosion i sin analys av kapselns livslängd.

SKI framförde i granskningen av SKB:s FUD-program 98 att SKB bör göra en ny sammanställning av hur olika typer av korrosion utgör en grund för utformningen av kopparkapseln, i synnerhet med tanke på det arbete som utförs och har utförts inom korrosionsområdet av bl.a. SKB under de senaste åren. En sådan uppdatering av kunskapsunderlaget bör också vara användbar i säkerhetsanalysen.

Myndigheterna anser vidare att korrosionen hos gjutjärnsinsatsen behöver studeras ytterligare. SKI:s konsulter Arthur och Zhou (SKI, 2000c) påpekar att andra korrosionsprodukter än magnetit, t.ex. siderit eller pyrit, skulle kunna bildas. Experiment där bildade korrosionsprodukter undersöks skulle vara av värde även för att styrka SKB:s åsikt att korrosionshastigheten styrs av transportegenskaperna hos magnetitskiktet. Även i den internationella expertgranskningen (SKI, 2000a) framförs att både korrosionsmekanismer och kinetik behöver studeras mera, främst med tanke på den roll som järnet anses spela för att upprätthålla en reducerande miljö i en läckande kapsel.

Myndigheterna anser att SKB:s val av värden på korrosion hos järninsatsen (0,1  $\mu\text{m}/\text{år}$  realistiskt värde; 1,0  $\mu\text{m}/\text{år}$  pessimistiskt värde) bygger på ett väl litet underlag (även om både experiment och beräkningar ingår). Betydelsen av denna osäkerhet bör belysas, t.ex. genom att studera ett större intervall på korrosionshastigheten. En annan viktig målsättning bör vara ta fram ett bättre underlag för att bedöma vilka hastighetsbestämmande mekanismer som är betydelsefulla i ett mycket långt tidsperspektiv.

#### 1.4.4 Buffert och återfyllning

I detta avsnitt diskuteras några viktiga egenskaper som är av särskild betydelse för funktionen hos bentonit och återfyllning. Dessa behöver belysas ytterligare jämfört med den information som kommit fram inom SR 97.

##### *Bentonitens kemiska stabilitet*

Bentonitens egenskaper som funktion av pH, temperatur, tryck, partikelstorleksfördelning och jonstyrka borde enligt myndigheterna ha beskrivits mer ingående, vilket även Kasam påpekat. I den mån bentonitens funktion påverkas av variationer hos någon av dessa parametrar är det angeläget att detta presenteras mer specifikt.

##### *Erosion av buffert och återfyllnad*

SKB har identifierat mekanisk och kemisk påverkan som två orsaker till erosion av bufferten, varvid man hävdar att risken för erosion är liten i båda fallen. Slutsatsen baseras på modellberäkningar, laboratorieförsök och fälterfarenheter från Stripa.

Myndigheterna är dock ännu inte helt övertygade att processerna saknar betydelse för bentonitens funktion i förvaret. Framförallt bör en eventuell erosion beaktas som källa för kolloidbildning i slutförvaret.

Myndigheterna konstaterar även att en hög salthalt hos grundvattnet eller i bergmatrisen innebär minskad vattenupptagande förmåga i bentoniten och återfyllningen och därmed risk för kanalbildning, vilket kan behöva utredas närmare av SKB.

##### *Bentonitens vattenupptagning och svällning*

Enligt SKB nås full vattenmättnad av bentoniten inom ett fåtal år om vattentillförsel från berget är tillräckligt hög (obegränsad). Om vattentillförseln till deponeringshålen är mycket liten från bergmatris och sprickor antar SKB att bufferten mäts genom det vatten som når deponeringshålet via återfyllningen, något som i och för sig kan leda till ojämn tryckbelastning på kapseln.

Myndigheterna kan konstatera att den helt styrande faktorn för att uppnå en snabb och homogen mättnad av bentoniten i deponeringshålen är en jämnt fördelad tillgång på vatten i deponeringshålets väggar. Om inte detta kan uppnås, vilket inte visats i SR 97, kommer sannolikt svällningen av bentoniten genom ojämnt vattenupptag bl.a. att medföra en ojämn belastning på kapseln i deponeringshålen. Detta kan i sin tur påverka kopparkapselns mekaniska integritet.

SKI:s konsult Sällfors (SKI, 2000c) påpekar att ett högt portryck i omgivande berg (hydrostatisk tryck på 500 m djup är 5 MPa) troligtvis inte erhålls under deponeringsfasen. Portrycket återställs förmodligen inte till det ursprungliga stadiet förrän efter det att förvaret förslutits. Detta kan innebära att bentoniten inte mäts i den takt som SKB räknat med. Myndigheterna anser därför att större uppmärksamhet borde ägnas åt deponeringssekvens och hur snabbt portrycket kan återställas.

### 1.4.5 Geosfär med platsundersökningar

#### *Dataunderlaget*

Med SR 97 har SKB haft för avsikt att jämföra tre olika geografiskt belägna områden inom Sverige och visa på hur slutförvaringen kan ske på ett säkert sätt vid dessa platser. Myndigheterna finner denna ansats lovvärd. Dataunderlaget varierar dock starkt mellan platserna, och SKB har ej på ett för läsaren tydligt sätt visat hur man utnyttjat och utvärderat dataunderlaget för att kunna erhålla någorlunda likvärdiga utgångspunkter för analysen.

Denna åsikt stöds av SKI:s konsult Tirén (SKI, 2000c), som konstaterar att den geologiska och strukturgeologiska presentationen av de tre olika områdena varierar markant liksom detaljeringsgrad och undersökta volymer. En klarare och mer systematisk uppställning av vilka data som utnyttjats i analysen efterlyses.

Voss (SKI, 2000c) anser att det är tveksamt om SR 97-utvärderingen av Ceberg är meningsfull med tanke på att 20 år gamla data använts, vilka indikerar att transmissivitet är samma för såväl sprickor som berg. Denna uppenbara felaktighet beror troligen på det begränsade underlaget.

SKB har genom uppdrag till konsulterna Saksa och Nummela (1998) redovisat alternativa geologiska strukturmodeller och de osäkerheter som är förknippade med dessa. Resultaten har dock inte beaktats i analysen av scenarier.

Myndigheternas helhetsbedömning är att SKB trots undersökningarnas olika målsättning och stora spridning över tiden ändå har förmått utnyttja dataunderlaget på ett acceptabelt sätt.

#### *Geosfärmodellering*

Å ena sidan har SKB:s ambitionen att detaljerat beskriva platserna i sina rapporter men å andra utnyttjar SKB bara en liten del av denna information i sin analys. Myndigheterna anser inte att SKB har utnyttjat all information på ett optimalt sätt för att belysa osäkerheter i modellberäkningarna.

Geier (SKI, 2000c) anser att eftersom SKB använt en s.k. stokastisk kontinuum-modell med låg upplösning (minsta blockskala 25 m) kan inte mindre vattenförande sprickzoner (understigande ca 100 m i längd) beaktas i modellen. Detta måste anses som en klar begränsning även om SKB menar att sprickzoner i storleksordningen 10-1000 m delvis har beaktats för Aberg (men dock inte för Beberg och Ceberg).

#### *Koppling säkerhetsanalys – platsundersökning*

Tirén (SKI, 2000c) konstaterar att SKB i SR 97 ej konkret visat läsaren vad denna studie har bidragit med när det gäller att precisera de faktorer som ligger till grund för val av områden för platsundersökningar. SKB har heller inte härlett vilka krav som bör ställas på en platsundersökning, vilket även myndigheterna har noterat.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) konstaterar också att SKB inte levt upp till målsättningen att SR 97 skall utgöra basen för att närmare ange platsvalsfaktorer och

preliminära funktionskrav på tekniska barriärer. Expertgruppen konstaterar dock att SKB:s arbete med detta pågår separat.

En konsekvens av SKB:s antagande om i det närmaste intakta tekniska barriärer under ett slutförvars livstid innebär att geosfärens roll som barriär i SR 97 blir underordnad. Voss (SKI, 2000c) anser att SKB inte har utnyttjat möjligheten att utgående från geovetenskapliga, främst hydrogeologiska, skillnader för respektive platser förbättra utformningen av slutförvaret och belysa den säkerhetsmässiga betydelsen av skillnaden mellan olika platser.

Redovisningen av geosfärens initialtillstånd anses av SKB vara en komprimerad form av platsbeskrivning anpassad till säkerhetsanalysens behov. I det sammanhanget vill myndigheterna framhålla vikten av att inte låsa fast variablerna utifrån existerande säkerhetsanalytiska modeller. Det kan annars uppstå en risk att man förbiser information från t.ex. platsundersökningen som är av vikt för säkerhetsanalysen. En återkoppling mellan utveckling av säkerhetsanalysen och platskaraktiseringen är alltså helt nödvändig, bl.a. av detta skäl. Myndigheterna anser således att SKB i sitt planerade platsundersökningsprogram skall förtydliga kopplingen mellan viktiga säkerhetsanalytiska parametrar som de redovisas i t.ex. SR 97 och hur dessa skall kunna mätas vid platsundersökningarna.

Sammanfattningsvis anser myndigheterna att kopplingen mellan säkerhetsanalysens behov och platsundersökningar visserligen är tillgodosedd av SKB:s program i stort, men att denna fråga inte fått den genomlysning som skulle ha varit önskvärd i SR 97. SKB har framhållit att arbete i dessa avseenden bedrivits utanför ramen för SR 97 och kommer att presenteras i kommande FUD-program.

### **1.5 Myndigheternas slutsatser**

#### ***Metodik för systembeskrivning***

SKB:s nya metod för systembeskrivning med THMC-diagram är ett värdefullt bidrag till metodiken för säkerhetsanalyser. I SR 97 har SKB ännu inte kunnat utnyttja metodens möjligheter fullt ut. Myndigheterna anser att metoden kan och bör vidareutvecklas, men att även andra metoder behöver användas för att belysa barriärsystemets utveckling och funktioner från olika aspekter. De expertbedömningar som görs vid systembeskrivningen och vid formulering av scenarier behöver dokumenteras bättre i framtida säkerhetsanalyser. Enligt myndigheternas uppfattning har SKB i SR 97 undvikit att närmare analysera inverkan av vissa potentiellt ogynnsamma processer. I framtida säkerhetsanalyser kan t.ex. konsekvensanalysen behöva utvidgas till att innefatta fler processer för att bättre belysa riskbilden.

#### ***Bränsle***

Myndigheterna bedömer att SKB:s beskrivning av bränslets egenskaper är godtagbar men att osäkerheterna i bränslets sammansättning behöver studeras närmare. I kommande säkerhetsanalyser förväntar sig myndigheterna en fullständigare redovisning av den påverkan som variationer i utbränningsgrad kan medföra. De särskilda egenskaper

som förknippas med MOX-bränsle kan också behöva lyftas fram bättre, liksom förekomsten av vissa aktiveringsprodukter såsom Cl-36 och C-14 i bränslets metalldelar.

### ***Kapsel***

Värmetransporten i barriärsystemet är en förhållandevis välkänd process, men med tanke på möjligheterna till termisk nedbrytning av bufferten i ett tidigt skede bör SKB bättre klarlägga värmetransporten från kapselyta till buffert. Enligt myndigheterna återstår det också för SKB att visa det s.k. designkravet om högst 0,1 % defekta kapslar är tekniskt realiserbart. Framsteg har gjorts vid modellstudier av de mekaniska påfrestningarna på kapseln vid svällning av omgivande buffert, men myndigheterna rekommenderar att dessa studier kompletteras så att hela tidsförloppet täcks in.

Kapselns beständighet mot korrosionsangrepp är en av de viktigaste frågorna i en säkerhetsanalys av KBS-3-metoden. Bland de korrosionsfrågor som behöver belysas mera i kommande säkerhetsanalyser hör spänningskorrosion, påverkan av mikrober och korrosionen av järninsatsen. Myndigheterna rekommenderar att SKB utan vidare dröjsmål sammanfattar kunskapsläget när det gäller kopparkorrosion.

### ***Buffert och återfyllnad***

Myndigheterna bedömer att den kemiska stabiliteten hos buffert och återfyllnad är relativt välkänd men att kvarvarande effekter av upphettning i det tidigaste skedet samt inverkan av grundvattnets långsiktiga kemiska förändringar behöver redovisas mera detaljerat. Erosion av bentonit bör beaktas som en potentiell källa till kolloider. Myndigheterna anser också att SKB även fortsättningsvis behöver ägna stor uppmärksamhet åt bentonitens vattenupptag. Metoder behövs för att visa att vattenupptaget blir snabbt och jämnt fördelat, Skulle detta inte visa sig möjligt behöver de negativa effekterna av t.ex. ojämn svällning belysas inom ramen för säkerhetsanalysen.

### ***Geosfär med platsundersökningar***

Det tillgängliga dataunderlaget för de tre studerade platserna varierar i omfattning och kvalitet. Myndigheterna gör ändå helhetsbedömningen att SKB förmått utnyttja detta underlag på ett acceptabelt sätt i SR 97.

I framtida analyser bör SKB dock utvärdera och beskriva osäkerheterna i de geologiska modellerna på ett mer uttömmande sätt, t.ex. genom att ta fram alternativa struktur-geologiska modeller som underlag för formulering av beräkningsvarianter i säkerhetsanalysen. Inför kommande platsundersökningar bör SKB också ta fram en samlad beskrivning av hydrologiska, grundvattenkemiska och strukturgeologiska data. Andra områden där SKB bör göra större insatser i kommande analyser gäller beskrivning av småskaliga sprickor, återkoppling från preliminär utvärdering till modifiering av fortsatt mätprogram samt utveckling av kriterier för inplacering av ett slutförvar.

Myndigheterna anser att SKB genom att lägga för stor vikt vid stabiliteten hos de tekniska barriärerna inte kunnat analysera funktionen hos berget som barriärer i den utsträckning det hade varit önskvärt. Myndigheterna konstaterar också att SR 97 inte tillräckligt konkret bidrar till att klargöra kopplingen mellan säkerhetsanalysens behov av data och kraven på platsundersökningar. Samtidigt är dock myndigheterna medvetna om att dessa aspekter beaktas genom insatser i andra delar av SKB:s program och i inter-

## Bilaga 1

nationell forskning. Myndigheterna anser därför att en bedömning av dessa frågor får anstå till granskningen av SKB:s komplettering av FUD-program 98.



## **2 Processer och initialtillstånd i biosfären**

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

En översiktlig beskrivning av biosfären och förutsättningar för biosfärsberäkningar återfinns i huvudrapporten (avsnitt 6.6, 9.10-9.11) och i en underlagsrapport (Nordlinder m.fl., 1999). En mer fullständig beskrivning av biosfären för de tre (hypotetiska) platserna ges i Lindborg och Schüldt (1998). En översiktlig beskrivning ges av en begränsad uppsättning processer (avsnitt 9.10.1).

### **2.2 Remissynpunkter**

Frågan om hur processer och initialtillstånd i biosfären behandlats i SR 97 har inte kommenterats i någon större utsträckning av remissorganen.

### **2.3 SKI:s och SSI:s granskning och bedömning**

Det är positivt att SKB i större utsträckning än tidigare söker beskriva de processer som styr transport (migration, omsättning, anrikning) av radioaktiva ämnen i biosfären. Fortfarande är dock beskrivningen begränsad.

#### **2.3.1 Beskrivning av processer**

Processerna i biosfären är mycket översiktligt beskrivna, och beskrivningen är inte heller genomförd på samma systematiska sätt som processerna för övriga delar av förvarssystemet. För att få en överblick över vilka processer som har beaktats är det nödvändigt att inhämta information från flera olika rapporter.

SKB anger att det är svårt att genomföra en lika strikt och uttömmande processbeskrivning för biosfären som för övriga delar i förvarskonceptet. Detta påstående borde ha motiverats mer utförligt. Utifrån den strukturering av biosfären som gjorts tidigare, bl.a. i internationella sammanhang, hade exempelvis interaktionsmatriser kunnat användas för att beskriva biosfären, eller specifika ekosystem.

#### **2.3.2 Övergången från geosfär till biosfär**

Frågan om hur transporten av radioaktiva ämnen från geosfär till biosfär ska behandlas har diskuterats under lång tid också internationellt. Olika sätt har provats men det finns ännu inte någon metod som är allmänt vedertagen. Till en del beror detta på svårigheten att göra observationer eller experimentella undersökningar.

Detta återspeglas också i SKB:s behandling av övergången mellan geosfär och biosfär i SR 97. Det saknas en beskrivning av vilka processer och växelverkningar som kan vara aktuella. Exempelvis saknas en beskrivning av växelverkan mellan grundvatten och ytvatten i rapporten, vilket är av väsentlig betydelse för förståelsen av hur radionuklider kan nå biosfären. I stället antas radionukliderna i beräkningarna överföras från geosfären direkt till det typekosystem som studeras. SKB anger att detta är ett konservativt antagande. Myndigheterna anser att detta antagande behöver motiveras bättre. Vidare saknas en diskussion om hur detta förfaringssätt kan påverka osäkerheten i slutresultatet.

### **2.3.3 Förändringar i biosfären**

Biosfären kommer att förändras under de tidrymder som diskuteras för förvaret. Beskrivningen i SR 97 behandlar väsentligen biosfären som den ser ut idag.

Säkerhetsredovisningen ska innehålla ett fall med nuvarande biosfär, men detta får inte förhindra att förändringar i biosfären behandlas, särskilt om sådana förändringar kan anses troliga. Det väsentliga är enligt myndigheterna att identifiering och karakterisering av typekosystem baseras på dagens förhållanden. Idag okända eller osannolika ekosystem behöver inte beaktas, till exempel bedöms det inte rimligt att ta med tropisk regnskog, öken och ekosystem typiska för dessa miljöer.

## BILAGA 2

### 1 Basscenario

I detta kapitel redovisar myndigheterna synpunkter på kapitel 8 (Basscenario) i SR 97 huvudrapporten.

#### 1.1 SKB:s redovisning

I basscenariot beskriver SKB den förväntade utvecklingen för fallet då förvaret är byggt enligt specifikationer och förhållandena i omgivningen antas vara i princip oföränderliga och lika med dagens. Alla kapslar antas vara utan tillverkningsfel och dagens klimat råder framgent.

I basscenariot är det övergripande syftet att studera kapselns isolerande funktion. Om kapslarna är obrutna är detta ensamt tillräckligt för att visa säkerheten. Flera hjälpkriterier, t.ex. att grundvattnet bör vara syrefritt och att bufferten bör ha en låg vattenledningsförmåga kan ”härledas” ur täthetskriteriet och barriärsystemets avsedda funktioner. Uppgiften i basscenariot kan sägas vara att visa huruvida täthetskriteriet och andra hjälpkriterier är uppfyllda.

Förändringar i omgivningen som kan karakteriseras som ”kända trender”, t.ex. den pågående landhöjningen och den tektoniska utvecklingen, är inkluderade i scenariot. Tillhörande förändringar i biosfären, t.ex. igenväxning av sjöar och att öppna marker blir skogsklädda ingår också, liksom återmättnaden av förvaret.

SKB beskriver utvecklingen hos bränsle, kapsel, buffert/återfyllning och geosfär i basscenariot indelat efter de strålrelaterade, termiska, hydrauliska, mekaniska och kemiska processerna, med stöd i THMC-diagrammen som beskrivs i Processrapporten. Efter dessa analyser konstaterar SKB att kapseln behåller sin isolerande förmåga, och att radionuklidtransport därför inte behöver behandlas i basscenariot.

#### 1.2 Remissynpunkter

Statens råd för kärnavfallsfrågor, Kasam, menar att med den kunskap som finns idag om korrosion hos ren koppar i den aktuella miljön finns inget som tyder på att ett genombrott genom kapseln skulle förväntas, men att det återstår att verifiera detta även för svetsförbanden.

Kasam anser att det är ett instruktivt framställningssätt att beskriva basscenariot i ett tidsperspektiv med indelningen <100 år, 100-10 000 år och > 10 000 år, men att det i högre grad skulle kunna appliceras på bentonitbufferten och återfyllnaden för att beskriva hur deras egenskaper förändras med tiden i den nya miljön.

Beträffande korrosion på kapseln anser Uppsala universitet att bakteriell korrosion speciellt bör uppmärksammas.

## **1.3 SKI:s och SSI:s granskning och bedömning**

### **1.3.1 Allmänt om basscenariot**

Myndigheterna anser att analysen av A-, Be- och Cebergs kemiska utveckling i frånvaro av klimatförändringar ter sig mindre relevant. Den kemiska sammansättningen på de grundvatten som analyserats återspeglar tidigare klimatförändringar och det kan därför tyckas ologiskt att utesluta framtida. Klimatförändringar kommer med stor sannolikhet inträffa och det mest naturliga borde därför vara att integrera dem i ett basscenario. SKB:s basscenario utan klimatförändringar kan dock vara användbart som ett referensfall eller specialfall (t.ex. för att illustrera effekter av mänsklig klimatpåverkan som förskjuter framtida istider).

