

SKI Rapport 01:14
SSI-rapport 2001:10

**SKI:s och SSI:s gemensamma granskning
av SKB:s preliminära säkerhetsanalys
för slutförvar för långlivat låg- och
medelaktivt avfall**

Granskningsrapport

Mars 2001

SKI Rapport 01:14
SSI-rapport 2001:10

**SKI:s och SSI:s gemensamma granskning
av SKB:s preliminära säkerhetsanalys
för slutförvar för långlivat låg- och
medelaktivt avfall**

Granskningsrapport

Mars 2001

Förord

I denna rapport redovisas SKI:s (Statens kärnkraftinspektion) samt SSI:s (Statens strålskyddsinstitut) granskning av SKB:s (Svensk kärnbränslehantering AB) preliminära säkerhetsanalys av slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall (svensk version: SKB R-99-59; engelsk version: SKB TR-99-28). Förutom myndigheternas bedömningar ingår i rapporten även en sammanfattning av SKB:s redovisning samt synpunkter från externa experter som anlits av SKI och SSI. Målgruppen för denna rapport är i första hand SKB samt andra organisationer och experter verksamma inom kärnavfallsområdet.

Myndigheternas granskning har genomförts i ett nära samarbete mellan avdelningarna för kärnavfallssäkerhet (SKI) och avfall och miljö (SSI). Synpunkterna har tagits fram av en arbetsgrupp med representanter från båda myndigheterna. Ansvarig för textframställningen har varit Bo Strömberg från SKI (säkerhetsanalysmetodik och radionuklidtransport), Anders Wiebert från SSI (avfall och radionuklidinventarium) och Rodolfo Avila (biosfärsberäkningar). Dessutom har följande personer bidragit med synpunkter: Björn Dverstorp (SKI), Fritz Kautsky (SKI), Mikael Jensen (SSI), Benny Sundström (SKI), Öivind Toverud (SKI) och Stig Wingefors (SKI).

Innehållsförteckning

Kapitel 1 Inledning	3
2.1 Bakgrund.....	5
2.2 Genomförande av granskningen	5
2.3 SSI:s och SKI:s utgångspunkter	6
Kapitel 3 Avfallsinventarium	9
3.1 SKB:s redovisning	9
3.1.1 Allmänt	9
3.1.2 Avfallet i SFL 3	9
3.1.3 Avfallet i SFL 4	9
3.1.4 Avfallet i SFL 5	10
3.1.5 Inventarium i SFL 3-5	10
3.2 Synpunkter från externa experter	10
3.3 Myndigheternas bedömning	11
3.3.1 Konservatism och återkoppling till fortsatt arbete	11
3.3.2 Korrelationsfaktorer.....	11
Kapitel 4 Utformning och placering av SFL 3-5	15
4.1 SKB:s redovisning	15
4.2 Synpunkter från externa experter	15
4.3 Myndigheternas bedömning	16
4.3.1 Val av försvarsutformning och lokalisering	16
4.3.2 Beaktande av ogynnsamma händelser	17
Kapitel 5 System- och Scenarioanalys	19
5.1 SKB:s redovisning	19
5.2 Synpunkter från externa experter	19
5.3 Myndigheternas bedömning	20
5.3.1 Systemanalys	20
5.3.2 Scenarioanalys	21
Kapitel 6 Geosfärsförhållanden	23
6.1 SKB:s redovisning	23
6.2 Synpunkter från externa experter	23
6.3 Myndigheternas bedömning	24
Kapitel 7 Biosfärsförhållanden	25

7.1 SKB:s redovisning	25
7.2 Synpunkter från externa experter	25
7.3 Myndigheternas bedömning	26
Kapitel 8 De tekniska barriärerna och deras långtidsegenskaper	29
8.1 SKB:s redovisning	29
8.2 Synpunkter från externa experter	29
8.3 Myndigheternas bedömning	30
Kapitel 9 Radionuklidtransport och uppskattning av dos	33
9.1 SKB:s redovisning	33
9.2 Synpunkter från externa experter	34
9.3 Myndigheternas bedömning	35
9.3.1 Närområdet	35
9.3.2 Fjärrområdet	36
9.3.3 Beräkning av dos och risk.....	37
Kapitel 10 Myndigheternas samlade slutsatser	39
Referenser	43