Vidare anser myndigheterna att med den betydelse bufferten har för att kapseln skall fungera som avsett, och därmed göra det möjligt att tillmäta isolering av radionukliderna en stor roll, hade det varit väl motiverat med en mer omfattande diskussion och utvärdering av möjliga felfunktioner för bentonitbufferten i SR 97. Betydelsen av buffertens diffusionsmotstånd för radionuklidtransport illustreras i klimatscenariot. För basscenariot hade det varit intressant även med en mera fullständig felanalys som t.ex. visar buffertens betydelse för att begränsa kopparkorrosionen. En sådan felanalys bör också ha med alternativ som utreder felaktig tillverkning, hantering och applicering av bentonitblock.

Även den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) framhåller att defekter i de tekniska barriärerna behöver belysas tydligare. Detta gäller såväl eventuell förekomst och typ av signifikanta defekter hos kapseln, som möjliga fel hos bentoniten eller fel vid deponeringen. Myndigheternas syn på analysen av defekter hos kapslar berör såväl inverkan av materialets egenskaper på kopparkorrosionen (se avsnitt 1.3.6 i denna bilaga) som vilka storlekar på defekter som analyserats (se avsnitt 2.3.2 i denna bilaga).

I basscenariot kommenterar SKB inte närmare bränslets omvandlingar i en intakt kapsel annat än att strålningsfältet kan ge upphov till bildning av salpetersyra genom radiolys kvarvarande luft och vatten samt bildning av heliumgas från alfasönderfallet. Dessa processer bedöms dock inte ha någon säkerhetsmässig betydelse.

Myndigheterna anser, i likhet med Kasam (SKI, 2000b), att beskrivningen av basscenariot i ett tidsperspektiv med indelningen de inledande hundra åren, hundra till tiotusen år, samt tiden efter tiotusen år, är pedagogiskt tydlig. Samtidigt vill dock myndigheterna påminna om formuleringarna i SSI:s föreskrifter som anger att slutförvarets skyddsförmåga för de första tusen åren efter förslutning särskilt skall belysas. Scenariots relevans för tiden efter 10 000 år har kommenterats av myndigheterna (se avsnitt 4.3.5).

### 1.3.2 Strålrelaterad utveckling

För basscenariot, som alltså innebär en intakt kapsel, anser SKB att förståelsen av de strålningsrelaterade processerna är god. Tillgången på data och modeller av god kvalitet anses också var god.

Myndigheterna instämmer i dessa slutsatser. De fysikaliska förlopp som här avses (radioaktivt sönderfall och absorption av strålning) är enligt myndigheternas uppfattning bland de mest väl kända av de processer som behöver beaktas i en säkerhetsanalys.

Bränslets innehåll av vissa aktiveringsprodukter och transuraner är dock känt med mindre god noggrannhet, vilket också påtalats i bilaga 1, avsnitt 1.4.2. Detta har emellertid liten eller ingen inverkan på de förhållanden som gäller för basscenariot.

Under denna rubrik diskuterar SKB begreppet farlighet och visar kurvor över hur radio-toxiciteten hos bränslet avtar med tiden. Myndigheterna anser visserligen att sådana avklingningskurvor är illustrativa, men att det också finns begränsningar för de slutsatser som kan dras av dem. SKB kommer med hänvisning till dessa kurvor fram till att farligheten hos bränslet avtagit till i nivå med motsvarande mängd naturligt uran efter i storleksordningen 100 000 år. Det bör dock observeras att lösligheten hos vissa radionuklider, framförallt I-129, i bränslet är så hög att denna jämförelse endast kan gälla fall där spridning av radionuklider ej förekommer (vilket i och för sig är korrekt för SKB:s basscenario). Detta förhållande har påtalats också av Kasam (SKI, 2000b).

### 1.3.3 Termisk utveckling

SKB anger att designkriteriet högst 100°C på kapselns yta alltid går att uppnå, antingen med mindre bränsle i kapslarna eller genom att ha längre avstånd mellan dem. SKB hänvisar till Ageskog och Jansson (1999) för beräkningar av kapselns yttemperatur.

Myndigheterna anser att beräkningarna av Ageskog och Jansson (1999) visar att designvillkoret kan uppfyllas genom att reglera mängden bränsle eller avståndet mellan kapslarna. SKI:s konsulter Goblet och de Marsily (SKI, 2000c) påpekar att SKB inte analyserar känsligheten för antagandena om temperaturutvecklingen i bränslet (utbränningsgrad, lagringstid etc.), men att beräkningarna på ett tillräckligt, men indirekt sätt, visar att den typen av parametrar kan optimeras från temperaturkravet.

Designkriteriet är enligt SKB satt för att undvika kokning och därpå följande anrikning av salter på kapselytan, vilket skulle kunna ge korrosionseffekter som är svåra att analysera. Myndigheterna håller med om att sådana korrosionseffekter skulle kunna vara svåra att analysera, men anser att designkrav behöver bättre motivering, t.ex. genom att beskriva vad man faktiskt vet om möjliga kemiska förändringar och korrosion under de förhållanden som skulle kunna uppstå om man får temperaturer över designkravet.

I beräkningarna av värmetransporten i berget använder SKB en modell med förenklade antaganden om närområdets geometri. Myndigheterna anser att SKB vid presentationen av resultatet bör belysa inverkan av denna förenkling. Goblet och de Marsily framför att

maximitemperaturen i området närmast kapslarna underskattas i och med att värmekällan är mer utbredd i den storskaliga modellen (än i modellen som används för beräkningarna av kapselavstånd och värmelast).

SKB anser att resultaten från beräkningarna av den termiska utvecklingen inte har direkt bäring på säkerheten utan framför allt används i beskrivningen av den mekaniska och den kemiska utvecklingen. Myndigheterna menar att kopplingarna mellan de termiska, mekaniska, kemiska och även hydrologiska processerna i framförallt bufferten behöver studeras vidare, framförallt för att kunna beskriva mättnadsprocessen. Goblet och de Marsily anser att SKB studerat kopplingarna, men inte uppdaterat dem med de senaste temperaturberäkningarna, och vidare att i synnerhet de kemiska aspekterna kräver ytterligare studier (se även avsnitt 1.3.4, Buffert/återfyllnad, i denna bilaga).

### 1.3.4 Hydraulisk utveckling

#### *Geosfären*

Olika aspekter av de hydrogeologiska förhållandena och dess framtida utveckling beskrivs i flera av bakgrundsrapporterna till SR 97 och i olika kapitel av huvudrapporten. Denna uppdelning, som delvis är ett resultat av scenariovalet i SR 97, innebär att det är svårt att få bra översikt av den hydrogeologiska utvärderingen och att många texter upprepas i både bakgrundsrapporter och i flera kapitel i huvudrapporten.

I detta avsnitt kommenteras redovisningen av den hydrauliska utvecklingen för bas-scenariot som endast omfattar den storskaliga (regionala) utvärderingen för de tre platserna. Den detaljerade modelleringen i den lokala skalan redovisas av SKB under kapseldefektscenariot och kommenteras därför av myndigheterna i avsnitt 2.3.7 i denna bilaga.

Myndigheterna anser i likhet med den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) att motivet för den lägre ambitionsnivån på den hydrauliska beskrivningen i basscenariot i förhållande till kapseldefektscenariot är oklart. Enligt myndigheternas uppfattning behövs minst lika detaljerade kunskaper om den hydrauliska utvecklingen för bas-scenariot då strömningsförhållandena påverkar grundvattnets kemiska utveckling som i sin tur påverkar de viktiga analyserna av de tekniska barriärernas isolerande funktioner.

Analyserna av den framtida hydrauliska utvecklingen är i basscenariot begränsad till effekterna av den pågående landhöjningen och har genomförts fullt ut endast för Beberg. Effekterna av landhöjningen modelleras för de första 5000 åren efter förslutning. Därefter konstaterar SKB att andra klimatförhållanden kommer att dominera. Trots detta används de hydrogeologiska beräkningsresultaten som indata till modellberäkningar av kopparkorrosion och buffertens utveckling under tidsperioder av 100 000-tals år. Denna inkonsekvens förstärker myndigheternas intryck att basscenariot bör betraktas som en utgångspunkt för beräkningarna snarare än ett verkligt scenario.

Flera av SKI:s konsulter (SKI, 2000c) efterlyser en mer systematisk utvärdering av modellosäkerheter i de regionala flödesmodellerna. Glynn ifrågasätter den förenklade representationen av berget i sprickzoner och bergmassa för att beskriva den kontinuer-

liga fördelningen av olika stora vattenförande sprickor. Glynn anser också att de valda domänstorlekarna för de regionala modellerna är alltför små. Voss efterlyser en systematisk diskussion om osäkerheter och utvärdering av de tolkade sprickzonerna i de hydrogeologiska modellerna med hänsyn till det svaga dataunderlaget utanför de undersökta platserna. Geier ifrågasätter varför SKB i Förvarssystemrapporten endast anger osäkerhetsintervall i hydraulisk konduktivitet för de regionala sprickzonerna vid Ceberg.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) anser att SKB i högre grad bör integrera analyserna av den hydrauliska och geokemiska utvecklingen. Kunskap om olika grundvattens bildningssätt och kemiska utveckling skulle t.ex. kunna användas för att testa alternativa modeller av den hydrauliska utvecklingen. Vissa analyser av platsernas historiska utveckling har gjorts inom SR 97 även om de inte är konsekvent genomförda för alla tre platserna. Myndigheternas ståndpunkt är att en samlad utvärdering av olika typer av data är nödvändig för att bygga upp en geovetenskaplig förståelse för en plats och dess historiska och möjliga framtida utveckling. Myndigheterna förutsätter att SKB i sitt fortsatta arbete med platsundersökningar planerar för sådana integrerade analyser både vad gäller behov av mätdata och modellering.

Myndigheterna bedömer sammanfattningsvis att den regionala modelleringen av hydrogeologiska förhållandena i SR 97 är omfattande och överlag av hög kvalitet även om vissa delar av analysmetodiken behöver förstärkas inför kommande platsundersökningar. Genomgången av de processer och egenskaper som kan påverka platsernas hydrauliska utvecklingen är systematiskt genomförd men strategin för att utvärdera olika hydrauliska processer behöver förtydligas, t.ex. vad gäller val av modeller och hanteringen av modell- och parameterosäkerheter.

### ***Buffert/återfyllnad***

Enligt SKB behövs i basscenariot en beskrivning av det tillstånd bufferten uppnått vid mättnad samt en uppskattning av hur lång tid mättnadsprocessen tar. Hur detaljerat beskrivningen av mättnadsförloppet behöver vara anges motstridigt som ”inte viktig i säkerhetsanalysen” respektive att det behövs ”en mer detaljerad beskrivning av den hydromekaniska utvecklingen då buffert/återfyllning vattenmätts”. SKB:s argument är att långtidsutvecklingen av systemet kommer att vara detsamma oavsett detaljerna för mättnadsprocessen så länge som sluttillståndet efter mättnad är känt.

SKB säger vidare att vattenmättnadsförloppet i buffert/återfyllning beror av tillrinningen av grundvatten till enskilda deponeringshål respektive tunnlar. SKB konstaterar också att buffertens termiska egenskaper beror av dess vattenhalt, som ändras under buffertens mättnadsförlopp. Vidare menar SKB att den termiska utvecklingen inte omfattar några processer som direkt berör förvarets isolerande förmåga.

Myndigheterna anser att Processrapporten innehåller bra genomgång av de processer som påverkar återmättnad och vattentransport. Myndigheterna ifrågasätter dock SKB:s uttalande om att förståelsen för vattenmättnadsförloppet för bentonitbufferten idag är tillräcklig för säkerhetsanalysens behov. SKB konstaterar själva att det teoretiska kunskapsunderlaget för vattenmättnadsförloppet inte är heltäckande. Det finns idag heller

inget entydigt experimentellt belägg som stödjer SKB:s antaganden om bentonitbuffertens mättnadsförlopp.

Myndigheterna anser också att kopplingarna mellan den hydrotermiska utvecklingen och den mekaniska och kemiska utvecklingen bättre behöver belysas för den tidiga utvecklingen i bufferten, eftersom även buffertens långtidsegenskaper kan påverkas av den miljö och de processer den utsätts för under ett tidigt skede (se även avsnitt 1.3.3 i denna bilaga).

Att det fortfarande finns ett stort behov av kunskapsuppbyggnad kring återmättnad av bentonitlera, även för andra länders slutförvaringskoncept, understryks av den omfattande forskning som drivs inom ramen för flera stora internationella projekt. SKB bedriver själva ett omfattande FoU-program i Äspö berglaboratorium, som förväntas ge nya insikter under de närmaste 10-tals åren.

### 1.3.5 Mekanisk utveckling

I basscenariot i SR 97 diskuterar SKB den mekaniska utvecklingen för kapseln givet den utveckling som förväntas i buffert/återfyllning. Den mekaniska utvecklingen i buffert/återfyllnad har integrerats med beskrivningen av hydraulisk utveckling, och kommenteras därför av myndigheterna i avsnitt 1.3.4 i denna bilaga. Även effekterna av berg rörelser på kapseln analyseras. En beskrivning ges även av geosfärens mekaniska utveckling och dess stabilitet på lång sikt.

De av SKB identifierade belastningsfallen täcker enligt myndigheterna in spannet av tänkbara lastfall som är intressanta att analysera eller belysa. Myndigheterna anser dock att SKB mer i detalj behöver redogöra för de antaganden om egenskaper för kapsel, bentonit och berg som ligger till grund för analysen. SKB behöver även tydligare tala om vad som tas om hand i analyser och vad som man försummar och på vilka grunder. Detta gäller även de förenklingar som gjorts för att kunna genomföra analyserna.

SKI:s konsult Stephansson (SKI 2000c) pekar även på problemet med att existerande beräkningsverktyg har svårigheter att hantera större förskjutningsbelopp i det omgivande berget på ett nöjaktigt sätt. Problemet är komplext med tre olika material att hantera vid den mekaniska analysen. SKB behöver enligt myndigheterna utreda framtida behov av modellutveckling och eventuella krav på att kunna hantera kopplade effekter. Detta gäller t.ex. mekaniska effekter för att kunna visa att den valda kapselutformningen tål SKB:s nuvarande kriterier med en postulerad förskjutning av 0,1 m längs en spricka som skär ett kapselhål. Myndigheterna noterar att SKB avser att göra om beräkningarna med olika lastfall för den kapseldesign som gäller idag. Kriteriet på 0,1 m kan då eventuellt behöva modifieras.

SKB påpekar själva att beräkningar av kapselns hållfasthet kan förbättras med mer realistiska, inhomogena materialegenskaper för olika situationer. SKB nämner även möjligheterna att kunna förbättra analysen av den hydromekaniska utvecklingen av spalten mellan kapsel och buffert i tidiga skeden. Myndigheterna ser detta som två goda exempel på behov av framtida insatser.



SKB diskuterar mycket kortfattat tiden efter värmepulsen och dess eventuella påverkan på bergmassans egenskaper. Myndigheterna delar Stephanssons synpunkt att det finns ett framtida behov av att i mer detalj studera vilka effekter denna avkylning har på bergmassan, särskilt påverkan på sprickors THM-egenskaper i och med att spännings-situationen förändras.

### 1.3.6 Kemisk utveckling

#### *Grundvattnets sammansättning*

Sammansättningen av grundvatten och dess fördelning i bergrunden på en kandidatplats bör analyseras och ingå som betydelsefull del i säkerhetsanalys, eftersom den kan ge många viktiga ledtrådar om hur både kemiska processer, klimat och hydrologi utvecklas. Vissa grundvattenkomponenter har dessutom en avgörande betydelse för barriärernas stabilitet, t.ex. pH, redox och salthalt. I basscenariot beskriver SKB i grova drag sammansättningen av grundvatten vid A-, Be- och Ceberg samt dess möjliga utveckling under inverkan av landhöjningen men i frånvaro av klimatförändringar. Dessutom beskrivs kortfattat återmättnadsfasen som inträder vid förslutning av förvaret.

Myndigheterna anser att analysen av A-, Be- och Cebergs kemiska utveckling i frånvaro av klimatförändringar, men under inverkan av landhöjning ter sig mindre relevant. Detta måste betraktas som orimliga förutsättningar för alla tidsperioder längre än 1000-talet år. Den kemiska sammansättningen på de grundvatten som analyserats återspeglar tidigare klimatförändringar och det måste därför anses ologiskt att utesluta framtida (se även avsnitt 1.3.1 i denna bilaga)

Myndigheterna håller med SKB om att återmättnadsfasen med återgång till reducerande kemiska betingelser sannolikt kommer gå snabbare än man tidigare räknat med inte minst beroende på inverkan av mikrobiella processer.

Hur stora mängder organiskt material som kan lämnas kvar vid förslutning eller på om det är acceptabelt att lämna större mängder cement i direkt anslutning till deponeringshålen beskrivs inte i SR 97. Myndigheterna anser att möjliga negativa effekter som kan uppstå beroende på närvaro av sådana material behöver belysas.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) tar upp frågor som genom en bättre belysning skulle ge större robusthet och mer transparent stöd åt säkerhetsanalysen. Bland annat nämns en förbättrad förståelse för ursprung och utveckling hos grundvattnet, liksom en bättre dokumentation och argumentation kring vilka förhållanden som skulle kunna äventyra de reducerande förhållandena på förvarsdjup.

#### *Buffert/återfyllnad*

Bufferten runt kapseln har en nyckelroll i att upprätthålla stabila och gynnsamma betingelser invid kapselns yta. Bentoniten skall normalt medföra: att tillförseln av korroderanter (t.ex. löst sulfid) blir långsam och begränsas av diffusiv transport, att mikrobiella processer vid kapseln (t.ex. sulfatreduktion) begränsas samt att uttransporten av radionuklider från en defekt kapsel blir långsam. I ett mycket långt tids-

perspektiv kan man inte utan vidare förutsätta att dessa och andra viktiga funktioner upprätthålls, bl.a. får inte svälltryck och plasticitet försämrats för mycket. I ett kort tidsperspektiv måste man därvid försäkra sig att återmätningen blir fullständig så att den höga temperaturen invid kapselytan inte försämrar bentonitens egenskaper.

Återfyllnaden består av en blandning av bergkross och bentonit. Den skall täta tillfarts- och deponeringstunnlar så att snabba transportvägar inte bildas i berget. Eftersom svälltrycket i återfyllnaden är lägre än i bufferten runt kapslarna, kan inverkan av grundvatten med höga salthalter få en större betydelse.

SKB redovisar i basscenariot hur bentoniten kan påverkas av kemiska processer. Man konstaterar bland annat att illitisering och cementeringsreaktioner liksom bufferterosion/kolloidbildning sannolikt inte kommer att förekomma i betydelsefull utsträckning över tidsskalor på 100 000-tals år. Däremot menar SKB att jonbytesreaktioner (från Na-bentonit till Ca-bentonit) samt upplösning av accessoriska mineral (kalcit och pyrit) sannolikt kommer att bli betydande, vilket dock bara marginellt påverkar bentonitens funktioner. SKB redovisar inte närmare återfyllnadens kemiska utveckling men menar att frågan behöver behandlas i framtida säkerhetsanalyser.

Myndigheterna har inget att invända mot hur bentonitens långsiktiga förändringar beskrivs i basscenariot men konstaterar att kunskapsnivån vad det gäller bentonitens mineralreaktioner bör kunna utvecklas ytterligare. Den viktigaste osäkerheten är förmodligen kopplad till den långsiktiga utvecklingen av grundvattenkemin, vilket kommenteras i samband med klimatscenariot. Eftersom de fall som i störst utsträckning skulle kunna påverka bufferten återfinns i klimatscenariot vill myndigheterna påpeka det olämpliga i att analysera förvarets isolerande funktion i basscenariot.

### ***Korrosion av kopparkapsel***

Med tanke på att syftet med basscenariot är att studera kapselns isolerande funktion, anser myndigheterna att beskrivningen av korrosion av kopparkapseln har gjorts alltför kortfattad. SKI framförde i granskningen av SKB:s FUD-program 98 att det centrala inom korrosionsområdet är hur kunskaperna om de olika korrosionsprocesserna används i antaganden och analyser som ligger till grund för dimensioneringen av tjockleken på kopparn, och att SKB därför bör göra en uppdaterad sammanställning av kunskaperna om olika korrosionsprocesser på koppar i slutförvarsmiljö. Ett sådant uppdaterat kunskapsunderlag och en mer ingående beskrivning av hur modeller och data används, bör användas i kommande säkerhetsanalyser.

I den internationella expertgranskningen (SKI, 2000a) framförs att SKB har utvecklat en sund och övertygande vetenskaplig grund för att beskriva kopparhöljets utveckling under lång tid, men att ytterligare experimentella studier av vissa korrosionsprocesser behövs, bl.a. korrosion i närvaro av syre (t.ex. innan reducerande förhållanden uppnåtts efter deponering) och villkor för lokal korrosion.

I analysen saknar myndigheterna en beskrivning av hur kopparmaterialets beskaffenhet påverkar korrosionen, i synnerhet eventuella skillnader mellan svetsfogarna och resten av materialet. Detta inkluderar t.ex. kornstorlek, initiala defekter som är mindre än kraven i

acceptanskriterierna, och speciellt ytdefekter (p.g.a. avvikelser från specificerad ytfinhet, hanteringsskador etc.).

Som tidigare framförts anser myndigheterna, i likhet med den internationella expertgruppen (SKI, 2000a), att analysen av kopparkorrosion även behöver inkludera inverkan från den hydrauliska och framförallt den geokemiska utvecklingen hos grundvattnet till följd av klimatförändringar..

Spänningskorrosion tas inte alls upp, med hänvisning till Processrapporten. Som redan nämnts, anser myndigheterna att SKB tydligare måste visa att spänningskorrosion inte kan förekomma på kopparhöljet (se bilaga 1, avsnitt 1.4.3).

Inverkan av mikrobiella processer vid kapselns yta på kopparkorrosionen är en annan viktig fråga där det behövs ytterligare belegg som stöd för SKB:s åsikt att bakteriell sulfidkorrosion kan uteslutas i förvarsmiljön.

Myndigheterna håller med om att det krävs mycket höga kloridjonhalter för att klorid skall ha betydelse för korrosion på koppar. Däremot menar myndigheterna att korrosion även skulle kunna ske vid pH-värden högre än 3 vid temperaturer över 100°C (Hermansson och Eriksson, 1999). Situationer med hög temperatur och hög kloridjonhalt skulle kunna vara tänkbara i ett tidigt skede efter deponering. Myndigheterna anser därför att en mer omfattande och nyanserad beskrivning behövs.



## 2 Kapseldefektscenariot

### 2.1 SKB:s redovisning

Det av SKB postulerade kapseldefektscenariot utgår ifrån initiala defekter orsakade av tillverkningsfel. I avsaknad av data från serietillverkning av kapslar förutsätter SKB att högst 0,1 % av kapslarna är behäftade med sådana tillverkningsfel. Kapseldefekter orsakade av korrosion eller mekanisk påverkan utesluts, vilket diskuteras i samband med basscenariot respektive tektonik/jordskalvsscenario. I scenariot förutsätts att klimat- och biosfärsförhållanden inte förändras med tiden.

De initiala defekterna ger efter en viss fördröjning upphov till ett läckage och en spridning av radionuklider, vilket analyseras och diskuteras i kapitlet. De radionuklider som förväntas nå biosfären innan de avklingat ger upphov till ett hypotetiskt dos- och riskbidrag. Beräknad dos och risk för detta scenario ligger till grund för de jämförelser med SSI:s strålskyddskriterier som SKB presenterar.

Detta scenario baseras i högre grad än de övriga på kvantitativa analyser, vilka fokuseras på grundläggande mekanismer för retention och spridning av radionuklider. I SKB:s analys ges mekanismer för retention i de tekniska barriärerna stor betydelse, t.ex. fördröjd transport från kapseldefekt till omgivande buffert, långsam bränsleupplösning, begränsad löslighet för vissa radionuklider och adsorption av radionuklider på buffert-mineral. Platsspecifika egenskaper kommer främst in i beräkningarna via analyser av hydrauliska egenskaper för A-, Be- och Ceberg. Den hydrauliska analysen ligger till grund för beräkningar av radionuklidtransport i geosfären och bedömning av utsläppspunkter till biosfären. Hypotetiska doser till människa beräknas sedan genom att utflödet till biosfären omvandlas till dos med hjälp av dosomvandlingsfaktorer som tagits fram för vanligt förekommande biosfärstyper. SKB anser sig inte kunna förutsäga vilken biosfär som kommer utvecklas i ett visst område utan utgår i de flesta fall från de biosfärstyper som förutsätts vara mest ogynnsamma (t.ex. torvmossar).

Beräkningsresultat redovisas för fall med ingångsdata som ansetts vara rimliga (dvs. varken optimistiska eller pessimistiska) samt fall med kombinationer av rimliga och pessimistiska data. Dessutom redovisas ett antal fall där en viktig säkerhetsfunktion tagits bort helt med syftet att belysa de olika barriärernas relativa betydelse. Slutligen har SKB tagit fram riskanalyser för A-, Be- och Ceberg för de viktigaste biosfärstyperna (brunn och torvmosse) genom att statistisk sammanställa resultat från slumpvisa realiseringar med pessimistiska och realistiska data.

### 2.2 Remissynpunkter

Statens råd för kärnavfallsfrågor, Kasam, menar att kommande säkerhetsanalyser bör baseras på realistiska antaganden om kapseldefekter baserade på genomförda prov med ett relativt stort antal kapslar.

Vad det gäller bentonit anser Kasam att de kemiska egenskaperna respektive dess naturliga variationer behöver undersökas bättre. Enligt Kasam, utnyttjas inte kunskaperna om bentonitens egenskaper på ett optimalt sätt då endast konditionella parametrar utnyttjas för att beskriva sorption. Mera sofistikerade sorptionsmodeller borde tas fram för de viktigaste nukliderna. Det är också angeläget att redovisa de förändringar av bentonitbufferten och återfyllnaden, som kan förväntas på grund av förändrad geokemi, och hydrologi, som bl.a. förväntas orsakas av klimatpåverkan.

Kasam värdesätter att SKB utvecklat modellerna för att beskriva transport- och koncentrationsprocesser i biosfären. Enligt Kasam är redovisningen i SR 97 dock inte tillräckligt transparent. En läsare har svårt att följa hela beräkningskedjan som till slut ger ett dosbidrag till människan. I framtida analyser efterfrågas i detalj redovisade beräkningsexempel. Vidare bör de använda beräkningsmodellerna vidareutvecklas då de fortfarande kan anses vara primitiva. När det gäller EDF-faktorer bör slutmålet vara att få tidsberoende dosomvandlingsfaktorer vilket motiveras av de stora skillnader i halveringstid som föreligger mellan de olika radionukliderna.

Pereira vid Stockholms Universitet anser att SKB borde använt sig av en mer systematisk probabilistisk ansats för att modellera radionuklidtransport. Pereira menar att SKB:s riskanalys är knapphändig och i själva verket endast tagits fram som ett komplement till en i grunden deterministisk analys. Denna deterministiska ansats anses vara mycket begränsande då den bara ger enstaka stickprov som gör det svårt att med ett rimligt antal beräkningar få en god överblick av helheten.

Enligt Pereira är Datarapporten inte komplett vad det gäller diskussionen av de probabilistiska fördelningarna. Sannolikhetsfördelningar borde diskuterats för t.ex. sorptionsdata och inte enbart hydrologiska parametrar. Om bristande kunskaper om en parameter föreligger är det ett starkt skäl för att parameterns betydelse illustreras genom att använda en fördelning som täcker osäkerheten i datamaterialet.

Pereira anser vidare att konceptuella osäkerheter inte redovisas explicit när det gäller radionuklidtransport (t.ex. COMP23, FARF31), på samma sätt som genomförts för hydrologimodellerna. Reducering av komplexa 2D- och 3D-modeller till 1D-modeller kan introducera konceptuella fel som är svåra att tolka. Känslighetsanalyser utförda med de starkt förenklade modeller för konsekvensanalys kan ifrågasättas med tanke på detta. Dessa bör istället utföras med de mera detaljerade forskningsmodellerna.

Kurt-Olof Carlsson ifrågasätter om kapseldefekts scenariot är komplett, bland annat med tanke på nya resultat från USA rörande transport av plutonium.

Uppsala universitet efterlyser en redovisning om betydelsen av gastransport från stora djup för säkerheten vid förvar av kärnavfall.

Tord Jonsson anser att val av referensbränsle borde motiveras med en jämförelse med utbränningsgraden för det bränsle som redan finns i CLAB. Vidare påpekas att bestrålningshistoriken bör beaktas för att få fram säkrare information om fissionsprodukternas fördelning. Jonsson nämner fenomenet ”bonding” som innebär att bränslet fastnar vid kapslingsmaterialet. Spalten mellan bränsle och kapsel existerar normalt inte i hög-

utbränt bränsle utan den fria volymen har istället omfördelats till sprickor i det sönderdelade bränslet.

## 2.3 SKI:s och SSI:s granskning och bedömning

### 2.3.1 Transport- och retardationsprocesser för radionuklider

Säkerhetsanalysens kvalitet är helt avhängig den vetenskapliga förståelsen av grundläggande processer och de data från vilken radionuklidtransport och konsekvensanalys utgår ifrån. I SR 97 finns dessa aspekter dokumenterade i två särskilda rapporter varav den ena behandlar processförståelse och den andra motiverar valet av data för beräkningar. Myndigheterna anser att SKB i grunden har valt en bra metod att strukturera den information som erfordras och att upplägget ger möjlighet att gradvis utveckla och förfinas underlaget inför kommande analyser. Myndigheterna håller dock med Tsang, Wilmot och Crawford m.fl. (se avsnitt 4.3.11) som menar att motivering av de många beslut som fattats i en säkerhetsanalys som SR 97 fortsättningsvis måste dokumenteras bättre än vad som framkommer av Process- och Datarapporten.

I samband med att SKB definierar de konceptuella modellerna för radionuklidtransport och konsekvensanalys sorteras en stor andel av de processer som finns beskrivna i Processrapporten bort. Konceptualiseringarna som används innebär dessutom så gott som alltid att de processer som beaktas förenklas i olika grad, vilket i sin tur påverkar valet av de parametrar som hör ihop med modellerna. Detta är en naturlig process som är oundviklig för att komma fram till en beräkningsmodell som är överblickbar. Myndigheterna anser dock att SKB borde eftersträva att på ett mer systematiskt sätt beskriva och undersöka de osäkerheter och förenklingsfel som följer av detta förfarande samt hur de har hanterats i säkerhetsanalysen.

I de följande avsnitten ges några mera specifika kommentarer kring de processer, modeller och data som ingår som del i konsekvensberäkningarna. En mer komplett och detaljerad genomgång finns för vissa delområdena och dessa redovisas i de utlåtanden som SKI:s konsulter bidragit med (SKI, 2000c).

#### *Lösligheter för radionuklider*

Arthur och Zhou (SKI, 2000c) ifrågasätter om SKB:s termodynamiska databas för radionuklider (Nagra/SKB-97TDB) kan anses vara tillräckligt tillförlitlig. Arthur och Zhou anser det vara tveksamt om författarna till databasen försäkrat sig om att alla data är kompatibla med avseende på grundläggande termodynamiska definitioner. Bruno m.fl. (1997) har visserligen gjort en bedömning av noggrannheten genom att jämföra beräknade lösligheter med koncentrationer av radionuklider i naturliga system och försök med använt bränsle. Arthur och Zhou menar dock att grundkravet intern konsekvens ("internal consistency") måste vara uppfyllt först, varför det finns anledning för SKB att kontrollera och uppdatera sin databas så att det kan visas att den uppfyller sådana kvalitetskrav.

Arthur och Zhou anser rent generellt att utvecklingen av kemin i närområdet ägnats förhållandevis liten uppmärksamhet i SR 97, jämfört med säkerhetsanalyser från andra

kärnavfallsprogram (McKinley och Savage, 1994). De mest relevanta resultaten presenteras i Bruno m.fl. (1999) men dessa används inte som utgångspunkt för löslighetsberäkningarna. Arthur och Zhou rekommenderar SKB att förfinas sina metoder att uppskatta porvattensammansättningen i bentonit, bl.a. genom att beakta att jonbytesreaktioner även involverar tetraediska och oktaedriska positioner. Det är även önskvärt att parametrar i jonbytes- och ytkomplexeringsmodeller inte enbart utgår ifrån resultat från korttidsförsök (se t.ex. Savage m.fl., 1999).

Ekberg (SKI, 2000c) anser att SKB borde ägna mer uppmärksamhet åt hur osäkerheter hanteras vid uppskattningen av lösligheter för radionuklider (Bruno m.fl., 1997). Det krävs bland annat en mer detaljerad genomgång av hur olika grundläggande faktorer (stabilitetskonstanter, vattenkemi m.m.) påverkar de beräknade lösligheterna. Tillgängliga metoder kan användas för att på ett mer systematiskt sätt propagera kvantitativa mått på olika typer av osäkerheter vidare i beräkningskedjan (Haworth m.fl., 1998; Helton 1993 och 1994). Dessa har utnyttjats i andra länders kärnavfallsprogram och bör även kunna utnyttjas i SKB:s framtida säkerhetsanalyser.

Även om de i SR 97 beräknade lösligheterna troligtvis är konservativa anser myndigheterna liksom flera av SKI:s konsulter att metoden för löslighetsberäkningar kan förbättras. Vissa utgångspunkter för löslighetsberäkningar kan bli tydligare i kommande analyser, t.ex. hantering av data, propagering av osäkerheter samt uppskattning av porvattensammansättningar i bentonitbufferten. Myndigheterna rekommenderar vidare SKB att utvärdera vilka porvattensammansättningar som kan förväntas inuti en havererad kapsel, eftersom SKB förutsätter ett mycket begränsat utbyte mellan en defekt kapsel och omgivande buffert. Processer som påverkar porvattensammansättningen inuti en havererad kapsel innefattar t.ex. bränsleupplösning, radiolys eller korrosion av järninsatsen.

### ***Bentonitbuffert och återfyllnad***

Stenhouse (SKI, 2000c) påpekar betydelsen av att aktuell och förväntad porvattensammansättning beaktas vid bestämning respektive användning av Kd-värden för bentonit (exempelvis Cho m.fl., 1995). I underliggande referenser till SR 97 saknas antingen sådana överväganden (t.ex. Yu och Neretnieks, 1997) eller så finns motstridiga eller oklara uppfattningar representerade. I exempelvis Ochs (1997) anses komponenter i bentoniten i huvudsak bestämma porvattensammansättningen, medan exempelvis Bruno m.fl. (1997) även förutsätter att det motsatta kan gälla, d.v.s. att grundvattensammansättningen är styrande. Bruno m.fl. (1999) har senare tagit fram helt andra porvattensammansättningar för bentonit men dessa används inte i SR 97. Detta kommenteras även av SKI:s konsulter Arthur och Zhou (se ovan).

Enligt Stenhouse kan Kd-värden bestämda med s.k. batch-försök vara behäftade med stora fel varför resultat från sådana försök skall jämföras med resultat från diffusionsförsök för alla viktiga radionuklider. Diffusionsförsök kan anses mer representativa för de förväntade förhållandena i förvaret. SKB bör således försäkra sig om att det experimentella underlaget är tillräckligt. Baserat på jämförelser med andra program anser Stenhouse att SKB:s realistiska Kd-värden är rimliga. SKB:s val av pessimistiska värden anses dock vara tveksamt då det sannolikt krävs Kd-värden som är två tiopotenser lägre än de realistiska för att täcka in hela osäkerhetsintervallet.



Myndigheterna föreslår att SKB för att belysa konceptuella osäkerheter parallellt utvärderar flera olika metoder för att uppskatta hur porvattensammansättningen i bentonit utvecklas både på kort och lång sikt. Resultaten ger då även ett mått på osäkerheterna och dessa bör utnyttjas konsekvent för modelleringen av både sorption och lösligheter i bufferten. Det bör visas att sorptionsdata som utnyttjas antingen är kompatibla med hela intervallet av förväntade porvattensammansättningar eller att flera uppsättningar data finns tillgängliga som täcker in hela intervallet. Myndigheterna rekommenderar dessutom SKB att ta hänsyn till utarmningen av buffertens redoxkapacitet som orsakas av radiolys, vilket främst gäller fall då plutonium och americium kvarhålls i bufferten och eventuellt kapseln.

### ***Gränsskiktet buffert/återfyllnad geosfär***

I SR 97 förutsätts att buffert och återfyllning bibehåller sina transportegenskaper under tidsperioder upp till en miljon år. För beskrivning av transport mellan buffert/återfyllning och omgivande berg vore det dock av intresse att utvärdera de processer som skulle kunna leda till förändringar av transportegenskaperna. Det förefaller t.ex. inte otänkbart att återfyllnaden kan omvandlas så att en preferentiell transportväg bildas invid taket på deponeringstunnlarna. Förändringar av igenfyllda borrhål kan också behöva beaktas.

### ***Geosfär***

Stenhouse (SKI, 2000c) anser att SKB:s urval av realistiska  $K_d$ -värden för transport i geosfären rent generellt är rimliga men menar att de osäkerhetsintervall som diskuteras sannolikt är för begränsade. I Datarapporten beskrivs intervallen som breda, men Stenhouse påpekar att de inte ens kan anses som breda jämfört med den variabilitet som uppmäts vid de experimentella bestämningarna. Eftersom osäkerhet i vattenkemi och mineralogi måste läggas till den experimentella osäkerheten håller myndigheterna med om att det kan finnas anledning att ifrågasätta SKB:s val av pessimistiska värden. SKB rekommenderas att med hjälp av känslighetsanalyser närmare undersöka valet av konservativa värden. Dessa kan mycket väl resultera i att man kommer fram till att ytterligare experiment erfordras då det experimentella underlaget för vissa nuklider är mycket begränsat. Stenhouse föreslår att osäkerhetsintervallet för vissa nuklider (t.ex. americium) utökas för att ta hänsyn till effekter av förekomsten av humusämnen.

De flödesrelaterade transportparametrarna sammanfattas i SR 97 med den s.k. F-faktorn som innehåller tre parametrar: flödesvätt yta tillgänglig för sorption och matrisdiffusion, transportsträcka och grundvattenflöde (Darcyflöde). Modellberäkningarna i SR 97 och andra säkerhetsanalyser visar att F-faktorn är helt avgörande för bergets förmåga att begränsa transport och utläckage av sorberande radionuklider till biosfären.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) liksom Wörman och Xu, Voss resp. Geier (SKI, 2000c) framhåller att utvärderingen av flödesvätt yta är behäftad med stora konceptuella osäkerheter och ett svagt dataunderlag. Voss pekar t.ex. på att transporten av radionuklider kan vara ojämnt fördelad i bergets sprickor vilket medför att den tillgängliga ytan för sorption och matrisdiffusion reduceras. SKB diskuterar dessa problem i Datarapporten men framhåller godtyckligt att den valda metoden för att skatta den flödesvätt ytan från konduktiv sprickfrekvens i borrhål är tillräckligt pessimistisk. Myndigheterna anser dock att de valda värdena (rimligt värde =  $1 \text{ m}^{-1}$  resp. pessimistiskt värde =  $0,1 \text{ m}^{-1}$ ) inte nödvändigtvis speglar de osäkerheter som denna viktiga

parameter är behäftade med. Myndigheterna förutsätter att SKB i sitt fortsatta arbete med platsundersökningsprogram prioriterar utveckling av mätmetoder som kan förstärka dataunderlaget för den flödesvättan ytan.

SKB behandlar inte explicit inverkan av kolloider i SR 97 utan hänvisar till tidigare studier som visat att kolloider förmodligen har en liten inverkan på radionuklidtransport (Allard m.fl., 1991). Myndigheterna håller med SKB om att kolloidtransport sannolikt inte får en avgörande betydelse så länge bufferten förblir intakt samt så länge grundvattnets sammansättningen inte förändras avsevärt. Det finns dock möjliga fall då mycket utspädda grundvatten dels skulle medföra högre kolloidhalter, dels skulle kunna påverka bufferten.

Inverkan av kolloider bör också utvärderas för fall då bufferten inte fungerar som avsett, t.ex. beroende på fel vid tillverkning och inplacering. I ytnära grundvatten och ytvatten kan kolloider ge den dominerade transportvägen. Även om en överslagsberäkning ger vid handen att transport med kolloider tillför ett litet bidrag till dos och risk utesluter inte detta att nuklider som normalt har mycket begränsad rörlighet t.ex. aktinider relativt snabbt skulle kunna nå biosfären. Dessa nuklider är åtminstone potentiellt betydelsefulla och kan dessutom ha helt andra egenskaper än de förhållandevis lättroliga nuklider som normalt tillför betydande dos och riskbidrag. Myndigheterna anser därför att det är befogat att kvantitativt illustrera inverkan av kolloidal radionuklidtransport samt inkludera den som en del i konsekvensanalysen.

### 2.3.2 Felanalys kapsel

SKB menar att det i dag inte går att uppskatta antalet kapslar med initiala defekter. I SR 97 postuleras 0,1 %, men det verkliga antalet förväntas bli lägre. Detta postulerade designkriterium tillämpas dock inte i det realistiska fallet i analysen. I stället antas att endast 1 kapsel är behäftad med initiala defekter, vilket motsvarar en felfrekvens på 0,025 %.