Kapitel 1 Inledning

En viktig del av det svenska kärnavfallsprogrammet som hittills haft en något undanskymd roll är slutförvaringen av det långlivade låg- och medelaktiva avfallet. Detta avfall innefattar t.ex. härdkomponenter från de svenska kärnkraftverken, visst avfall från reparationer och underhåll av kärnkraftverken, rivningsavfall från den planerade inkapslingsanläggningen för använt kärnbränsle och CLAB, samt kärnavfall genererat från forsknings- och utvecklingsarbete vid Studsviks anläggningar. SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) planerar att slutförvara detta avfall i ett cementförvar på ca 300 m djup i den svenska berggrunden kallat SFL 3-5. Den konstruktion som för närvarande utvärderas för detta förvar påminner mycket om den konstruktion SKB valt för det s.k. SFR förvaret för driftavfall (främst bergsalen för medelaktivt avfall) som redan är i drift och är beläget utanför kärnkraftverket i Forsmark.

SKB:s tidiga redovisning gav inte någon anledning att ifrågasätta att utvecklingen av ett slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall, SFL 3-5, skulle skilja sig nämnvärt från utvecklingen av ett slutförvar för det använda bränslet, SFL 2 (i fråga om lokalisering, tidpunkter för ansökan av byggnation etc.). Enligt SKB:s nuvarande tidplaner kommer dock SFL 3-5 inte börja byggas förrän om ca 35 år (2035) dvs. drygt 20 år efter det att SFL 2, enligt samma tidplan, börjar byggas. Vad det gäller lokalisering är SKB:s nuvarande uppfattning att samlokalisering av de båda förvarstyperna bara är ett av flera möjliga alternativ. Man föreslår dessutom att en samlokalisering med SFR bör utredas liksom en helt fristående lokalisering. SKB anger för närvarande inte någon tidpunkt då dessa utredningar bör göras men antyder att framtagandet av en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) för SFL 3-5 bör ta ca 3 år och detaljundersökningar samt anläggningsarbeten ca 4 år.

SKB:s preliminära säkerhetsanalys är den första sammanhållna säkerhetsredovisningen för SFL 3-5. Preliminär i detta sammanhang betyder enligt SKB att säkerhetsredovisningen begränsats jämfört med t.ex. motsvarande redovisning för SFL 2 (bränsleförvaret) samt att alla antaganden som utnyttjats inte har utvärderats. Säkerhetsanalysen baseras på en tidigare framtagen design samt en studie över framförallt de tekniska barriärsystemens betydelse (SKB TR-95-03). Det mest omfattande underlaget som tagits fram för denna säkerhetsanalys är en sammanställning av avfallets uppskattade innehåll av radionuklider (Lindgren et al., 1998). Dessutom finns underlagsrapporter som behandlar radionuklidtransport (SKB R-99-14), data (SKB R-99-13), geokemiska betingelser (SKB R-99-15) samt inverkan av gasutveckling och gastransport (SKB R-99-16). De specifika målsättningar med den preliminära säkerhetsanalysen som SKB särskilt nämner är att utvärdera den föreslagna förvarsutformningen samt studera inverkan av platsvalet.

Kapitel 2 Syfte och förutsättning

2.1 Bakgrund

I regeringens beslut (1996-12-19) över SKB:s forsknings, utvecklings och demonstrationsprogram som presenterades 1995, FUD-program 95, begärde regeringen att SKB skulle presentera en säkerhetsanalys av slutförvarets långsiktiga säkerhet. SKB presenterade under slutet av 1999 SR 97 (säkerhetsanalys för slutförvaret för använt bränsle) och den preliminära säkerhetsanalysen för SFL 3-5. SKI och SSI redovisade under år 2000 sin granskning av SR 97 (SKI Rapport 00:39, SSI-rapport 2000:17).