Myndigheterna håller med SKB om att en realistisk uppskattning av antalet defekta kapslar endast kan göras när en serieproduktion har inletts. Eftersom det vare sig finns en teoretisk eller empirisk grund att utgå ifrån, är det inte möjligt att bedöma om 0,1 % är ett rimligt värde. I konstruktionsförutsättningarna för kapseln (Werme, 1998) anges att antalet kapslar med upptäckta fel som är större än vad acceptanskriterierna tillåter högst får vara 0,1 %. Acceptanskriterierna är dock inte specificerade. Genom ett resonemang som redovisas i Datarapporten antar SKB en defektstorlek på 1 mm<sup>2</sup> i kapseldefektscenariot. Myndigheterna anser dock att SKB bör redovisa effekten av såväl mindre defekter (som enligt myndigheterna inte kan uteslutas) som defekter med annan form (t.ex. den perifera spricka som är utgångspunkten i resonemanget i Datarapporten).

### 2.3.3 Felanalys buffert

SKB redovisar inga fall i SR 97 där bufferten inte fungerar som avsett. Myndigheterna anser att SKB liksom för kapseln borde redovisa vilka avvikelser och fel som kan före-

komma vid t.ex. anskaffning av material, tillverkning av bentonitblock, inplacering av bentonitblock, och återmättnad. En eventuell inverkan av dessa bör belysas inom ramen för säkerhetsanalysen.

### 2.3.4 Kriticitetsanalys

SKB konstaterar att med nuvarande utformning av kapseln kan kriticitet inte uppstå om vatten läcker in i kapseln, förutsatt att bränslet är intakt och hänsyn tas till bränslets utbränning. SKB hävdar vidare att sannolikheten för kriticitet utanför kapseln på grund av utläckage av fissilt material är mycket liten, och att konsekvenserna av en eventuell kriticitet skulle vara ”små”.

Myndigheterna håller med om att kriticitet inte är trolig förutsatt att bränslet är tillräckligt utbränt och geometrin inte förändras. Denna slutsats stöds av en nyligen genomförd SKI-studie (Hicks och Prescott, 2000). Det är dock en svaghet att hänsyn måste tas till utbränningen, eftersom detta medför omfattande administration och troligen även kontrollmätningar vid placeringen av bränslet i kapseln.

Myndigheterna anser att SKB bör ytterligare utreda betydelsen av den stora förekomsten av järn i kapseln och risken för kriticitet i samband med deponering av lågutbränt bränsle och möjligen MOX-bränsle. Myndigheterna anser vidare att det behövs en fördjupad analys av sannolikheten för kriticitet på lång sikt.

### 2.3.5 Utveckling av defekt kapsel

I tidigare säkerhetsanalyser av KBS-3 liknande förvar, exempelvis SITE-94, har det förutsatts att kopparkapselns funktion som fysikalisk barriär upphör när omgivande grundvatten kan komma in i kapseln via en defekt. Detta har motiverats med att kopparkapseln kommer att deformeras betydligt genom svällning som orsakas av bildningen av korrosionsprodukter från järninsatsen. SKB har i SR 97 använt ett nytt angreppssätt baserat på detaljerade modellstudier av de mekanismer som förväntas deformera kapseln. Man har dragit den slutsatsen att en större deformation av kapseln inte äger rum förrän 200 000 – 500 000 år efter den ursprungliga tillförseln av grundvatten. SKB anser, baserat på modellstudier av Bond m.fl. (1997) resp. Takase m.fl. (1999), att det mycket utdragna förloppet beror på att vätgas, som bildas vid korrosion av järn, bygger upp ett mottryck (mot det hydrostatiska trycket) som starkt begränsar tillförseln av grundvatten (som är nödvändig för att upprätthålla korrosionen).

SKI:s konsulter Arthur och Zhou (SKI, 2000c) anser att SKB:s kapselmodell rent generellt bygger på sunda principer men menar att de kemiska processernas inverkan förenklats för mycket. De påpekar att det verkliga systemet är delvis öppet i motsats till det experimentella system som SKB baserat sina slutsatser på. Tillförsel av t.ex. CO<sub>2</sub>(g) och H<sub>2</sub>S(g) måste eventuellt beaktas, vilket skulle kunna ge resultat att andra korrosionsprodukter än magnetit är viktiga. Arthur och Zhou anser också att mekanismen för korrosion utan ett föregående kondensationssteg är oklar. Arthur och Zhou påpekar vidare att SKB:s konsulter inte har tagit hänsyn till läckaget av väte till den omgivande

bufferten via upplösning i porvattnet. Grambow (SKI, 2000c) ifrågasätter om tillräcklig hänsyn tagits till de aeroba korrosionsmekanismer som orsakas av bildningen av syre och andra oxidanter från radiolys av använt bränsle. Dessa reaktioner förväntas vara betydligt snabbare och resulterar i andra korrosionsprodukter. SKB:s konsulter Takase m.fl. anser att långsiktiga korrosionsmekanismer och korrosionshastigheter utgör betydande osäkerheter liksom effekter av att bentonit extruderas in i kapseln via den ursprungliga defekten. Extrusion av bentonit in i kapseln kan medföra att vatten sugas in i kapseln via kapillärkrafter. SKB:s konsulter Bond m.fl. anser att den största osäkerheten är förknippad med användning av korrosionshastigheter som tagits fram i korttidsförsök till att extrapolera korrosion under 100 000-tals år.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) anser att kunskapsbasen för hur kapselinsatsen begränsar radionuklidtransport inte är lika mogen som den för kopparkorrosion. Gruppen menar att frågor som behöver belysas ytterligare är den mekaniska stabiliteten hos insatsen, storlek och frekvens av tänkbara defekter samt korrosionsmekanismer och kinetik för korrosion av järninsatsen.

Det behöver knappast påpekas att SKB:s modell för en defekt kapsel måste tillmätas stor betydelse, eftersom de resultat som erhållits indikerar att utsläpp av radionuklider helt elimineras under tidsperioder av upp till 200 000 år. Detta tillför en helt ny säkerhetsfunktion till KBS-3 konceptet. Myndigheterna anser dock att SKB ännu inte visat att den föreslagna modellen verkligen förutsäger en trolig utveckling av en defekt kapsel och inte bara utgör ett idealiserat beräkningsfall. Svårigheten ligger i att SKB:s modell utgår ifrån kopplade effekter av ett flertal processer av vitt skilda karaktärer (korrosion, gastransport, grundvattenflöde, mekanisk påverkan). Ett sådant starkt kopplat system kan vara känsligt för små variationer i initialvillkor, randvillkor, hastighetskonstanter samt inverkan av sekundära processer som försumrats i SKB:s analys.

Myndigheterna anser att vissa antaganden rörande mekaniska effekter på kapseln kan ifrågasättas. SKB:s konsulter Bond m.fl. anger att kopparhöljet brister när deformationen överstiger koppars brottöjning, d.v.s. 29 %. Eftersom processen är mycket långsam borde dock krypning vara den dimensionerande processen. Detta skulle innebära att kapseln endast tål krypbrottöjningen som förväntas vara betydligt lägre än 29 %.

Myndigheterna rekommenderar SKB att ta fram ett mer detaljerat underlag för framtida analyser med t.ex. studier av hastighetsbestämmande mekanismer, kinetikdata, geo-kemisk utveckling inuti en skadad kapsel, samt transportprocesser inuti och omkring en kapsel. Det vore även värdefullt om SKB kunde genomföra någon form av försök som demonstrerar hur de mest väsentliga processerna samverkar.

Sammanfattningsvis är myndigheterna positiva till att nya kunskaper om närområdets retardationsmekanismer kartläggs och håller med om att även en defekt kapsel förmodligen har barriärfunktioner av stor betydelse som behöver utredas närmare. Samtidigt konstaterar dock myndigheterna att resultaten från kapselmodellen på detta tidiga stadium inte bör ingå som del konsekvensanalysen. Det måste anses oförsiktigt med tanke på att de konceptuella osäkerheterna i modellen är stora samt att det experimentella underlaget är begränsat.

### 2.3.6 Bränsleupplösning

SKB:s analys av bränsleupplösning utgår från en matematisk modell av radiolys (Eriksen, 1996) av vatten invid bränsleytorna, reaktioner mellan radiolysprodukter i vatten och oxidation av urandioxid ( $\text{UO}_2(\text{s})$ ). En nödvändig förutsättning i modellen är att ett högt vätgastryck kan upprätthållas, vilket anses ske kontinuerligt på grund av korrosion av järninsatsen och radiolys. Beräkningarna visar att en nästan konstant upplösningshastighet av  $10^{-8}$  andelar per år uppnås vid vätgastryck över 0,5 MPa. Av avgörande betydelse för att upplösningshastigheten ska bli så låg i de beräkningar som redo-visas är att atomärt väte bildas, som sedan förbrukar en stor del av de oxidanter som annars skulle kunnat reagera med den använda bränslet.

I vissa tidigare säkerhetsanalyser har upplösningshastigheten konservativt antagits vara proportionell mot  $\alpha$ -aktiviteten med proportionalitetskonstanten kalibrerad via försök med använt bränsle. SKB har inte använt detta antagande i SR 97 eftersom målet har varit att ta fram en realistisk upplösningshastighet snarare än en konservativ.

Större delen av radionukliderna anses föreligga i fast lösning med  $\text{UO}_2$ -matrisen och antas därför lösas upp proportionellt med den ovan diskuterade upplösningshastigheten. En mindre del av nukliderna föreligger i mer lättillgänglig form antingen i gapet mellan bränslet och dess inkapsling eller i korngränserna mellan kristallerna i  $\text{UO}_2$ -matrisen. Denna mindre del av nukliderna anser SKB konservativt att den kan lösas upp omedelbart så snart som bränslet kommer i kontakt med grundvatten ("instant release fraction"=IRF).

Grambow (SKI, 2000c) påpekar att SKB:s modell för bränsleupplösning är förknippad med avsevärda osäkerheter, som behöver kartläggas på ett mer fullständigt sätt än vad som framgår av SR 97. Bränslemodellen har inte dokumenterats och testats i en sådan omfattning att en detaljerad utvärdering är möjlig. Grambow har utvecklat en parallell modell för att försöka reproducera SKB:s resultat. Det var möjligt att reproducera resultaten, men flera mindre ändringar av modellen resulterade i upplösningshastigheter som var betydligt högre än  $10^{-8}$ . Dessa alternativa varianter kunde inte på något uppenbart sätt uteslutas.

Osäkerheter är framförallt förknippade med reaktionsordningen för de heterogena reaktionerna, hur radikaler hanteras i modellen samt det faktum att hastighetskonstanter tagits fram i experiment med obestrålad  $\text{UO}_2(\text{s})$  istället för använt bränsle. SKB diskuterar inte närmare hur den kemiska miljön inuti kapseln (Eh, pH,  $\text{pCO}_2$  etc.) påverkar upplösningshastigheten. Enligt Grambows analys dominerar radiolysreaktionerna till en början till en sådan grad att påverkan från den kemiska miljön blir liten. I takt med att strålningsfälten runt bränslet avtar kan man dock förvänta sig att de kemiska betingelsernas betydelse ökas, och de behöver därför utvärderas i säkerhetsanalysen. Till ytterligare osäkerheter som kan behöva beaktas i framtida säkerhetsanalyser hör betydelsen av spårelement och materietransporten inne i kapseln. Sammanfattningsvis ger dessa osäkerhetsmoment anledning att ifrågasätta om det över huvudtaget är möjligt att föreslå en realistisk bränsleupplösningshastighet på det sätt som görs i SR 97. Enligt Grambow hade det med dagens tillgängliga kunskap varit mer rimligt att använda sig av

en konservativ upplösningshastighet, som dock inte nödvändigtvis behöver vara momentan.

Behandlingen av den snabba frigörelsen av radionuklider från använt bränsle vid kontakt med grundvatten har hanterats på ett starkt förenklat sätt i SR 97. Myndigheterna anser att det finns flera goda skäl till att använda sig av det förenklande antagandet att både frigörelse från korngränser och metalldelar sker helt momentant. Det skulle dock kunna hävdas att detta inte är konsistent med den uttalade målsättning att ta med både realistiska och konservativa fall i SR 97. Det förefaller ju möjligt att redovisa delarna i IRF separat (nuklider i gap, korngränser och metalldelar). Det hade dessutom då varit enklare att granska materialet och jämföra med andra studier. Rent generellt är det en god överrensstämmelse mellan de andelar som SKB föreslår och de som anammats i ett EU-projekt som behandlar säkerheten vid slutförvaring av använt bränsle (Baudoin m.fl., 2000). Grambow föreslår dock att bidraget från de s.k.  $\epsilon$ -faserna och särskilt dess innehåll av teknetium utvärderas ytterligare.

Myndigheterna anser i likhet med Grambow att resultaten från SKB:s modell för upplösning av använt bränsle måste anses som otillräckligt dokumenterade för att resultaten skall vara direkt användbara som ett stöd till en konsekvensanalys. För att kunna bibehålla en hög trovärdighet för modeller och beräkningar erfordras att kvaliteten på det experimentella underlaget och de konceptuella osäkerheterna går att bedöma. Konceptuella osäkerheter kan få mycket stora effekter då experimentella data extrapoleras till mycket långa tidsperioder. Eftersom det kan ifrågasättas om kunskapsunderlaget är tillräckligt, anser myndigheterna att SKB i SR 97 borde använt mera robusta antaganden för att uppskatta en övre gräns för bränslets upplösningshastighet.

För ett så komplext område som använt bränsle bör det vara angeläget att utnyttja all känd information om bränslets egenskaper på ett optimalt sätt. Det är därför förvånande att SKB i SR 97 inte ägnar mer uppmärksamhet åt resultaten från de omfattande och mycket påkostade försöken med använt bränsle vid Studsviks laboratorium.

### **2.3.7 Hydraulisk analys av A-, Be- och Ceberg**

Syftet med den detaljerade hydrauliska modelleringen av A-, Be- och Ceberg i SR 97 är att ta fram de hydrauliska parametrar som behövs som indata till beräkningarna av radionuklidtransport i kapseldefektscenariot. Modelleringen bygger på att de framtida förhållandena för grundvattenströmningen är desamma som idag med undantag av vissa kända trender som landhöjning.

För varje plats har SKB tagit fram en detaljerad hydrogeologisk modell baserad på de geologiska strukturmodellerna. Modellerna har sedan använts för att beräkna grundvattenflöden, transportvägar och gångtider från de hypotetiska slutförvararna till biosfären. Randvillkoren till de detaljerade flödesmodellerna har tagits från de regionala modellberäkningarna som redovisas under basscenariot. För varje plats redovisas ett basfall och ett antal varianter som belyser hur olika modellosäkerheter påverkar resultaten.

Analyserna av de olika platsernas hydrauliska utveckling för kapseldefekts scenariot utgör ett mycket omfattande arbete och är överlag väl dokumenterat i SR 97 med tillhörande bakgrundsrapporter. Myndigheterna anser att Datarapporten och andra underlagsrapporter (t.ex. Saksa och Nummela, 1998) innehåller en förtjänstfull diskussion om olika typer av modell- och parameterosäkerheter som kan tänkas påverka beräkningsresultaten. Enligt myndigheternas uppfattning finns det dock vissa brister i hur dessa diskussioner har följts upp i huvudrapporten, t.ex. när det gäller motivering av valda konceptuella modeller och möjligheter till alternativa tolkningar av data, vilket illustreras nedan.

Myndigheternas helhetsbedömning är ändå att SKB:s analyser av platsernas hydrauliska utveckling är tillräckligt bra för syftet med SR 97, dvs. att identifiera tillräckligt stora parameterintervall för flöden och gångtider som indata till beräkningarna av radionuklidtransport.

### ***Val av modell för modellering av grundvattenströmning***

Myndigheterna anser inte att SKB på ett trovärdigt sätt visat att den använda huvudmodellen, HYDRASTAR, är tillämplig för att beskriva grundvattenströmning i den lokala skalan i sprickigt kristallint berg. Bland annat förbises flera av de grundläggande konceptuella osäkerheter som redovisas i Datarapporten och andra SKB-rapporter (t.ex. Skagius m.fl., 1995, s. C-4 och C-5) när tilltron till HYDRASTAR diskuteras i huvudrapporten (avsnitt 11.9.3).

HYDRASTAR är en s.k. stokastisk kontinuum modell som hanterar den naturliga spridningen i bergets vattengenomsläpplighet genom att generera multipla realiseringar av flödesfältet. SKI:s konsulter Geier resp. Voss (SKI, 2000c) ger flera exempel på osäkerheter och möjliga felkällor som enligt myndigheternas uppfattning bättre bör beaktas vid bedömningen av modellresultatens giltighet.

Geier pekar på att flera vetenskapliga studier ifrågasätter de förenklingar som görs i HYDRASTAR, bl.a. antagandet att grundvattenflödet i sprickigt berg kan beskrivas som ett poröst medium med Darcys lag. Han konstaterar vidare att tidigare modelleringar med en diskret spricknätverksmodell för Aberg och Beberg indikerar att antagandet om ett kontinuerligt medium inte är tillämpligt på de blockstorlekar som används i HYDRASTAR-modellen och för att modellera flödet kring enskilda deponeringshål. Voss ifrågasätter värdet av de framräknade flödesfördelningarna med hänsyn till de godtyckliga antaganden om fördelningar och rumslig korrelationsstruktur för bergets vattengenomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet).

### ***Användning av alternativa modeller***

Som argument för att HYDRASTAR är lämplig för sitt syfte anger SKB två studier, nämligen det Alternativa Modellprojektet (AMP) och en tidigare HYDRASTAR-modellering av fältförsök vid Aberg.

Det alternativa modellprojektet genomfördes för att analysera konceptuella osäkerheter i modelleringen av grundvattenströmning. Tre olika konceptuella modeller applicerades och jämfördes för Aberg: (1) den stokastiska kontinuum modellen HYDRASTAR, (2) en diskret spricknätverksmodell, FracMan och (3) en kanalnätverksmodell, CHAN3D.

Myndigheterna anser i likhet med den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) och flera av SKI:s konsulter (SKI, 2000c) att denna insats är mycket lovvärd. Myndigheterna anser dock inte att resultaten av AMP ger en tillräckligt god grund för att välja HYDRASTAR som ensam huvudmodell för alla tre platserna. Skälen för detta är bl.a. att:

- Utvärderingen av de alternativa modellerna är mycket begränsad vad gäller parameterosäkerheter och konceptuella osäkerheter i de alternativa flödesmodellerna – större skillnader kan förväntas för mer pessimistiska beräkningsfall.
- Modelljämförelsen har bara genomförts för Aberg – större skillnader mellan modellerna kan förväntas för Beberg och Ceberg vilka är mindre uppspruckna och därmed mindre lämpade för stokastisk kontinuumbeskrivning som i HYDRASTAR.
- Skillnaderna mellan de olika modellerna är större än vad som förespeglas i huvudrapporten. Så är t.ex. nästan alla flöden för DFN-modellen högre än medianflödet för HYDRASTAR-modellen. Vidare skiljer sig de beräknade fördelningarna åt med hänsyn till andelen mycket höga flöden resp. snabba transportvägar i de resp. modellerna.

Den andra studien som ges som argument för valet av HYDRASTAR som huvudmodell avser en inversmodellering av ett storskaligt kombinerat pump- och spårämnesförsök vid Aberg. Myndigheterna är eniga med Geier om att denna modelleringsövning ger mycket begränsad information om HYDRASTARs lämplighet att beskriva grundvattenströmning och transportvägar i kristallint berg.

Sammanfattningsvis vill myndigheterna rekommendera SKB att i sitt fortsatta arbete med platsundersökningar och säkerhetsanalyser planera för att bättre utnyttja de modelleringsverktyg, i form av alternativa konceptuella modeller för grundvattenströmning, som står till buds. Genom att pröva alternativa modeller ökar inte bara trovärdigheten för de flödesrelaterade data som behövs i säkerhetsanalysen, utan användningen ger också viktig information om vilka data som är viktiga att mäta och ger därmed möjlighet att bättre styra upp platsundersökningarna.

Eventuella framtida beslut att välja en viss konceptuell modell för modellering av grundvattenströmning bör enligt myndigheternas uppfattning baseras på en betydligt mer genomarbetad utvärdering av olika modellers trovärdighet samt en analys av övriga för- och nackdelar som t.ex. möjligheter att använda olika typer av platsundersökningsdata.

### ***Representation av småskaliga sprickzoner***

Flera av SKI:s konsulter (SKI, 2000c) kritiserar den förenklade beskrivningen av bergets heterogenitet i SKB:s huvudmodell för modellering av grundvattenströmning (HYDRASTAR). Glynn resp. Geier ifrågasätter bl.a. det faktum att flödesmodellerna inte tar hänsyn till småskaliga sprickor och sprickzoner (i längdskalan 0 – 100 m). Konsulterna anser att dessa strukturer kan vara nog så viktiga som större sprickzoner, speciellt för analysen av flödesvägar i berget mellan förvaret och omgivande sprickzoner. Geier ifrågasätter om det överhuvudtaget är möjligt att beskriva småskaliga sprickor och sprickzoner med den tillämpning av HYDRASTAR som använts inom SR 97.



Tsang resp. Geier anser vidare att SKB på ett alltför lättvindigt sätt avfärdat den hydrauliska betydelsen av borrhål, bergbulhål och pluggar. I ett längre tidsperspektiv kan det inte uteslutas att dessa hål blir vattenförande och kortsluter existerande sprickzoner.

Myndigheterna är eniga med konsulterna om att det finns brister i SKB:s hantering av småskalig heterogenitet och att dessa delvis reflekterar begränsningar i HYDRASTAR-modellen. Ambitionsnivån bedöms dock som acceptabel med hänsyn till syftet med SR 97 och den begränsade mängden data på förvarsdjup för främst Beberg och Ceberg. Myndigheterna vill dock uppmana SKB att se över sin strategi för hantering av heterogenitet på olika skalor i flödesmodellerna inför kommande arbeten med platsundersökningar.

#### ***Formulering av varianter och osäkerhetsanalys***

För varje plats har SKB formulerat ett s.k. basfall och ett antal modell- och parametervarianter för att belysa inverkan av olika osäkerheter på de beräknade flödena och gångtiderna. För att kunna göra en meningsfull granskning av fullständigheten i osäkerhetsanalysen är det enligt myndigheternas uppfattning nödvändigt att också redovisa vilka kriterier som använts vid formuleringen av varianter, vem som deltagit i besluten osv. Att som i SR 97 ange att varianterna baseras på bedömningar av en expertgrupp utan vidare referens är inte tillräckligt.

Ett viktigt resultat från den hydrauliska analysen är att spridningen i flöden och gångtider orsakade av bergets naturliga variabilitet är jämförbar med effekten av de analyserade varianterna. Myndigheterna anser i likhet med Geier resp. Voss (SKI, 2000c) att detta resultat skulle kunna bero på att de valda varianterna inte tillräckligt väl speglar osäkerheterna i de geologiska strukturmodellerna och andra hydrauliska data.

#### ***Jämförelse mellan platserna***

Baserat på de hydrauliska analyserna konstaterar SKB att Ceberg har de längsta gångtiderna och de lägsta flödena. Aberg och Beberg har högre flöden och kortare gångtider medan spridningen är störst för Aberg. Myndigheterna håller med SKB om att man bör vara försiktig att dra alltför långtgående slutsatser från dessa resultat med hänsyn till den varierande kvaliteten på platsundersökningsdata och det faktum att endast en konceptuell flödesmodell (HYDRASTAR) använts för alla tre platserna.

### **2.3.8 Radionuklidomsättning i biosfären**

SKB redovisar dosberäkningar dels på grundval av en indelning av biosfären i typekosystem, dels genom användande av ekosystemspecifika doskonverteringsfaktorer (EDF). Indelningen av biosfären innebär att markytan delas in i delområden och varje delområde associeras med det typekosystem som förväntas ge högst stråldos till människa. Typekosystemen är torvmark, brunn, jordbruk, sjö, flod och kust. EDF-värdena är beräknade för varje ekosystem och radionuklid. De anges i Sievert per Becquerel (Sv/Bq) och sammanfattar resultaten av modellberäkningar från det att en radionuklid kommer in i biosfären (Bq), sprids i biosfären, och slutligen genom olika exponeringsvägar ger en stråldos till människa (Sv). Principen att beräkna EDF-värden

är använd i andra sammanhang, t. ex. när det gäller att beräkna doskonsekvenser av utsläpp från kärntekniska anläggningar, och har också använts internationellt.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) anser att SKB har utvecklat en flexibel metod för att modellera biosfären, som är mer utvecklad än de metoder som använts i flertalet andra genomförda säkerhetsanalyser. Den innebär bl.a. att man tar hänsyn till den rumsliga variationen av olika ekosystem inom de områden som kan påverkas av radionuklider från förvaret. Samtidigt framförs att SKB inte visat att det nya angreppssättet medför andra konsekvensuppskattningar för människan än vad enklare modeller skulle visat. Den nya metoden kan vara av betydelse för att bestämma påverkan på miljön med utgångspunkt från radionuklidkoncentration i biosfären. Man pekar också på frågor som vilken roll modellering av biosfären ska ha i det långa tidsperspektivet, och vilken roll som dagens biosfär ska ha för platsval när en ytkontaminering väntas först tusentals år in i framtiden.

Myndigheternas övergripande bedömning är att SKB:s behandling av radionuklidomsättningen i biosfären innebär ett betydande framsteg. Typekosystem har introducerats, särskilda faktorer har identifierats för att beskriva transporten av radioaktiva ämnens transport i biosfären. Myndigheternas viktigaste kommentarer rör aspekter på

- övergången mellan geosfär och biosfär, samt val av typekosystem
- konservatism, fullständighet och osäkerheter vid beräkning av EDF-värden

Synpunkter på dessa aspekter redovisas utförligt nedan.

### ***Val av typekosystem och övergången mellan geosfär och biosfär***

I Nordlinder m.fl. (1999) presenteras en indelning av biosfären för de tre platserna, Aberg, Beberg och Ceberg. Markytan är indelad delområden på 250 m x 250 m och varje delområde associeras med ett typekosystem. SKB:s sätt att dela in och strukturera biosfären gör säkerhetsanalysen mer universell och realistisk och därmed ges den en högre trovärdighet.

Det sätt på vilket typekosystemen kombineras på en plats kan dock till viss del vara artificiell. Det är inte nödvändigtvis korrekt att de beräknade utsläppspunkterna från geosfären (30 meter under markytan) sammanfaller geografiskt med utströmningspunkten i biosfären. Ett möjligt alternativ är att de påverkade areorna identifieras från geosfärsberäkningar och att därefter olika typekosystem antas täcka dessa ytor.

Likheterna mellan de EDF-värden för olika nuklider som presenteras i Figur 9-24 i huvudrapporten sägs bero på att varierande utspädning är den faktor som skiljer typekosystemen mest från varandra och att denna faktor påverkar alla nuklider lika. Från beskrivningen av de använda modellerna framgår att utspädningsvolymen och areor har getts godtyckliga värden med syftet att vara konservativa. Det framgår inte om de observerade skillnaderna i EDF-värden mellan typekosystem också återspeglar olika grad av konservatism för olika ekosystem. Detta pekar på betydelsen av att beskriva övergången mellan geosfär och biosfär på ett mer realistiskt sätt vilket skulle göra det möjligt att bättre uppskatta relevanta volymer/areor.

Den genomförda osäkerhetsanalysen visar att volymen eller arean hos recipienten i biosfären kan påverka beräkningsresultatet. Eftersom radionukliderna kommer direkt in i

biosfären måste också ett antagande göras om storleken på den berörda arean eller volymen. De osäkerheter som är förknippade med detta förfarande talar för att de processer som beskriver gränssytan mellan geosfär och biosfär bör studeras ytterligare.

De typekosystem som modellerats förefaller, med undantag av avsaknad av explicit behandling av skogsekosystemet, vara tillräckliga för att beskriva de möjliga biosfärstyperna idag och troligen också i framtiden. Två kommentarer kan dock göras till valet:

1. Brunnsalternativet bör ses som en exponeringsväg snarare än ett separat typekosystem. Denna exponeringsväg kan i stället ingå som en del i typekosystemen, särskilt för jordbruksmark och torvekosystem (frågan om blandexponering tas upp i avsnitt 4.3.6).
2. Antagandet att torvmark kan ses som en pessimistisk beskrivning av skog är inte uppenbar och behöver motiveras. Det är en avsevärd skillnad i radionuklidens spridning i skogsekosystemet jämfört med torvmark, och exponeringsvägarna till människa skiljer mellan dessa ekosystem. Skog kan dessutom förväntas vara ett dominerande ekosystem och bör därför ingå som typekosystem, vilket även SKB påpekat.

#### ***Konservatism, fullständighet och osäkerheter hos EDF***

För att beräkna stråldoserna till människa har SKB som tidigare nämnts infört ekosystems specifika doskonverteringsfaktorer (EDF). Detta är ett normalt tillvägagångssätt. Det finns dock anledning att närmare studera och belysa informationsvärdet hos dessa faktorer. Informationsvärdet påverkas av hur pass översäkra EDF-värdena är, och av den grad som översäkerheten skiljer för olika radionuklider och ekosystem. Likaså måste det i en säkerhetsanalys klart framgå vilka flöden och koncentrationer som utgör "intermediärer" i beräkningarna av EDF-värden, eftersom sådana värden utgör utgångspunkt för att bedöma relevansen av alternativa exponeringsvägar och alternativa skydds-mål (jämför skydd av hälsa och skydd av miljö).

De processer som påverkar transporten av radionuklider från utflödespunkter i geosfären till typekosystem har inte modellerats, vilket bland annat innebär att retentionen i mättad respektive omättad jord inte beaktas. Detta är förmodligen ett konservativt förfaringsätt, men graden av konservatism kan vara olika för olika radionuklider. Likaså kan det sätt på vilket radionukliderna kommer in i ett visst ekosystem vara avgörande för hur de fördelas i ekosystemet. Radionuklider kan nå en insjö genom sedimenten och kvarhållas. I detta fall kan koncentrationerna av vissa radionuklider i sedimenten bli högre än om de nått vattenfasen direkt. Vid en landhöjning kan de högre koncentrationerna i sedimenten ge upphov till högre stråldoser till människan.

SKB antar att radionuklidkoncentrationerna i brunnsvattnet är omvänt proportionella mot brunns kapacitet. Avsikten med detta antagande är att beräkningarna ska vara konservativa, men inget sägs om graden av konservatism. Från underlagsrapporten Bergström m.fl. (1999) kan utläsas att brunnskapaciteten är lika med vattenförbrukningen per tidsenhet. Denna förbrukning kan, men behöver inte vara, lika med flödet av radioaktiva ämnen in i brunnen. Detta påverkar graden av konservatism i de beräknade radionuklidkoncentrationerna i brunnsvattnet. Det ges inte någon förklaring till varför

inte retentionen av radionuklider i det ytnära grundvattnet har beaktats liksom hur konservativt detta implicita antagande är.

Myndigheterna är inte övertygade om att torvmossen utgör ett mer konservativt ekosystem än skogsekosystemet. Skogen kan dessutom förväntas vara ett dominerande ekosystem och bör därför ingå bland de ekosystem som SKB modellerar. Ett utvecklingsarbete om skogsekosystemet pågår för närvarande inom IAEA:s program BIOMASS.

EDF-faktorerna baseras på ett kontinuerligt radionuklidutsläpp i 10 000 år. En fråga som förtjänar ytterligare diskussion är konsekvenserna av (det implicita) antagandet om konstant biosfär över en tidsperiod av 10 000 år. Stråldoser till följd av extern exponering i kustområden har inte beräknats, och myndigheterna saknar motivering till detta.

Modellerna för bevattning, sjö, floder och jordbruksmark är inte beskrivna i huvudrapporten. Följande kommentarer rörande dessa modeller baseras på Bergström m.fl. (1999).

- Det är oklart varför inte extern exponering av människa har beaktats för sjömodellen. För ett flertal modellparametrar har lägsta och högsta värde satts till 90 och 110 % av medelvärdena, men det finns inte någon förklaring till detta.
- Flodmodellen är densamma som för brunn, men med ett annat antagande om vattenflödet. De antagna flödena för brunn och flod är 2000 m<sup>3</sup>/år respektive 5 000 000 m<sup>3</sup>/år. De kommentarer som nämnts ovan vad gäller för utspädning i brunn är tillämpliga också för flod. Betydelsen av avrinningsområde och avrinning (runoff) är oklara. De föreslagna parameterintervallen är sannolikt för små. Produkten av dessa är lika med flödet i flodvattnet, vilket troligen har ett mycket större variationsintervall.
- Modellen för jordbruksmark beskriver en mättad zon med nästan horisontellt grundvattenflöde och med vattennivån ca en meter under markytan. Det ges inte någon förklaring till hur nivån för grundvattenytan valts och hur valet av detta parametervärde påverkar beräkningsresultaten. Det sägs att rotupptaget är en av de processer som leder till att radionuklider når ytjorden. Från beskrivningen i rapporten framgår det dock inte om rotupptag är inkluderat i den matematiska modellen, eller vad det skulle ha för inverkan om den inte är det. Det är oklart vad det andra flödet som ingår vid sidan av avrinning (runoff) i ekvationen för överföringshastigheter från djupa jordar till den mättade zonen representerar.
- Om flödena späds inom en godtyckligt vald area blir också koncentrationer av radioaktiva ämnen godtyckliga. Variationsintervallen är för de flesta modellparametrarna för små för att väl representera alla möjliga situationer.

SKB anger att de största osäkerheterna ligger i att identifiera vilket typekosystem som är relevanta. Med tanke på den långa tidsskalan är det nästan omöjligt att förutsäga vilket ekosystem som kommer att överväga inom ett visst område. Det är därför möjligt att man måste visa att förvaret är säkert för alla postulerade ekosystem, vilket också medför att osäkerheten i valet av ekosystem inte behöver beaktas på samma sätt. Fort-

farande måste dock osäkerheten i uppskattningarna inom ett ekosystem bestämmas. Vidare gäller enligt SSI:s föreskrifter (SSI, 1999) att det för de första tusen åren skall göras en beräkning som utgår från idag kända förhållanden och pågående kända förändringar. Detta begränsar sannolikt utbudet av möjliga alternativ, samtidigt som de ökar kraven på precision och relevans för det korta tidsperspektivet.

### 2.3.9 Modeller för radionuklidtransport och konsekvensberäkningar

I SR 97 har radionuklidtransportberäkningar utförts med modellkedjan COMP23, FARF31 och BIO42. COMP23 innefattar närområdet med kapsel, buffert, återfylld samt närliggande berg. FARF31 innefattar fjärrområdet i berget fram till biosfären. BIO42 består endast av omvandlingsfaktorer (EDF) som beräknats för olika biosfärer, vilka omvandlar ett givet utsläpp (Bq) till dos (Sv).

Förutom de modeller som direkt ingår i beräkningskedjan är vissa underliggande modeller av mycket stor betydelse för den erhållna dos- och riskuppskattningen. Särskilt viktiga exempel är grundvattenmodellering som av SKB i huvudsak utförts med HYDRASTAR och den i SR 97 utnyttjade modellen för en defekt kapsel som indikerar en mycket lång karenstid innan radionuklidtransport överhuvudtaget kommer till stånd. Även modellerna för bränsleupplösning och uppskattning av lösligheter är exempel på viktiga underlag till radionuklidtransportberäkningar. De underliggande modellerna kommenteras i detalj under avsnitten 2.3.5-2.3.7 i denna bilaga.

Myndigheterna anser generellt att SKB inför SR 97 byggt upp en användbar uppsättning av modeller som motsvarar den ambitionsnivå som kan förväntas på detta stadium. Redovisningen av modellernas begränsningar och osäkerheter kan dock förbättras. Även om myndigheterna liksom SKB bedömer att någon strikt validering inte är möjlig för den typ av modeller som används i detta sammanhang, bör modellernas användbarhet i olika sammanhang diskuteras ingående. Detta bör göras i samband med modellbeskrivningen, så att de som använder och granskar modellerna har möjlighet att bedöma deras giltighet och begränsningar. För att öka förtroendet för SKB:s analysverktyg ytterligare bör det vara möjligt att framdeles kartlägga och dokumentera begränsningar och brister hos de i SR 97 ingående modellerna. Exempel på handlingsvägar som står till buds är utnyttjande av alternativa konceptualiseringar liksom modeller med högre detaljupplösning för någon specifik aspekt.

Myndigheterna ser fördelar med att som i SR 97 ha kompletterande modeller med olika komplexitet och detaljeringsgrad, avpassade för olika syften med t.ex. relativt enkla och robusta modeller för dos- och riskuppskattningar. Enligt myndigheternas uppfattning är det av mycket stor betydelse att SKB framdeles undersöker och dokumenterar de för-enklingsfel som alltid föreligger för modeller för konsekvensberäkning (exempelvis COMP23 och FARF31). Dessa kan ha mycket stor påverkan på det slutliga resultatet och kan t.ex. att ha att göra med starkt förenklade randvillkor, representation av heterogena medier, reduktion av dimensionalitet samt användning av samlingsparametrar för att representera hela grupper av processer.

Vad det gäller de underliggande modellerna kan myndigheterna notera en viss diskrepans mellan de ansträngningar som lagts ner för att förstå modellbegränsningar för olika områden. Hydrologimodelleringen är t.ex. generellt mer genomarbetad än när-områdesmodelleringen. Myndigheterna anser att de modeller som rör närområdets utveckling baseras på ett för begränsat underlag, i vissa fall enstaka arbetsinsatser. Eftersom erhållna resultat ofta används direkt i konsekvensberäkningar måste tilltron till modellerna vara stor. Modellerna för en skadad kapsels utveckling liksom bränsleupplösning förefaller exempelvis vara otillräckligt undersökta och dokumenterade. Eftersom närområdet har en mycket stor betydelse för den totala säkerheten i SR 97, finns det anledning att framdeles eftersträva att de olika delarna i säkerhetsanalysen har en mer jämförbar ambitionsnivå och detaljeringsgrad som återspeglar den roll de har för att upprätthålla den totala säkerheten.

Flera av de externa granskarna berömmar SKB för den ingående diskussion om förutsättningar (t.ex. konceptuella modellosäkerheter) och ingångsdata för de hydrogeologiska modellerna. Granskarna konstaterar samtidigt att motsvarande diskussion saknas för den förenklade transportmodell (FAR31) som ingår i beräkningskedjan för konsekvensanalysen. SKI:s konsult Tsang (SKI, 2000c) anser att osäkerheterna i de förenklade transportmodellerna bör illustreras genom jämförelser med mer detaljerade processmodeller för olika transportprocesser.

Wörman och Xu (SKI, 2000c) diskuterar betydelsen av olika typer av konceptuella fel i modeller för radionuklidtransport, och framhåller att betydelsen av en viss parameter beror på hur man valt att beskriva transprocesserna i beräkningsmodellerna. Wörman och Xu visar bl.a. att det maximala penetrationsdjupet för diffusion av radionuklider in i bergets mikrosprickor kan ha en större inverkan på beräkningsresultaten än vad som förespeglas i SR 97. Wörman och Xu påpekar också att det kan finnas anledning att närmare undersöka hur sorptionskinetik påverkar valet av effektiva parametrar.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) bedömer att SKB har en lämplig uppsättning modeller och beräkningsverktyg för säkerhetsanalysens behov. Experterna efterlyser dock en bättre dokumentation av konceptuella antaganden, matematiska formuleringar och det vetenskapliga stödet för de valda modellerna. Syftet med dokumentationen är att förbättra spårbarhet och transparens i SKB:s val av modeller och att tydliggöra olika modellers roll i säkerhetsanalysen.

### **COMP 23**

Den internationella expertgruppen anser att redovisningen kring COMP23 är oklar. Bland annat fattas en genomgång av hur verifikation, kvalitetssäkring och validering hanterats. En särskild svårighet som måste tas omhand är att koden verkar representera en blandning av teoretiska och empiriska ekvationer.

SKB valt att i COMP 23 beskriva fyra möjliga transportvägar ut från kapseln (fallen Q1-Q4). Fallet Q4 beskriver transport genom bufferten ut i geosfären via diffusion (2.5 m) genom berget in i en antagen sprickzon. En variant av Q4 kan definieras om den diffusionsstyrda transporten i berget byts ut mot transport i en spricka. Denna variant är betydelsefull eftersom det förmodligen kommer bli svårt att göra en exakt avgränsning för var en diffus sprickzon börjar och slutar. Om det inte kan uteslutas att sprickzonen är

så pass nära kapseln att diffusion i berget är värd att undersöka, som det är i fallet Q4, borde förekomsten av en direkt flödesväg mellan kapselpositionen och sprickzonen undersökas.

De beräknade specifika grundvattenflödena i hydrologimodellen HYDRASTAR representerar medelvärden över blockstorlekar på ca 30 000 m<sup>3</sup> och ger således ingen detaljinformation om flödet i de olika transportvägarna som antagits i COMP 23. För att få fram relevanta flödesdata till COMP 23 har SKB tvingats till mer eller mindre godtyckliga skalningar av de beräknade flödena i HYDRASTAR. Myndigheterna anser att SKB i sitt fortsatta arbete bör utveckla närområdesmodellerna så att denna typ av konceptuella förenklingar kan undvikas. Myndigheterna anser också, i likhet med Voss (SKI, 2000c), att SKB i SR 97 åtminstone borde ha genomfört en känslighetsanalys för att illustrera hur dessa osäkerheter påverkar den beräknade uttransporten av radionuklider från närområdet.