Myndigheterna anser att det ligger inom SKB:s ansvar att tillgodose att det finns väl utvecklade planer för att omhänderta samtliga avfallsströmmar härrörande från kärnkraftverken och SKB:s egna anläggningar. Dessa planer innebär att det bör finnas väl utvecklade slutförvarskoncept för allt avfall som har goda förutsättningar att möta de myndighetskrav som ställts upp. Myndigheterna anser därför att säkerhetsredovisningen för SFL 3-5 på sikt skall utvecklas till samma omfattning och djup som redovisningen för SFL 2. Denna uppfattning kommer också till uttryck i regeringens beslut (2000-01-24) över SKB:s FUD-program 98:

”Regeringen utgår från att bolaget uppmärksammar hithörande frågor [*avseende SFL 3-5*] i samband med programmet för platsundersökningar.”

För att kunna genomföra analysen har SKB tagit fram ett referensinventarium för avfallet som avses deponeras i de olika delarna av förvaret. Inventariet skall omfatta bl.a. avfallsmängder samt dess innehåll av radionuklider och kemiska sammansättning. Stora delar av detta avfall, framför allt det som avses deponeras i SFL 4 och 5, existerar ännu inte, annat än som komponenter som används i kärnkraftverken och i CLAB. Det existerande avfallet uppkom väsentligen under utvecklandet av det svenska kärnenergiprogrammet på 50-70-talen. SKI och SSI anser att ett av de viktigaste förarbetena till säkerhetsanalysen för SFL 3-5 var att ta fram ett så noggrant referensinventarium som möjligt, eftersom detta är en styrande faktor för förvarsutformning och barriärernas dimensionering. Det kommer bli nödvändigt att gradvis förfina och förbättra detta referensinventarium inför det fortsatta arbetet med att utveckla SFL 3-5.

2.2 Genomförande av granskningen

SKI och SSI inledde vid årsskiftet 1999/2000 en gemensam granskning av säkerhetsredovisningen för SFL 3-5 (SKB TR-99-28). Resultatet av denna granskning presenteras i denna rapport. Förutom myndigheternas egna uppfattningar, återges mycket kort några av SKB:s viktigaste utgångspunkter samt ett antal externa omdömen.

Ett stort antal organisationer har givits möjlighet att lämna synpunkter på SKB:s säkerhetsanalyser för det planerade bränsleförvaret (SR 97) och för SFL 3-5, som skulle ha inkommit till SKI senast den 15 april 2000. Dessutom ombads Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM) att inkomma med synpunkter senast den 15 maj 2000. Remissinstanserna har även givits möjlighet att lämna synpunkter på säkerhetsredovisningen i samband med granskningen av SKB:s kompletterande redovisning av FUD-program 98 som

publicerades i december 2000. SKB:s kompletterande redovisning av FUD-program 98 innehåller dock ingen ytterligare redovisning av frågor relaterade till SFL 3-5.

Av de remissinstanser som svarande har endast en särskilt kommenterat säkerhetsanalysen för SFL 3-5 nämligen Statens råd för kärnavfallsfrågor, KASAM (SKI Rapport 00:34). Detta skulle kunna förklaras av en generellt sätt begränsad kännedom om tekniska frågor relaterade till det planerade SFL 3-5 förvaret bland de organisationer som visat intresse för kärnavfallsfrågan. Myndigheterna anser att informationsinsatser för att öka kunskaperna om dessa mindre kända delar av SKB:s program förefaller angelägna.

SKI och SSI har även utsett en extern grupp av internationella experter för att granska SKB:s säkerhetsredovisning av SFL 3-5. Gruppen ombads granska SKB:s metodik för analysen och dess tillämpning, SKB:s övergripande säkerhetsstrategi samt, utifrån ett internationellt perspektiv, bedöma möjligheterna för genomförbarhet av SKB:s föreslagna slutförvarskoncept. Den internationella gruppen tillsände SKB ett antal frågor inför ett möte som hölls mellan gruppen och SKB i Stockholm den 22 mars 2000. Dessa frågor besvarades skriftligt av SKB. Vid mötet gavs senare ytterligare möjlighet till nya frågor från granskningsgruppen och klarlägganden från SKB:s sida. En slutpresentation av granskningsgruppens resultat hölls i Stockholm den 31 maj 2000. Gruppens slutrapport finns publicerad som en SKI rapport (SKI Rapport 00:41). Den engelska originalutgåvan finns även översatt till svenska (SKI Rapport 00:54).

Myndigheterna har även anlitat experter på vissa tekniska frågor för att erhålla fördjupade omdömen om hur SKB i säkerhetsanalysen har hanterat vissa aspekter på långsiktig säkerhet (som användning av expertomdömen, definition av beräkningsfall, geokemi, betydelse av kolloider). Dessa omdömen finns publicerade i olika delar av SKI rapporterna 00:47 och 00:33.

I denna rapport återges en sammanfattning av de viktigaste externa synpunkterna på SKB:s säkerhetsredovisning för SFL 3-5 (KASAM, den av myndigheterna utsedda expertgruppen, SKI:s konsulter). I de följande avsnitten finns dessa samlade under rubriken synpunkter från externa experter.

2.3 SSI:s och SKI:s utgångspunkter

Kravet på den föreliggande säkerhetsanalysen går att härleda till regeringsbeslutet 1996-12-19. Enligt beslutet ska en säkerhetsanalys inges till myndigheterna innan platsundersökningar på två eller flera platser påbörjas. Att genomföra platsundersökningar är inte kärnteknisk verksamhet, och är därför inte tillståndspliktigt enligt kärntekniklagen. Den granskning som nu ägt rum av myndigheterna är således ingen granskning av en tillståndsansökan.

Likväl har myndigheterna valt att genomföra granskningen mot bakgrund av de föreskrifter som SSI presenterat och det förslag till föreskrifter som SKI presenterat. Denna granskning måste dock ta hänsyn till att föreskrifterna inte varit tillgängliga när SKB påbörjade arbetet med säkerhetsanalysen och att SKB:s analys är preliminär.

De strålskydds krav som framförallt är relevanta för granskningen av SKB:s säkerhetsanalys finns beskrivna i SSI:s föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall (SSI FS 1998:1). Det grundläggande kravet för skydd av människors hälsa är att den årliga risken för skadeverkningar efter

förslutning skall vara mindre än 10^{-6} för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken. SSI:s krav på miljöskydd är mer allmänt formulerade.

SSI kräver i sina föreskrifter att ett slutförvar skall vara konstruerat med hänsyn till principen ”bästa möjliga teknik” (BAT, eng: best available technique). Detta innebär t.ex. att barriärsystemet för det valda konceptet skall vara utfört på ett sådant sätt att det kan anses vara den bästa möjliga tekniken som för närvarande finns tillgänglig till en rimlig kostnad. Ett annat krav som finns med i SSI:s föreskrifter är att redovisningar av förvarets långsiktiga utveckling tas fram för två skilda tidsperioder (de första tusen åren samt långa tidsperioder). För de första tusen åren ställs högre krav för redovisningen vad gäller t.ex. kvantitativa beräkningar.

SKI:s föreskrifter om säkerhet vid kärntekniska anläggningar (SKI FS 1998:1) gäller för byggnation, drift och förslutning av ett slutförvar. Däremot inkluderas inga bestämmelser om den långsiktiga säkerheten efter förslutning. Ett förslag till kompletterande föreskrifter om slutförvaring har därför utarbetats och sänts ut på remiss. SKI:s förslag till kompletterande föreskrifter är inriktade på att tillgodose kravet på en fullgod inneslutning av de radioaktiva ämnena för en så lång tid som behövs med hänsyn till avfallens farlighet. Detta skall uppnås med en system av barriärer. En brist i en grundläggande säkerhetsfunktion för någon av barriärerna får inte påtaglig försämra slutförvarets säkerhet. Ett annat krav är att platsen som valts ut för slutförvaret måste ge tillräckligt stabila och gynnsamma förhållanden så att barriärerna skall fungera som avsetts under tillräckligt lång tid.