### ***FARF31***

Som påpekats tidigare anser flera av remissinstanserna att betydelsen av förenklingsfel inte redovisats tillräckligt ingående. Geier (SKI, 2000c) anser t.ex. att det kan vara en begränsning att variabel flödesporositet inte kan hanteras. Ytterligare en begränsning vid beräkningar med FARF31 i sin nuvarande form är att Pe-talet måste hållas konstant.

## **2.3.10 Data för radionuklidtransport och konsekvensberäkningar**

Indata till beräkningarna av radionuklidtransport redovisas i detalj i Datarapporten och sammanfattas i SR 97 (kapseldefekts scenariot). SKB:s systematiska redovisning av valda data och diskussion om dataosäkerheter är enligt myndigheternas uppfattning berömvärd. Myndigheterna konstaterar dock, i likhet med den internationella expertgruppen och flera av SKI:s konsulter och remissinstanser att det finns brister både vad gäller SKB:s strategi för val av parametervärden och fördelningar, och vad gäller redovisningen av de expertbedömningar som ligger till grund för parametervalen. Dessa diskuteras i det följande. Synpunkter på enskilda parametervärden har givits i avsnitten 2.3.1-2.3.8 i denna bilaga.

### ***Procedur för val av data***

Datarapporten innehåller en bra diskussion om det vetenskapliga underlaget för val av olika parametrar. Proceduren för att välja ut parametervärden och fördelningar till beräkningarna är däremot otydlig och bristfälligt beskriven, vilket understryks av den samstämmiga kritiken från den internationella expertgruppen (SKI, 2000a), SKI:s konsulter Wilmot och Crawford, Tsang resp. Wörman och Xu (SKI, 2000c) samt Pereira (SKI, 2000b). Problemet är bl.a. att det i regel inte framgår hur bedömningarna har genomförts och på vilket sätt olika experter bidragit till bedömningarna, vilket medför att spårbarheten inte är tillräckligt bra.

Expertgruppen efterlyser vidare ett bredare deltagande av experter från olika vetenskapliga discipliner vid val av data. Tsang föreslår att SKB bör överväga formella procedurer för expertförhör (expert elicitation) av den typ som använts i kärnavfallsprogrammen i England och USA (Nirex, 1995 och DOE, 1997).

Myndigheterna instämmer i expertgruppens kritik och vill uppmana SKB att använda sig av mer väldefinierade och kvalitetssäkrade procedurer för både genomförande och dokumentation av expertbedömningar i sina framtida säkerhetsanalyser. Detta gäller särskilt för svårbestämda parametrar med stor inverkan på beräkningsresultaten, t.ex. storlek och frekvens på initiala kapselskador och vissa transportparametrar (flödesvätt yta, fördelningskoefficienter och penetrationsdjup).

### ***Fullständighet och balans i datahanteringen***

Den internationella expertgruppen och flera av SKI:s konsulter anser att behandlingen av data och dataosäkerheter är obalanserad. Förutsättningarna för de hydrogeologiska indata är t.ex. mycket väl dokumenterade, medan osäkerheter och dataunderlag för transportmodellerna är mera översiktligt behandlade. Den internationella expertgruppen, Wörman och Xu (SKI, 2000c) och Pereira (SKI, 2000b) anser vidare att den detaljerade diskussionen om data och dataosäkerheter bör omfatta alla scenarier och inte som i SR 97 begränsas till kapseldefektscenariot.

Wörman och Xu resp. Pereira anser att SKB inte på ett tillfredsställande sätt visat att man kan kompensera för osäkerheter i de förenklade transportmodellerna med pessimistiskt valda parametervärden. Wörman och Xu föreslår att SKB bör ta fram ett mer allsidigt dataunderlag som möjliggör utvärdering med alternativa modeller för viktiga processer som sorption, matrisdiffusion och kolloidal transport.

Myndigheterna anser i likhet med den internationella expertgruppen och konsulterna att SKB bör ta fram ett dataunderlag med jämnare ambitionsnivå för alla analyserade scenarier i säkerhetsanalysen. Myndigheterna vill också uppmana SKB att bättre belysa de konceptuella osäkerheter som är förknippade med de valda modellerna för transportberäkningarna.

### ***Indata till probabilistiska beräkningar***

I SSI:s föreskrifter (SSI, 1999) ställs krav på att redovisa konsekvenserna av slutförvaret i form av risk. I SR 97 görs därför probabilistiska beräkningar av utläckage och transport av radionuklider från förvaret. Som underlag för beräkningarna har SKB tagit fram kontinuerliga fördelningar för att beskriva osäkerheter (eller rumslig variabilitet) för flödesrelaterade data (grundvattenflöden och gångtider). För övriga indata kvantifieras dataosäkerheterna med bimodala fördelningar bestående av ett rimligt värde som givits en sannolikhet av 90 % och ett pessimistiskt värde med en sannolikhet av 10 %. SKB anger att motivet för att inte ta fram kontinuerliga sannolikhetsfördelningar för alla parametrar är att dataunderlaget är alltför osäkert.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) liksom flera av SKI:s konsulter (SKI, 2000c) ifrågasätter SKB:s ansats att ange rimliga och pessimistiska parametervärden. Expertgruppen framhåller bl.a. att de probabilistiska osäkerhets- och känslighetsanalyserna är ofullständiga, eftersom alla möjliga parametervärden inte tas i beräkningarna. Metoden att ansätta 90 % och 10 % sannolikhet för rimliga resp. pessimistiska data är heller inte vetenskapligt vedertagen, vilket gör resultaten av de probabilistiska beräkningarna svårtolkade och möjligen vilseledande. Som nämnts ovan innebär valet av de rimliga och pessimistiska parametervärdena också att man tvingats till godtyckliga bedömningar som i många fall är dåligt dokumenterade.



Samtliga externa experter och remissinstanser som kommenterat SKB:s riskberäkningar rekommenderar SKB att använda sig av en mindre godtycklig metod för att kvantifiera parameterosäkerhet, baserad på kontinuerliga sannolikhetsfördelningar. Experterna anser att det faktum att dataunderlaget är dåligt för många parametrar i sig inte kan tas som ett motiv för att begränsa de analyserade parameterintervallen på det sätt som gjorts i SR 97. Den internationella expertgruppen och Pereira (SKI, 2000b) framhåller att dataunderlaget för att ta fram sannolikhetsfördelningar för många parametrar, t.ex. fördelningskoefficienter, inte är sämre än underlaget för de flödesrelaterade parametrarna. Wilmot och Crawford (SKI, 2000c) pekar också på möjligheten att utnyttja expertutfrågningar (expert elicitation) för att karakterisera parameterosäkerhet och sannolikhetsfördelningar.

### ***Pessimistisk respektive realistisk ansats***

En viktig aspekt på valet av data är naturligtvis det egentliga syftet för de beräkningar där data utnyttjas. För de slutliga beräkningarna i säkerhetsanalysen som avser visa uppfyllelse av SSI:s strålskyddskriterier skall försiktighet tillämpas vid valet av både data och modeller. Det är naturligtvis avgörande att man kan undvika optimistiska resultat som en följd av oundvikliga brister i dataunderlag och konceptuell förståelse. För att säkerställa att så inte blir fallet måste osäkerheternas betydelse vägas in i valet av både pessimistiska och realistiska data. Är däremot syftet att öka förståelsen och insikten i hur slutförvaret kan påverkas av olika faktorer kan dataurvalet istället fokuseras mer på att utnyttja de data som anses mest troliga, vilket även inkluderar den optimistiska delen av ett visst dataunderlag.

Myndigheterna anser att denna typ av överväganden bör klarläggas tydligt för att underlätta bedömningen av hur dataunderlaget motiverats. Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) konstaterar att de kvantitativa resultaten från SR 97 sannolikt har begränsad användbarhet för att understödja platskaraktisering eller designstudier. Myndigheterna håller delvis med om denna slutsats, men anser att SKB sannolikt har tillgång till de nödvändiga verktygen för att ta fram mera renodlat realistiska beräkningsfall som skulle kunna utnyttjas för detta ändamål.

Samma resonemang avseende konservatism respektive realism kan naturligtvis även tillämpas vid valet av modeller. Detaljerade modeller kan ge understöd åt enkla konservativa modeller och även ge återkoppling till forskning, platsundersökningar m.m. De bör dock inte användas som direkt underlag för konsekvensberäkningar om det inte kan visas att de konceptuella osäkerheterna är små (se även avsnitt 2.3.9 i denna bilaga).

Sammanfattningsvis anser myndigheterna att Datarapporten ger ett bristfälligt underlag för de probabilistiska beräkningarna i SR 97 och att detta speglar avsaknaden av en genomarbetad strategi för val av data och genomförande av riskanalyser. Detta kan delvis förklaras med att riskanalysen infördes i ett sent skede i arbetet med SR 97 som en följd av SSI:s nya föreskrifter. Myndigheterna vill här uppmana SKB att se över behovet av data i sitt fortsatta utvecklingsarbete med riskanalys och probabilistiska beräkningar. Hur ovanstående brister i datahanteringen kan tänkas påverka resultaten av de probabilistiska beräkningarna i SR 97 kommenteras ytterligare i avsnitt 2.3.11 i denna bilaga.

### 2.3.11 Beräkningsfall

SKB presenterar ett antal beräkningsfall för kapseldefektscenariot baserade på de transport- och spridningsrelaterade processer som identifierats i SR 97 (kapitel 9.9 och 9.10). Syftet med beräkningarna är att kvantitativt beskriva radionuklidtransport för kapseldefektscenariot, beskriva betydelsen av osäkerheter i indata, jämföra den beräknade risken för de tre förvarsplatserna med SSI:s acceptanskriterier samt illustrera betydelsen av enskilda barriärer i förvarssystemet. Med utgångspunkt från dessa syften formulerar SKB ett antal beräkningsfall:

- Rimliga fall: deterministiska beräkningar gjorda för de tre förvarsplatserna under antagandet att en initial kapselskada efter 200 000 år vuxit så att en kontinuerlig vattenväg till bränslet bildats. ”Rimliga” värden väljs för alla ingående data.
- Osäkerhetsanalyser: deterministiska beräkningar för vilka värdena i en parametergrupp i taget byts ut från rimliga till pessimistiska. Detta illustrerar modellernas känslighet och intervallet mellan rimliga och pessimistiska värden.
- Specialfall: deterministiska beräkningar som visar effekterna av att en säkerhetsfunktion tas bort helt.
- Riskberäkningar: probabilistiska beräkningar för de tre förvarsplatserna vilka illustrerar sannolikheten för att en viss konsekvens skall uppstå.

Myndigheterna bedömer att SKB i kapseldefektscenariot har med en allsidig uppsättning av beräkningsfall som sammantaget ger goda förutsättningar att illustrera möjliga konsekvenser av en defekt kapsel samt att skapa förståelse för hur systemets olika funktioner kan samverka. Beräkningsfallen ger en rimlig täckning av de synpunkter som framförts i SKI:s förslag på allmänna råd även om känslighets- och osäkerhetsanalyserna behöver förstärkas. Myndigheterna framför nedan vissa förslag till förbättringar och modifieringar av beräkningsfallen för kommande säkerhetsanalyser.

#### ***Rimliga fall***

Myndigheterna anser att de rimliga fallen främst utgör en utgångspunkt för osäkerhets- och riskberäkningar samt jämförelser mellan A-, Be-, och Ceberg. Det bör påpekas att dessa fall inte bör göra anspråk på att vara mer realistiska än de övriga deterministiska fallen. Detta beror på att de inte explicit beaktar parametervariabilitet, vilket är en inneboende egenskap för flera av de viktigaste parametrarna t.ex. grundvattenflöde.

#### ***Osäkerhets- och känslighetsanalys***

SKB har genomfört en känslighetsanalys utgående från de beräkningar som utförts för de ”rimliga fallet” för A-, Be- och Ceberg. Analysen har utförts genom att anta pessimistiska värden i indata för olika parametrar/parametergrupper samtidigt som övriga indata ges rimliga värden. De parametergrupper SKB valt att analysera är:

- kapselrelaterade data
- bränslerelaterade data
- sorptionsdata i buffert och återfyllning
- data relaterade till gränsskiktet mellan buffert och berg
- kemiska transportdata i geosfären

- flödesrelaterade transportdata i geosfären
- biosfärsdata.

SKB:s känslighetsanalyser visar att de största effekterna på den beräknade dosen vid Aberg fås för antalet initialt defekta kapslar, F-faktorn (produkten mellan den advektiva gångtiden och den flödesvättan ytan) och dosfaktorerna i biosfären (EDF-värdena). Övriga parametrar ger, enligt Figur 9-41 i SR 97, relativt liten påverkan.

Osäkerhets- och känslighetsanalyser kan om de presenteras på ett pedagogiskt sätt förmedla förståelse för hur slutförvarssystemet kan påverkas av olika faktorer. Myndigheterna anser att de beräkningsfall som SKB presenterar ger värdefulla insikter hur vissa parametergrupper påverkar uttransporten av de olika nuklider som beaktats. SKB:s resultat antyder att förutsättningarna för att uppfylla multi-barriär principens innebörd förefaller vara goda, då inget av de diskuterade fallen medför några avgörande förändringar av slutresultatet. Enligt myndigheternas uppfattning bör man dock inte dra några allt för definitiva slutsatser baserade på dessa resultat. Det bör beaktas att de förenklade modellerna för konsekvensanalys inte representerar alla aspekter av radionuklidtransporten på samma detaljnivå och känsligheterna vid variation av olika parametergrupper kan därför inte utan vidare förutsättas vara jämförbara. SKB bör därför framdeles redovisa jämförelser med känslighetsanalyser baserade på mera detaljerade underliggande modeller samt relatera känsligheterna till de abstraktions- och förenklingsfel som påverkar konsekvensberäkningarna (se avsnitt 2.3.9 i denna bilaga).

Enligt myndigheternas uppfattning bör SKB eftersträva att utveckla osäkerhets- och känslighetsanalyserna så att de får en mer betydelsefull roll i kommande säkerhetsanalyser. Framför allt bör fler än en parameter eller parametergrupp varieras samtidigt, eftersom detta skulle kunna visa inte bara vilka parametrar utan också vilka parameterkombinationer som har störst betydelse. SKB presenterar i SR 97 sådana flerparametervariationer för att studera retardation i geosfären med en analytisk lösning av en enkel modell. Liknande beräkningar skulle kunna göras med den fullständiga beräkningskedjan. På så vis skulle man kunna få överblick över barriärfunktionernas relativa betydelse både i när- och fjärrområdet för de relevanta nukliderna. Vidare skulle det vara möjligt att variera de parametrar för vilka känsligheten inte särskilt undersöks i det probabilistiska ramverk som SKB utvecklat för riskanalys.

Några renodlade känslighetsanalyser presenteras inte i SR 97 även om det finns med en figur som visar den relativa förändringen av maximal dos då en parameter ändras från realistisk till pessimistisk (Figur 9-41). Eftersom valet av parameterintervall i sig är en betydande osäkerhet, som helt eller delvis måste baseras på subjektiva expertbedömningar, vore det önskvärt att ta med någon analys som separerar effekterna av modellens känslighet och parameterintervallets storlek. En sådan analys bör även beakta att modellkänslighet kan vara olika för olika delar av parameterrummet. Dessa aspekter kan belysas genom att för samtliga parametrar beräkna effekterna av en konstant procentuell förändring av indata för olika systematiska val av indata.

### ***Specialfall***

För att belysa de olika barriärernas respektive betydelse i kapseldefektscenariot, och som ett komplement till känslighetsanalysen, genomför SKB även beräkningar på ett antal specialfall ("what if"-beräkningar):

- bränslet är fullständigt upplöst då en kontinuerlig vattenväg uppstår
- radionukliderna har inga löslighetsbegränsningar
- stor initial kapselskada
- bentonitens diffusionsmotstånd försummas
- geosfärens retention försummas.

SKB:s val av specialfall utgår från extrema antaganden om felfunktioner hos enskilda barriärfunktioner, samtidigt som övriga barriärfunktioner antas fungera som avsett och beräknas med de rimliga parametrarna.

Myndigheterna anser att specialfallen ger ett värdefullt komplement till osäkerhetsanalysen och ytterligare belyser KBS-3-metodens förutsättningar att uppfylla multi-barriärprincipens innebörd. SKB konstaterar att inget av de inkluderade fallen överskrider den av SKB utnyttjade dosgränsen (utom för Ra-226 för fallet inga löslighetsbegränsningar). Myndigheterna vill i detta sammanhang påpeka att det inte föreligger några som helst krav på att en viss dosgräns skall underskridas för dessa fall. Beräkningarna är endast illustrativa och det kan tvärtom vara mycket värdefullt att undersöka om någon särskild kombination av parametrar kan ge stora effekter, oavsett om en sådan kombination är mindre sannolik eller osannolik.

Det finns liksom vid osäkerhetsanalysen en risk för att betydelsen av vissa barriärfunktioner underskattas då osäkerheten för övriga parametervärden, som används för de andra barriärfunktionerna, inte beaktas. Det hävdas t.ex. i SR 97 att bränsleupplösningshastigheten har liten påverkan på barriärsystemets samlade funktion. Man skulle dock lika gärna kunna hävda motsatsen, d.v.s. att löslighetsbegränsningarna har liten påverkan då upplösningshastigheten är tillräckligt långsam. Det är uppenbart att dessa resonemang sammantaget ger en missvisande bild av barriärfunktionernas betydelse. Det bör därför vara angeläget att även beakta kombinationer av olika parametergrupper samtidigt och t.ex. undersöka upplösningshastighetens betydelse för ett konservativt val av löslighetsdata.

### ***Riskanalyser***

SKB redovisar i SR 97 riskanalyser för A-, Be- och Ceberg med antingen torvmosse eller brunn som aktuell exponeringsväg. För advektiva gångtider och flöden används korrelerade fördelningar medan pessimistiska värden används för karenstid, sprickgeometri i närområde, Pe-tal samt maximalt penetrationsdjup i bergmatrisen. För övriga värden används en bimodal fördelning med sannolikheterna 0,9 och 0,1 för rimliga respektive pessimistiska data.

SKB:s riskanalys är, enligt myndigheternas uppfattning, ett bra första steg i strävandet att visa uppfyllelse av SSI:s riskkriterium. Myndigheterna konstaterar dock, liksom den internationella expertgruppen (SKI, 2000a), att riskanalysen behöver utvecklas inför kommande säkerhetsanalyser, t.ex. med avseende på den statistiska behandlingen av

parametervärden, hur olika scenarier vägs samman samt vad riskanalysen skall innehålla.

Myndigheterna anser inte att SKB tillräckligt tydligt visat att fördelningen 0,9 och 0,1 mellan rimliga och pessimistiska data är ett försiktigt val. Detta val ger ett stort genomslag för de realistiska data och en betydande del av osäkerheterna skall för detta fall vägas in redan i valet av realistiska data. Det är oklart om så är fallet, t.ex. för bränsleupplösningshastigheten. Vidare måste det anses uppenbart att osäkerheterna vid valet av rimliga värden är större för vissa parametrar än för andra. Det hade därför sannolikt varit befogat att bedöma varje parametergrupp var för sig.

Den internationella expertgruppen liksom SKI:s konsult Wilmot och Crawford (SKI, 2000c) anser att SKB inte tillräckligt tydligt motiverar sin strategi för val av data i samband med riskberäkningarna. Enligt myndigheterna kan representationen av många parametrar med endast två värden sannolikt begränsa analysens giltighet och statistiska signifikans. Pereira (SKI, 2000b) anser t.ex. att det branta partiet av de CDF-kurvor som SKB visar (Figur 9.43 – 9.45) kan vara en artefakt av användandet av bimodala fördelningar snarare än ett tecken på ”robusthet” för förvarskonceptet. Myndigheterna anser att SKB bör för varje enskild parametergrupp utvärdera vilken typ av fördelning som bäst kan representera kända data och dess osäkerheter. Finns det ett litet statistiskt underlag kan t.ex. konstanta fördelningar användas för att spänna ut osäkerheterna och ge ett rimligt utfall för värden långt från mitten av fördelningen. Med anledning av Pereiras kommentar, samt SKB:s slutsatser om systemets robusthet, förefaller det angeläget att undersöka hur valet av fördelning (bimodal, konstant, log-normal etc.) påverkar formen på CDF-kurvan.

SKB har i riskberäkningarna inte tagit hänsyn till korrelationer mellan ingående parametrar (utom mellan flödet och advektiva gångtider) med motiveringen att detta förfarande sannolikt är konservativt. Enligt myndigheternas uppfattning förtjänar denna fråga en utförligare utredning, då det inte kan uteslutas att det existerar korrelationer som försämrar förvarets funktion, t.ex. om snabba flöden skulle vara korrelerade med liten kemisk retardation.

SKB bör enligt myndigheterna överväga om alternativa eller kompletterande sätt att redovisa riskberäkningarna skulle kunna förbättra överblicken över resultaten. Wilmot och Crawford (SKI, 2000c) påpekar t.ex. att det bör vara relevant att redovisa hur risken förändras som funktion av tiden. Andra detaljerade synpunkter som kan nämnas i detta sammanhang rör t.ex. hur SKB bestämt när tillräcklig konvergens uppnåtts, vilken beräkningsmetod som använts samt hur man motiverat valet av nuklider som inte behöver tas med i riskberäkningarna.

### **2.3.12 Diskussion av resultat**

SKB konstaterar baserat på de resultat som presenteras i kapseldefektscenariot att slutförvarssystemet förefaller ha goda förutsättningar att uppfylla SSI:s strålskyddskriterier för A-, Be- och Ceberg. Myndigheterna kan baserat på granskningen av kapseldefektscenariot inte peka på några uppenbara svårigheter att med det föreslagna kon-

ceptet uppnå erforderliga säkerhets- och strålskyddskrav. Det är dock enligt myndigheterna för tidigt att uttala sig om uppfyllelse av SSI:s strålskyddskrav, eftersom väsentlig information fortfarande saknas t.ex. vad det gäller platsdata samt kapsel- och bufferttillverkning. Den analys som presenteras i SR 97 bör därför främst ses som ett första steg i riktningen mot en slutlig säkerhetsanalys.

Granskningen av SR 97 har försvårats något, dels därför att vissa processer av svårbedömd betydelse har sorterats bort ur säkerhetsanalysen på ett tidigt stadium, dels därför att metodiken för datahantering och riskberäkningar ännu inte är fullt utvecklad. Dessutom saknas en explicit redovisning av miljöskyddsaspekter vilket krävs enligt SSI:s föreskrifter. Myndigheterna anser att SKB bör kunna öka tilltron till slutförvarssystemet genom att tydligare illustrera betydelsen av de olika barriärfunktionerna t.ex. genom att testa systemet hårdare med olika hypotetiska beräkningsexempel. En utförligare bedömning av slutförvarssystemets förutsättningar att uppfylla SSI:s strålskyddskriterier baserat på en fullständig säkerhetsanalys kan bli aktuell först då ett detaljerat dataunderlag från platsundersökningar tagits fram samt då det finns mer omfattande praktiska erfarenheter rörande de tekniska barriärerna. Däremot kan det bli aktuellt för SKB att ta fram en ny säkerhetsanalys innan dessa förutsättningar är uppfyllda för att dokumentera och utvärdera framsteg vad det gäller t.ex. metodik för riskberäkningar, datahantering, och framtagande av nya modeller för radionuklidtransport.

Resultaten från SR 97 överensstämmer någorlunda väl med myndigheternas egna beräkningar, som t.ex. presenterats i SITE-94 (SKI, 1996b), så tillvida att doserna för en tidskala av flera 100 000-tals år helt domineras av nuklider med hög löslighet och dålig geosfärsretardation (främst I-129). De beräknade doserna för Aberg (rimliga fallet) är i SR 97 drygt en tiopotens lägre än de för motsvarande beräkning i SITE-94. Med tanke på skillnaderna i beräkningsmetodik samt att dessa doser ligger på mycket låga nivåer måste denna jämförelse anses tillfredställande. Gemensamt för båda analyserna (SR 97 och SITE-94) är att inga av de potentiellt farligaste nukliderna, t.ex. aktiniderna, signifikant bidrar till dos eller risk. De eventuella konceptuella osäkerheter som kan påverka denna slutsats bör vara ett prioriterat område inför kommande analyser.

Vad det gäller tidpunkten för dosexponeringen antyder SKB:s redovisning att denna uppkommer först efter 200 000 år (enligt samtliga Figurer 9-28 tom 9-40 och 9-46 t.o.m. 9-50 utom 9-32 och 9-48). Denna långa fördröjning baseras på SKB:s modell för utvecklingen av defekt kapsel. Med tanke på osäkerheterna som är förknippade med denna modell (och som diskuteras i avsnitt 2.3.5 i denna bilaga) anser myndigheterna att presentationen i SR 97 är missvisande i detta avseende. SKB:s modell utgör inte en tillräcklig grund för att utesluta dosexponering innan 200 000 år.

Jämförelsen mellan A-, Be- och Ceberg i SR 97 visar på betydande skillnader vad det gäller retardation av radionuklider i geosfären. Myndigheterna har svårt att bedöma om dessa beror på faktiska skillnader eller kan förklaras med skillnader i dataunderlaget mellan platserna. Trots detta är det uppenbart att grundvattenflöden och transportvägarnas längd är viktiga faktorer att beakta vid platsvalet. Det bör dock påpekas att retardationen av radionuklider endast är en av flera andra viktiga funktioner hos geosfären. De geokemiska och mekaniska förutsättningarna för att barriärernas integritet skall kunna uppehållas över 100 000-tals år är t.ex. minst lika viktiga.

## 3 Klimatscenario

### 3.1 SKB:s redovisning

I de mycket långa tidsperspektiv som SR 97 innefattar, förväntas stora klimatförändringar ske och dess påverkan på förvaret behöver därför analyseras. SKB utgår i beskrivningen av klimatförhållanden från tre s.k. klimatstyrda processtillstånd:

- tempererat/borealt tillstånd
- permafrosttillstånd
- glacialt tillstånd.

Dessa delas i sin tur in i mer detaljerade regimer. De klimatstyrda processtillstånden och regimerna förväntas ge en generell bild av rådande klimatförhållanden och dess utbredning i tid och rum. I klimatscenariot baserar SKB sina radionuklidtransportberäkningar på att isfronten hela tiden ligger rakt ovanför förvaret. SKB påpekar dock att isfronten i verkligheten endast finns ovanför förvaren en begränsad tid. Höga vattenflöden antas råda vilket medför att den advektiva transporttiden för radionukliderna till biosfären blir liten. En stor kapselskada antas uppstå efter 20 000 år.

Syfte med klimatscenariot är enligt SR 97 att:

- visa hur klimatförändringar kan påverka de tekniska barriärernas isolerande funktion
- visa konsekvenserna av förekomsten av en eller flera otäta kapslar under perioder med försämrad förmåga hos förvaret att fördröja radionuklidtransport.

### 3.2 Remissynpunkter

Sveriges Geologiska Undersökning, SGU, konstaterar att kunskapen om klimatförändringar och landisarnas tillväxt respektive avsmältning är bristfälliga och att klimatförändringar orsakade av t.ex. människans påverkan (växthuseffekt) inte täcks in av klimatscenariot i SR 97.

Mörner vid Stockholms Universitet tar upp klimatförändringars (istiders) påverkan på förekomsten av stora jordskalv (se även myndigheternas yttrande bilaga 2, kapitel 4).

Pereira vid Stockholms Universitet anser, trots att klimatscenariot är bra beskrivet, att det återstår en del utvecklingsarbete inom modellutveckling, t.ex. genom att införa tidsberoende parametrar i geosfärmodelleringen.

### **3.3 SKI:s och SSI:s granskning och bedömning**

#### **3.3.1 Allmänt om klimatscenariot**

SKB ger en relativt omfattande beskrivning av grundläggande mekanismer som styr klimatförändringar samt redovisar en möjlig klimatutveckling i Skandinavien de närmast kommande 150 000 åren baserad på olika modellberäkningar av framtida förhållanden. Tempererat/borealt, permafrost och glaciala tillstånd går igenom allmänt och specifikt för de tre förvarsplatserna A-, Be- och Ceberg. SKB diskuterar även osäkerheterna i beskrivningen av randförhållanden.

Prognoserna för klimatscenariot bygger på astronomiska faktorer, såsom variationer i jordbanan, jordaxels lutning och dess vobbling samt en prognos för variationer i solaktiviteten. Klimatprognosen visar ett hundratusenårsscenario som i mångt och mycket påminner om det som har passerat, vilket enligt myndigheterna kan ses som en rimlig utgångspunkt. Översättningen av de astronomiska variationerna till temperaturdata vid jordytan är gjord genom bl.a. regressionsanalyser med proxydata för temperatur under de senaste hundratusen åren.

#### ***Scenarioformulering***

Klimatscenariot i SR 97 bygger på ett omfattande faktaunderlag som är spritt i huvudrapporten, underlagsrapporter och tillhörande referenser. Myndigheterna anser att SKB tydligare bör redovisa de bedömningar och sammanvägningar som ligger till grund för den valda klimatutvecklingen.

Myndigheterna anser liksom den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) att betydelsen av tidsberoende processer behöver belysas bättre i säkerhetsanalysen. SKB bör också se över avgränsningen mellan klimatscenariot och tektonik/jordskalvsscenario som i vissa delar är intimt kopplade till varandra, t.ex. avseende vissa mekaniska effekter som jordskalv i samband med isens tillbakadragande (se även avsnitt 3.3.4 och kapitel 4 i denna bilaga).

#### ***Modellering av klimatutveckling***

Enligt SKB är klimatscenariot som presenteras i SR 97 en subjektiv sammanvägning av resultat från modellerna och utvecklingen under Weichselperioden. För att ge en geografisk bild av isutbredningen vid olika tillfällen har en modell använts som beräknar kustlinjeförskjutningen. För att beskriva utbredningen av de olika klimatstyrda process-tillstånden har en annan modell använts som simulerar den skandinaviska inlandsisen. Utöver detta har en subjektiv bedömning av utbredningen av permafrost gjorts, dels baserad på ovannämnda modeller och dels baserad på nuvarande förhållanden i Nordamerika.

Myndigheterna kan konstatera att de modeller som används för klimatprognoserna i SR 97 är internationellt accepterade. Enligt myndigheterna överutnyttjas de dock genom att resultaten i t.ex. radionuklidtransportberäkningarna ges alltför hög tillit. Det saknas i beräkningsavsnittet en djupare diskussion om osäkerheterna i de antaganden som gjorts vid formuleringen av en tänkbar klimatsekvens och hur detta påverkar relevansen av beräkningsresultaten.



Den prognostiserade utvecklingen i klimatscenariot är allmänt vedertagen, d.v.s. att vi får kallperioder omväxlande med varmperioder under den kommande hundrausenårsperioden, i likhet med den senaste glaciationscykeln. Kunskapen om tids- och temperaturangivelser, liksom detaljerna kring landisarnas tillväxt respektive avsmältning, är dock bristfällig.

Myndigheterna konstaterar vidare att olika klimatmodeller ger olika resultat, vilket illustreras av en jämförelse av SR 97 med tidigare genomförda analyser (Figur 10-6 i SR 97, Figur 11 i Forsström, 1999, Figur 7.1a i King-Clayton m.fl., 1995 och diskussioner förda i Gascoyne, 1999). Resultaten från dessa analyser indikerar en stor spridning på vad som kan förväntas, t.ex. om permafrost existerar eller ej, variationer i dess djup och varaktighet, och variationer i isens utbredning.

Mot ovanstående bakgrund anser myndigheterna att SKB i framtida säkerhetsanalyser bör illustrera betydelsen av osäkerheterna i klimatprognoserna på ett mer fullständigt sätt, t.ex. genom att utvärdera alternativa klimatutvecklingar. Klimatscenariot i SR 97 representerar endast en av flera tänkbara klimatutvecklingar. Myndigheterna ser också ett behov av att SKB i större utsträckning stödjer sina antaganden på kvantitativa analyser av hur olika klimatregimer kan tänkas påverka förvarets funktion.

Myndigheterna konstaterar avslutningsvis att SKB har haft en förhållandevis hög ambitionsnivå vid formuleringen av klimatscenariot i SR 97 men att det finns en rad osäkerheter i antaganden som behöver tydliggöras i framtida säkerhetsanalyser, bl.a. genom att diskutera scenarioosäkerheter och illustrera dessa med hjälp av känslighetsanalyser.

### **3.3.2 Termisk utveckling**

SKB konstaterar att på förvarsdjup nås inte fryspunkten och någon termisk påverkan på förvaret bedöms därför inte heller kunna förekomma i samband med klimatförändringar. Myndigheterna anser att frågan om permafrostens djup och eventuella påverkan på ett slutförvar behöver få stöd i ett mer uttömmande resonemang i kommande analyser, exempelvis hur grundvattenströmningen påverkas av permafrost även om denna inte når förvarsdjup. Det finns betydande osäkerheter i bl.a. antaganden om den vertikala temperaturfördelningen och antagna botten temperaturförhållanden under isen (Holmlund i SKI, 2000c) som påverkar vattenströmningen under isen och förekomst av permafrost.

### **3.3.3 Hydraulisk utveckling**

Klimatscenariot omfattar en i huvudsak kvalitativ illustration av hur olika klimatregimer påverkar de hydrauliska förhållandena vid de tre förvarsplatserna. Vissa kvantitativa analyser har dock gjorts, bl.a. för att illustrera hur grundvattenflödet påverkas då fronten på en inlandsis befinner sig vid Aberg. SKB konstaterar att grundvattenflödena för de tre platserna troligtvis är mindre än eller jämförbara med dagens flöden under den största delen av kommande glaciationscykel. Kortare perioder med avsevärt högre flöden erhålls då en smält- eller iskantzonen befinner sig vid platserna. Under dessa perioder minskar bergets förmåga att begränsa spridningen av radionuklider. Konsekvens-

analysen visar dock att eventuella radiologiska konsekvenser blir försumbara tack vare den stora vattenomsättningen och utspädningen i biosfären.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) anser att klimatets påverkan på den hydrauliska och geokemiska utvecklingen behöver studeras mer i detalj och att säkerhetsanalysen skulle vinna på mer av kvantitativa analyser, särskilt vad gäller de förhållanden som skulle kunna ge upphov till syresatta förhållanden på förvarsdjup. SKI:s konsult Voss (SKI, 2000c) konstaterar att den hydrauliska modelleringen endast gjorts i lokal skala och endast för en av platserna (Aberg). Voss menar att även andra situationer än när isfronten ligger direkt över förvaret behöver analyseras och nämner risken att få en uppströmning av djupa grundvatten med hög salthalt. Voss anser vidare att det är en brist att SKB inte diskuterar kombinationer av ogynnsamma, men inte helt osannolika, förhållanden som t.ex. höga grundvattenflöden, erosion av buffert, förändringar i grundvattenkemi, och bildandet av nya vattenförande sprickor.

Myndigheternas anser som nämnts ovan att det är nödvändigt att utvärdera alternativa prognoser av klimatets utveckling för att få en mer fullständig belysning av klimatets möjliga påverkan på de hydrauliska förhållandena. Myndigheterna håller också med den internationella expertgruppen om att SKB bör belysa betydelsen av potentiellt ogynnsamma processer och förhållanden med kvantitativa analyser. Som exempel kan nämnas ackumulation och senare utspolning av radionuklider i samband med ändrade flödesförhållanden. För att kunna bedöma betydelsen av detta fall krävs en modellering av hela klimatsekvensen som tar hänsyn till de dynamiska förändringarna i grundvattenflödets storlek och strömningsmönster. Ett annat exempel är betydelsen av inlandsisarnas mekaniska påverkan på bergets sprickor och grundvattnets strömningsmönster. Även om kunskapen om dessa kopplade processer idag är bristfällig kan känslighetsanalyser användas för att identifiera kritiska frågor.

### 3.3.4 Mekanisk utveckling

Förvaret utsätts för mekanisk påverkan under en glacial/interglacial cykel, vilket bl.a. påverkar spänningstillståndet i berget som i sin tur är kopplad till en mycket komplex belastningssituation som varierar med tiden. SKB redogör för hur ett framtida istäcke kan påverka berggrunden och refererar till beräkningsresultat som visar att de berg rörelser som uppstår inte leder till att kapselskador. Kapslarna förväntas också motstå förekommande hydrostatiska tryck men SKB påpekar att kapselberäkningarna behöver förfinas. Myndigheterna delar denna åsikt, speciellt med tanke på att kapseln utgör en så viktig barriär i SKB:s koncept.

Grundvattenflöden kommer att förändras då sprickor trycks ihop eller vidgas. Samspelet mellan den mekaniska lasten och de höga grundvattentrycket kan leda till att sprickor både vidgas, s.k. hydraulisk spjälkning, och sluts och därmed påverkas grundvattenflödet. Man får därför en återkoppling till den hydrauliska utvecklingen. Myndigheterna anser att SKB i framtida analyser behöver visa hur man avser att täcka in samverkan mellan processer (t.ex. hydromekaniska kopplingar) som kan leda till större påverkan än om de individuella processerna analyseras var för sig. Även Stephansson (SKI, 2000c)

efterlyser mer information som kan bekräfta vad som händer i berget i samband med en nedisning, exempelvis hydraulisk spjälkning och dess påverkan på grundvattenflödet.

Avsnittet som berör den mekaniska utvecklingen i geosfären vid A-, Be- och Ceberg baseras helt på den i SR 97 beskrivna klimatutvecklingen under de kommande 150 000 åren. SKB bör i framtida analyser väva in den platsspecifika information som kommer att tas fram under kommande platsundersökningar. Genom detta uppnås en bättre beskrivning av de förhållanden som råder på en plats och som ingår som ett viktigt underlag för beräkningarna av radionuklidtransport.

SKB konstaterar att den töjningsenergi som lagras upp i berggrunden kan komma att frigöras vid en deglaciation. En ökad seismisk aktivitet och stora jordskalv kan därför förväntas då isen drar sig tillbaka. Myndigheterna anser därför att sambanden mellan islast och rörelser i berggrunden borde ha analyserats utförligare och på ett mer integrerat sätt.

### 3.3.5 Kemisk utveckling

Grundvattenkemins långsiktiga utveckling har betydelse särskilt för omvandlingen av bentonitbufferten men även radionuklidtransport och möjligen kapselkorrosion. SKB redovisar i klimatscenariot möjliga utvecklingstrender vid A-, Be- och Ceberg. Man visar att salthalten både kan ökas och minska som ett resultat av en passerande isfront. Mycket utspätt glacialt smältvatten kommer att strömma ner i berget och kan då tränga undan befintliga grundvatten på förvarsdjup, men även mycket salta grundvatten kan tränga undan de befintliga då de transporteras upp från stora djup. SKB konstaterar att bentonitbufferten bör klara de kemiska förändringar som kan komma ifråga. Man bedömer att marginalerna för att buffererosion och kolloidbildning inte inträffar är små då mycket utspädda vatten förekommer.

Tryckförhållandena i bufferten förändras i och med att en inlandsis passerar förvaret. Detta påverkar transporten av grundvatten och vätgas in respektive ut ur en defekt kapsel. Vätgasen antas bildas i och med korrosion av järninsatsen. SKB menar att trycket inuti den defekta kapseln anpassas efter det omgivande så att den isolerande förmågan av gasfasen i kapseln upprätthålls (se vidare avsnitt 2.3.5 i denna bilaga).

Myndigheterna anser att SKB:s redovisning ger en bra överblick över olika fenomen som kan påverka förvarets skyddsförmåga. Det finns dock en rad frågor kopplade till buffertens stabilitet och omvandling som bara omnämns i SR 97 utan att några analyser eller kvantitativa resultat redovisas. Exempel på detta är t.ex. SKB:s utvärdering av buffererosion och kolloidbildning. För att kunna redovisa betydelsen av sådana fenomen krävs sannolikt att SKB tar fram en mer detaljerad modell av hur grundvattenkemin kan utvecklas på lång sikt. Detta bör aktualiseras när en tillräckligt stor mängd geokemiska data samlats in på den aktuella kandidatplatsen.

Enligt myndigheterna återstår det att visa att gastrycket, inuti en kapsel med korroderande järninsats, utan att påverka buffert och kapsel skulle anpassas efter de förändringar i omgivningstrycket som orsakas av glaciationen. Detta fall finns inte omnämnt i de modellstudier som ligger till grund för SKB:s kapselmodell (se vidare avsnitt

2.3.5 i denna bilaga). En eventuell påverkan på de tekniska barriärerna orsakade av de transienta faserna kan inte uteslutas, tex. rörelser i bentonitmaterialet, gastransport m.m.