I SKI:s förslag till föreskrifter ställs krav på att förhållanden, händelser och processer som har betydelse för säkerheten skall analyseras och dokumenteras. I de allmänna råden till föreskrifterna ges rekommendationer som t.ex. beskriver hur scenarier bör väljas ut och redovisas, hur sannolikheter för scenarier och beräkningsfall bör beaktas, hur osäkerheter kan utvärderas liksom hur giltigheten för beräkningsmodeller kan bedömas. I förslaget omnämns att säkerhetsanalysen måste täcka in hela den tidsperiod under vilken säkerhetsfunktioner är nödvändiga (dock minst 10 000 år och högst 1 000 000 år).

Myndigheterna konstaterar inledningsvis att den preliminära säkerhetsanalysen inte uttryckligen redogör för hur dessa myndighetskrav har tillgodosetts.

Kapitel 3 Avfallsinventarium

3.1 SKB:s redovisning

3.1.1 Allmänt

SKB:s redovisning av källtermen i SFL 3-5 och som presenteras i kapitel 2 bygger till största delen på rapporten ”Low and Intermediate Level Waste in SFL 3-5; Reference Inventory”, hädanefter benämnd inventarierapporten. I kapitel 2 i huvudrapporten (R-99-59) har SKB sammanfattat resultaten från detta arbete och i kapitel 8 (tabell 8-1) presenteras den källterm som används som underlag i beräkningskedjan. Källtermen omfattar ett mindre antal radionuklider än inventariet. De radionuklider som sorterats bort har gjorts antingen på grundval av liten förekomst eller på grundval av litet närzonsutsläpp i förhållande till andra radionuklider.

I inventarierapporten beskrivs de olika typerna av avfall som avses deponeras i de olika förvarsdelarna, SFL 3, 4 och 5. En del av detta avfall är i dag redan producerat och konditionerat, detta gäller framförallt avfall som finns vid Studsviks anläggningar. Visst avfall från underhåll och reparationer av kärnkraftverken avses även att deponeras i SFL 3-5. Det övriga avfallet, som väsentligen består av rivningsavfall från CLAB, inkapslingsanläggningen samt kärnkraftverken har av naturliga skäl ännu inte producerats då anläggningarna ännu är i drift eller ännu inte är byggda.

SKB anger att målet med inventarierapporten är att ta fram ett referensinventarium för SFL 3-5 för att användas i den preliminära säkerhetsanalysen. I inventarierapporten beskrivs avfallet, dess konditionering och radionuklidinnehåll, baserat på dagens kunskap om avfallet. I kapitel 2, 3 och 4 ger SKB en sammanfattande beskrivning av avfallet till de tre olika förvarsdelarna, för att i kapitel 5 sammanfatta resultaten för SFL 3-5 som helhet. Sammanfattningen, avseende radionuklidinnehållet i avfallet, bygger på de korrelationsfaktorer som härleds i appendix A samt den noggrannare beskrivning av avfallet som ges i appendix B-E. I kapitel 6 diskuterar SKB osäkerheterna både med avseende på volymer och aktivitetsinnehåll.

3.1.2 Avfallet i SFL 3

Avfallet i SFL 3 består dels av driftavfall från CLAB och inkapslingsanläggningen, liknande det avfall som för närvarande deponeras i SFR 1, och dels av avfall från Studsviks egen forskningsverksamhet, men även avfall från tidigare FOA (Försvarets Forskningsanstalt), industri, sjukvård, universitet och högskolor. Avfallet avses placeras i 200-liters fat eller i betongkokiller.

3.1.3 Avfallet i SFL 4

Avfallet i SFL 4 består av rivningsavfall från CLAB, inkapslingsanläggningen, lagringskassetter för använt bränsle från CLAB och transportbehållare. Avfallet avses deponeras antingen utan ytterligare konditionering eller placerat i kubiska plåtlådor med en sidlängd på 2.4 m. Det råder en viss oklarhet huruvida avfallet i plåtlådor kommer att ingjutas, vilket anges i den preliminära säkerhetsanalysen, eller inte ingjutas som det framgår av inventarierapporten.

3.1.4 Avfallet i SFL 5

Avfallet i SFL 5 består av interna delar från kärnkraftverken och visst avfall från Studsvik. Avfallet avses placeras i långa betongkokiller med en stålinsats. SKB anger att avfallet kommer att ingjutas i kokillerna.

3.1.5 Inventarium i SFL 3-5

I inventarierapporten har korrelationsfaktorer mellan s.k. nyckelnuklider (Co-60, Cs-137 och Pu-239/240) och övriga nuklider tagits fram.

Korrelationskoefficienterna har antingen bestämts genom beräkningar eller genom mätningar. SKB skriver i rapporten att tyngdpunkten har lagts på uppmätta korrelationsfaktorer, och särskilt mätningar som skett vid svenska anläggningar. För korrelationer mellan Pu-239/240 och övriga aktinider har dock korrelationsfaktorer uteslutande valts baserade på beräkningar av radionuklidinventariet i ett utbränt bränsleknippe från en kokvattenreaktor (BWR). I rapporten redovisas dock även mätningar av förhållanden mellan Pu-239/240 och andra aktinider.

I rapporten går SKB igenom ett flertal radionuklider och för de nuklider som SKB finner relevanta presenteras både tidigare mätta och beräknade korrelationsfaktorer till respektive nyckelnuklid. Bortsortering av radionuklider sker i två led, dels för källtermen i inventarierapporten, dels för källtermen till beräkningarna i säkerhetsanalysrapporten. Nuklider som utesluts är dels sådana med en halveringstid kortare än 2 år eller radionuklider med så lång halveringstid att nukliden kan betraktas som stabil, dels sådana som inte förväntas återfinnas i avfallet. Halterna av nyckelnuklider i avfallet, som sedan ger halterna av korrelerade nuklider, beskrivs i appendix B-E i inventarierapporten för de olika typerna av avfall.

SKB anger att aktivering av de spårmängder av uran och torium som finns i metalldelar nära härden i reaktorerna inte har analyserats.

3.2 Synpunkter från externa experter

Den internationella expertgruppen framför i sin granskningsrapport att inventarierapporten utgör en utmärkt grund för ett kontinuerligt förfinat och uppgraderat inventarium. Gruppen framför ett antal synpunkter på tillämpningen av korrelationsfaktorer för att uppskatta inventariet och menar att tillämpandet måste sättas i relation till hur stor del av inventariet som skulle bedömas helt felaktigt. Gruppen pekar även på ett antal frågor som skulle vinna på ökad klarhet. Bland annat efterlyser gruppen redogörelser för osäkerheterna i de studier som ligger till grund för korrelationsfaktorerna och att SKB dokumenterar de expertbedömningar som ligger bakom valet av korrelationsfaktor. Vad gäller frågan om inventarium i SFL 5 pekar gruppen på den underskattning av neutronaktivering av komponenter utanför härden som användandet av programmet ORIGEN-2 ger upphov till. Denna underskattning kan, enligt gruppen, ge upphov till ett fel med en till två storleksordningar i beräknad Pu-, Am- och Cm-aktivitet i avfallet i SFL 5.