SKB diskuterar i SR 97 olika processer som påverkar redoxbetingelserna vid förvarsdjup men har inte närmare analyserat vad som händer om syresatta glaciala smältvatten skulle nå förvarsdjup. Man nöjer sig istället med att konstatera att detta fall sannolikt inte inträffar. Detta har påpekats av såväl den internationella expertgruppen som SKI:s konsulter Arthur och Zhou, Glynn, Grambow resp. Voss (SKI, 2000c). Det av SKB genomförda REX projektet har visat att mikrobiell sönderdelning av organiskt material är en dominerande mekanism för syreförbrukning under förhållanden som råder i dagsläget (Banwart m.fl., 1996). För istidsscenariot har man dock i flera tidigare analyser förutsatt att löst syre förbrukas främst genom vittring av silikatmineral som innehåller Fe(II) (t.ex. Arthur, 1996; Glynn och Voss, 1999; Guimera m.fl., 1999). Berggrunden har utan tvivel en stor kapacitet att förbruka syre relativt de mängder det kan bli frågan om men eftersom Fe(II) främst är bundet till svårvittrade mineral kan långsam kinetik bli begränsande, vilket laboratoriestudier visar. I andra sammanhang har man visat att vittringen av silikatmineral i fältskalan är mycket långsam, främst beroende på de begränsade kontaktytorna mellan mineral och mobilt grundvatten.

Myndigheterna anser att den svenska berggrunden generellt sett bör ha en mycket god förmåga att upprätthålla reducerande kemiska betingelser på förvarsdjup. Frågan kan dock inte avfärdas enbart på grund av detta då reducerande kemiska betingelser särskilt på kapselns yta men även i viss mån inuti kapseln och inuti bufferten måste anses vara hörnpelare i KBS-3 systemets grundläggande säkerhetsfilosofi. Myndigheterna menar att en i tid och rum begränsad förekomst av syre på förvarsnivå är mindre sannolik men kan inte uteslutas vare sig genom de modellstudier, laboratorieförsök eller geokemiska undersökningar som hittills presenterats. SKB borde därför tydligare redovisat hur man hanterat frågan i SR 97 och bland annat visat hur ett KBS-3 förvar med hela och defekta kapslar skulle kunna påverkas. Frågan bör tas upp i framtida säkerhetsanalyser och i samband med platsundersökningar.

### **3.3.6 Biosfär och klimatförändringar**

SKB belyser förvarets skyddsförmåga efter klimatförändringar i ett långtidsperspektiv, vilket är ett krav i båda myndigheternas föreskrifter. I SSI:s föreskrifter (se avsnitt 2.2.6) krävs dessutom att ett kortare perspektiv belyses särskilt noggrant. SKB bör täcka in denna fråga i kommande redovisningar.

En klimatförändring i 1000-årsperspektivet berör i första hand biosfären, och det är angeläget att belysa den påverkan som klimatförändringar kan tänkas ha på bl.a. exponeringsvägar. Myndigheterna vill därför framhålla att SKB även i klimatscenariot borde belysa 1000-årsperspektivet med tanke på de krav som ställs i SSI:s föreskrifter. En i detta korta tidsperspektiv betydelsefull faktor är t.ex. växthuseffekten som leder till en global uppvärmning. Myndigheterna anser att SKB i framtida analyser av 1000-årsperspektivet behöver belysa klimatets eventuella påverkan på de faktorer som har betydelse i bedömningen av ett slutförvars säkra funktioner.

### 3.3.7 Beräkningar av radionuklidtransport

SKB har tagit fram en beskrivning av en möjlig klimatutveckling för de tre förvarsplatserna. SKB väljer dock att använda ett mycket förenklat antagande för beräkningarna av radionuklidtransport som innebär att isfronten hela tiden ligger rakt ovanför förvaret med ett kontinuerligt utflöde av radionuklider som följd. Myndigheterna anser att SKB tydligare borde ha motiverat varför detta förenklade scenario har valts och varför det kan anses vara konservativt.

SKB anger att ackumulation av radionuklider i bergmatrisen och sorptionens påverkan av förändringar i grundvattnets sammansättning har liten betydelse för beräkningsresultaten. Enligt myndigheterna borde SKB tydligare också ha motiverat dessa bedömningar t.ex. genom att exemplifiera med beräkningar. Det är inte heller uppenbart för myndigheterna varför endast beräkningarna för Aberg redovisats explicit, medan resultaten för Beberg och Ceberg endast redovisas som resonemangsvisa överläggningar.

SKB konstaterar att utspädning i biosfären är en viktig faktor för de beräknade doserna i klimatscenariot. Med hänsyn till att förutsägelser om framtida biosfärsförhållanden är mycket osäkra och att SKB inte tilldelar biosfären någon säkerhetsfunktion, anser myndigheterna att SKB tydligare borde ha redovisat hur mycket biosfären bidragit till att reducera doserna i SR 97 i förhållande till geosfären.

Myndigheterna anser att beräkningarna av radionuklidtransport i SR 97 förenklats för mycket med tanke på komplexiteten av återkommande glaciala, permafrost och tempererade/boreala tillstånd. Om framtida klimatutvecklingar inte endast är återupprepningar av förgående, skulle t.ex. scenariot för Aberg i SR 97 kunna innebära att förvarsplatsen under långa tidsperioder ligger över istället för under havsytan, vilket skulle kunna ha stora betydelse för konsekvensanalysen. Det finns enligt myndigheterna ett behov av att i framtida analyser ta hänsyn till alternativa utvecklingar av klimatet och diskutera vilken påverkan dessa skulle kunna ha för transporten av radionuklider.



## 4 Tektonik - jordskalvsscenario

### 4.1 SKB:s redovisning

I analysen av tektonik/jordskalvscenariot antas dagens klimatförhållanden råda framgent och inverkan av t.ex. framtida istider belyses ej. SKB analyserar sannolikheten för jordskalv som kan leda till kapselbrott. För detta använder SKB tillgängliga sprickdata för att upprätta spricknätsmodeller över de tre försvarsplatserna A-, Be- och Ceberg. Med hjälp av modellerna genereras kapselskärande sprickor. För varje försvarsplats slumpas jordskalv ut på zoner belägna inom 100 km från försvarsplatsen. Skalvens effekter på de kapsel-skärande sprickorna simuleras av en annan kod (POLY3D) som ger sannolikheter för kapselbrott. Utvärderingen av de gjorda beräkningarna bygger på antagandet att en skjuvrörelse på 0,1 m eller större ger en kapselskada. SKB anger att detta antagande behöver prövas genom nya beräkningar för nuvarande kapseldesign.

Resultaten från genomförd analys visar på försumbara risker för kapselskada. SKB understryker emellertid att den presenterade analysmetodiken är under utveckling och endast utgör ett första steg för kvantitativ analys av jordskalvsscenarioer.

### 4.2 Remissynpunkter

Det är enligt Sveriges Geologiska Undersökning, SGU, högst troligt att man inom en hundrausenårsperiod måste räkna med ett nedisningsscenario med en påverkan på berggrundens spricksystem och grundvattenförhållanden. Omfattande sen- och postglaciala förkastningsrörelser med åtföljande starka jordbävningar har antagits äga rum i de norra delarna av landet. Det mesta tyder på ett orsakssamband mellan dessa förkastningsrörelser och isavsmältningen, men ytterligare forskning behövs kring detta fenomen. Enligt SGU är dessa frågeställningar av betydelse för den framtida säkerheten för ett slutförvar.

Mörner vid Stockholms Universitet ifrågasätter SKB:s sätt att utnyttja befintlig jordskalvsstatistik i sin analys av jordskalvsrisker under ett försvars hela livslängd inklusive kommande nedisningar. Mörner framför stark kritik mot att SKB inte väger in den kunskap som finns om stora jordskalv i samband med isavsmältningen, då Sverige enligt Mörner var ett "högseismiskt" område. Mörner pekar på att jordbävningsfrekvens och jordbävningsmekanismer var annorlunda än idag och därmed utesluter det enligt Mörner möjligheten till "extrapolering av befintlig statistik". Mörner ifrågasätter även att nya bergrörelser i de flesta fall följer redan befintliga sprickzoner.

SGU kommenterar den utgångspunkt i SR 97 som innebär att man kan undvika (mekaniska) kapselskador genom att inte förlägga förvaret närmare än 100 meter från existerande 100 km långa sprickzoner och presumtiva framtida förkastningszoner. Det är enligt SGU inte bevisat att de unga rörelserna i berggrunden överallt följt äldre svaghetszoner, och definitivt inte de största zonerna. Rörelserna i berget tycks snarare ut-

nyttja flera existerande zoner som legat lägligt till i förhållande till belastningen eller rådande spänningar.

De postglaciala förkastningarnas förhållande till äldre svaghetszoner måste enligt SGU undersökas bättre dels för att kunna undvika en lokalisering av ett slutförvar nära presumtiva framtida rörelsezoner, dels för att bättre förstå mekanismerna bakom de förkastningsrörelser som inträffade i samband med den senaste isavsmältningen. SGU framför även att det är viktigt att förstå hur förkastningsrörelser påverkar grundvattensituationen.

Statens råd för kärnavfallsfrågor, Kasam pekar på behovet att även beakta landhöjningens effekter på bergrunden och dess inverkan på vattenkemin. Det behöver utredas om effekterna av att ackumulerade kryprörelser utlöses i någon del av förvaret kan medföra att ett inte obetydligt antal kapslar skadas. Det finns enligt Kasam flera undersökningar i Norge som har visat ett tydligt samband mellan landhöjningsintensiteten och sprickors konduktivitet och brunnars vattenföring.

### **4.3 SKI:s och SSI:s granskning och bedömning**

#### **4.3.1 Förutsättning för scenariot**

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) anser att scenariot är innovativt och användbart men uttrycker sin förvåning över att det får så stor betydelse i SR 97 i och med att det svenska urberget anses vara stabilt.

De stora (i storleksordningen magnitud 7 och större) jordskalven i Sverige är nära kopplade till klimatrelaterade effekter (t.ex. isavsmältningsfasen). Myndigheterna ställer sig frågande till hur relevant det är att ha ett eget scenario för tektonik/jordskalv som utgår från basscenariot, med antagande om att dagens klimat råder framgent. Speciellt klimatrelaterade faktorer som nedisning kan ha stor betydelse för att större skalv överhuvudtaget ska kunna ske.

Myndigheterna är tveksamma till om SKB kan använda befintlig jordskalvsstatistik (från mätningar under ca 100 år) för att extrapolera hundratusen år framåt i tiden. Detta ifrågasätts även av Mörner (SKI, 2000b). Enligt myndigheterna täcker SKB emellertid i sin analys in tidsperspektivet fram till nästa istid.

#### **4.3.2 Ursprung och frekvens av jordskalv**

SKB:s redovisning ger en bra och översiktlig sammanfattning av mekanismer för uppkomst av jordskalv och dess fördelning i tid och rum.

De sannolikhetsberäkningar som SKB presenterar för kapselskador (orsakade av jordskalv med magnitud större än 5 på Richterskalan), bygger bl.a. på extrapolation av befintlig jordskalvsstatistik för Sverige och antas gälla hundratusen år framåt i tiden. Den



befintliga svenska jordskalvsstatistiken är enligt myndigheterna av begränsat värde, eftersom jordbävningarna har olika ursprung exempelvis med avseende på bildningssätt.

Extrapolationer i tid och rum är alltid behäftade med större eller mindre fel och SKB konstaterar således att detta sannolikt är det största osäkerhetsmomentet i analysen. Det är för närvarande en öppen fråga om extrapolationen gäller för jordskalv bildade genom rörelser i den litosfäriska plattan eller töjningar från den senaste istiden. SR 97 ger inga klara besked om detta. Myndigheterna anser att SKB behöver explicit redogöra för den tidsrymd för vilka resultaten från sannolikhetsberäkningarna är giltiga. Det är enligt myndigheterna sannolikt att åtminstone en glaciation kommer att inträffa inom de hundratusen år som extrapoleringen bygger på. Myndigheterna anser därför inte att beräkningarna genomförda i SR 97 ger en bra bild av riskerna för tiden under och efter en glaciation.

Som framgår av SKI:s konsult Stephanssons (SKI, 2000c) yttrande borde NORSAR mätningar kunna förbättra dataunderlaget för jordskalvsstatistiken. Dessa mätningar omfattar även seismiska riskanalyser för oljeplattformar. Detta kan vara till hjälp vid analyser av sannolikheten för rörelser som kan påverka ett slutförvar.

Framtida geodetiska mätningar baserade på satellitdata bör enligt myndigheterna ge en mer entydig och systematisk bild av de horisontella töjningar som nu pågår i den Baltiska skölden. De bör också öka förståelsen för varför vissa regioner har högre seismisk aktivitet än andra. Detta ingår även i det förslag SKB själva framför till förbättringar av sannolikhetsanalysen för jordskalv.

### 4.3.3 Mekanisk påverkan på berget

SKB hävdar bl.a. att det finns en enighet om att förkastningsrörelser längs postglaciala förkastningar företrädesvis har skett som reaktivering av befintliga sprickor snarare än genom nybildning. Det finns dock olika syn på detta bland forskare och faktaunderlaget är begränsat. Myndigheterna anser därför att SKB borde mera fullständigt belysa betydelsen av förkastningsrörelser som reaktivering och nybildning t.ex. med hjälp av känslighetsanalyser.

Den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) saknar i tektonik/jordskalvsscenarioet en analys av transienta hydrauliska effekter (seismisk pumpning) och eventuella effekter av dessa i ett längre tidsperspektiv (t.ex. påverkan på grundvattenkemin). SGU (SKI, 2000b) samt Glynn och Geier (SKI, 2000c) tar upp bristen i hanteringen av kopplade effekter, t.ex. rörelser längs förkastningszoner som påverkar flödesbilden (se även bilaga 2, kapitel 3). Frågor rörande dessa och liknande sekundäreffekter bör redovisas mer ingående i framtida analyser.

SKB anger att man bör undvika sprickzoner av en viss storlek för att minimera sannolikheten för kapselbrott (enl. SKB:s sannolikhetsuppskattning). Stephansson resp. Geier (SKI, 2000c) pekar på behovet av en mer stringent och uttömmande definition om vad SKB avser med respektavstånd och i vilka sammanhang SKB kommer att använda sig av begreppet. Tirén (SKI, 2000c) tar i sitt yttrande upp problemet med karakteriseringen

av sprickzoner, t.ex. hur de kan avgränsas. SGU (SKI, 2000b) konstaterar också att det inte är självklart att alla sprickzoner och presumtiva framtida rörelsezoner kan upptäckas, som kan ge (mekaniska) kapselskador vid framtida jordskalv nära förvaret. Myndigheterna utgår från att SKB:s kommande redovisning om platsundersökningar innehåller en beskrivning av hur SKB ämnar hantera ovan nämnda problem.

### 4.3.4 Betydelse för säkerhetsanalysen

SKB:s beräkningar visar att sannolikheten för kapselskador orsakade av jordskalv är i samma storleksordning som den som antagits för initiala kapselskador. SKB anger vidare att sannolikheten för kapselskador i praktiken är försumbar med hänvisning till att man gjort pessimistiska antaganden i beräkningsmodellen (friktionens betydelse för bergrörelser har försummats) och att stora sprickzoner kan undvikas vid inplaceringen av kapslarna. SKB konstaterar därför att inga radionuklidtransportberäkningar behöver göras i tektonik/jordskalvsscenarioet.

Myndigheterna anser inte att jämförelsen mellan frekvensen av skador till följd av berg-rörelser och sannolikheten för initiala kapselskador är användbar eftersom en skjuvrörelse skulle kunna skada samtliga tekniska barriärer. Myndigheterna anser att SKB:s slutsatser om jordskalvens betydelse för lokaliseringen av ett slutförvar är svårbedömda, och vill uppmana SKB att utvärdera effekterna av skjuvrörelser på samtliga barriärer i kommande analyser.

SKB ser ett utvecklingsbehov för metoderna att uppskatta sannolikheterna för jordskalv och menar att redovisningen i SR 97 endast utgör ett första steg för att ta fram ett tillvägagångssätt för kvantitativ analys av jordskalvscenarier. Myndigheterna kan således konstatera att det finns en stor insikt hos SKB om att kunskapsbasen är begränsad. Myndigheterna ifrågasätter emellertid sättet att särskilja i grunden kopplade mekanismer (orsak-verkan) i enlighet med strategin för att hantera jordskalv i SR 97. Ett alternativ är att under ett gemensamt scenario på ett integrerat sätt hantera ett större antal mekanismer, såsom jordskalv och klimatförändringar (isavlastning).

## **5 Scenarier baserade på mänskliga handlingar**

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

SKB har lagt ner ett stort arbete på att diskutera förutsättningarna för mänskligt handlande som skulle kunna leda till åverkan på slutförvaret och därav följande radiologiska konsekvenser. SKB har därvid särskilt analyserat fall som leder till intrång i förvaret t.ex. i form av djupborrningar genom slutförvaret. Bland annat bedöms de sociala och tekniska förutsättningar av betydelse för att ett sådant intrång skulle kunna ske oavsiktligt. Olika scenarier för samhällsutveckling och kunskap om förvaret inom samhället har belysts bl.a. genom expertbedömningar (i form av s.k. morfologisk analys) och med en diskussion av dessa bedömningsverktyg.

### **5.2 Remissynpunkter**

Endast den internationella expertgruppen (SKI, 2000a) har haft synpunkter på SKB:s redovisning av intrång, och scenarier som leder till intrång. Expertgruppen bedömer att analysen är väl genomtänkt och har utvecklats av SKB till en nivå man ser i andra nationella program, som har tagit upp denna fråga. En värdefull komponent är att analysen kan vara en utgångspunkt för fortsatt dialog med myndigheterna om vad som krävs på denna punkt.

### **5.3 SKI:s och SSI:s granskning och bedömning**

#### **5.3.1 Filosofin**

Internationella studier om intrång har som regel haft utgångspunkten att samhället måste ta ansvar för sina egna medvetna handlingar. Ingen kan heller idag vidta trovärdiga åtgärder för att förhindra ett medvetet framtida intrång i ett avfallsförvar. Därför har diskussionen i dessa studier första hand handlat om omedvetna intrång (NEA, 1995b).

När det gäller effekter av mänskliga handlingar i stort, inklusive sådana av global och regional natur, har det lanserats olika strategier för vad som behöver redovisas och bedömas. En strategi kan vara att, såsom SKB, föra resonemang om tänkbara framtida samhällsutvecklingar, och använda en sådan analys för att diskutera sannolikheten av olika scenarier. En annan strategi kan vara att strikt hålla sig nutida mänsklig verksamhet vid formulering av scenarier. Motivet för den senare strategin skulle då vara att undvika för mycket spekulationer om den framtida utvecklingen. Enligt myndigheterna kan det vara värdefullt att ha med båda dessa betraktelsesätt för att få ett fullständigt bedömningsunderlag. Myndigheterna anser också att analys av vissa scenarier, framförallt de som innebär intrång i ett slutförvar, i första hand bör användas vid bedömning av val strategi och metod för omhändertagande av kärnavfall. Många av dessa frågor har belysts i en nyligen publicerad statusrapport (Wilmot m.fl., 1999).

En annan distinktion som också ofta görs i studier om intrång är avgränsningen mellan doser och hälsoeffekter till den grupp som förorsakar intrånget, och doser till individer ur allmänheten som inte berörs av själva intrånget, men som påverkas av ett utflöde från förvaret föranledd av intrånget.

SSI har inte ställt upp dosgränser för sådana missöden som ett oavsiktligt intrång innebär. Det är däremot ett myndighetskrav att frågan belyses för att ge en allsidig bild till myndigheter och andra beslutsfattare av den riskbild som förvaret medför. Framför allt är det förvarets förmåga att hålla kvar de radioaktiva ämnena efter ett intrång som behöver redovisas.

Enligt myndigheterna kan sådana analyser som SKB har gjort om tänkbar samhällsutveckling och dess betydelse för intrång vara till nytta för bedömning av passiva system, arkiv m.m., som kan komma att upprättas i ett senare skede.

Myndigheterna har inte i sina föreskrifter ställt krav på de av SKB:s redovisade scenarierna och den bakomliggande argumentationen, men myndigheterna delar den internationella expertgruppens bedömning att SKB:s ansats är värdefull. Den kan utgöra en del av grunden för den fortsatta dialogen med myndigheterna om vad som skall presenteras i det mera detaljerade underlaget som myndigheterna kommer att kräva i senare versioner av säkerhetsredovisningen.

### **5.3.2 Förvarets skyddsförmåga efter ett intrång**

Både SSI:s (SSI, 1999) och SKI:s föreskrifter om slutförvaring ställer krav på att slutförvarets skyddsförmåga och funktion efter ett intrång ska redovisas. Föreskrifterna styr inte beräkningarna i detalj eftersom ett intrång kan ske på många sätt. SKB har gjort antaganden om borrhål och bentonitens egenskaper i samband med ett intrång, och redovisar doser till individer ur allmänheten efter ett intrång i avsnitt 12.6.3, ”Stråldos och risk för familjen”. Myndigheterna anser dock att SKB inte redovisat något underlag för påståendet att buffert och återfyllnad fungerar som avsett efter en sådan skada.

SKB:s analys bedöms vara tillfyllest från de utgångspunkter som gäller idag.