3.3 Myndigheternas bedömning

3.3.1 Konservatism och återkoppling till fortsatt arbete

Att använda korrelationsfaktorer för att bestämma radionuklidinventariet medför olika grad av osäkerheter. SKB konstaterar att osäkerheterna för nuklidinventariet för vissa avfallstyper kan vara upp till en faktor 100. SKB anger också att det underlag som nu tagits fram kan tillsammans med resultaten från säkerhetsanalysen ge vägledning till vilka radionuklider som man framledes skall prioritera för att minska osäkerheterna kring inventariet. Myndigheterna håller med om att denna ansats är riktig, men menar att om slutsatser skall dras i nuvarande skede beträffande prioritering eller snarare bortsortering av vissa radionuklider behöver SKB, dels säkerställa att det inventarium som ligger till grund för säkerhetsanalysen åtminstone inte underskattar förekomsten av dessa radionuklider, dels att den säkerhetsanalys som genomförs är tillräckligt omfattande vad gäller analyserade scenarier och exponeringsvägar. Annars föreligger en uppenbar risk att potentiellt viktiga radionuklider sorteras bort i ett alltför tidigt skede av processen. Vad gäller fullständigheten hos valda scenarier och exponeringsvägar återkommer myndigheterna med kommentarer i kapitel 5 och 7.

3.3.2 Korrelationsfaktorer

Vad gäller de valda korrelationsfaktorerna anser myndigheterna, liksom den internationella granskningsgruppen, att SKB borde ha ägnat större uppmärksamhet åt de osäkerheter som föreligger samt åt dokumentationen av de expertbedömningar som gjorts. SKB:s val av korrelationsfaktorer borde motiveras bättre för många radionuklider, särskilt för de fall då *mätningar* påvisar ett större värde på korrelationsfaktorn än det som SKB väljer för analysen. Exempelvis borde SKB utförligare ha motiverat valet av korrelationsfaktor för vissa transuraner (ex Np-237, Pu-238, Am-241 och Am-243) och för vissa viktiga fissionsprodukter (I-129 och Sr-90), som, trots SKB:s uttalade ambition att utgå från mätningar, till stor del baseras på beräkningar. Mätningar som presenteras i appendix A tyder på att de valda värdena på korrelationsfaktorerna kan vara icke-konservativa.

För samtliga transuraner, vilka korreleras till Pu-239/240, och för vissa fissionsprodukter, vilka korreleras till Cs-137, baseras de valda korrelationsfaktorerna på beräkningar vilka återfinns i Kjellbert 1990 (SKB arbetsrapport 90-41). Dessa beräkningar stämmer väl överens med de beräkningar som SSI utfört (SSI-rapport 96-03). Beräkningarna avser dock primärt bränsleinventariet och bränslekapsling och ger nödvändigtvis inte en korrekt bild av förhållanden i reaktorvattnet, än mindre för förhållanden i den kontaminerade aktiviteten eller den inducerade aktiviteten på ytor som inte befinner sig i direkt anslutning till härden. Detta konstateras även av den internationella granskningsgruppen. Därför kan mätningar ge viktig, kompletterande information för de förhållanden som råder utanför härden.

För att kunna bedöma produktionen av aktiveringsprodukter är det viktigt att alla förutsättningar ges. Viktiga förutsättningar är materialsammansättningen, ansatt neutronflöde/neutronspektrum, tid för bestrålning, metod för beräkning, använd datorkod etc. Med tanke på att Co-59 halten i det ursprungliga materialet utgör källan till förekomsten av nyckelnukliden Co-60, och att denna ursprungliga halt ofta endast är känd som ett ”mindre än” värde, är beräknade korrelationsfaktorer mycket osäkra. Till skillnad från annat strålskyddsarbete ger en högt ansatt halt av Co-59 i materialet ett icke-konservativt resultat.

SKB har valt att presentera mätresultatens spann samt medianvärde. Medianvärdet har i många fall legat till grund för valet av korrelationsfaktor. Med tanke på det stora intervall över vilket uppmätta korrelationsfaktorer föreligger anser myndigheterna att medelvärdet kan vara mer representativt. SKB borde ha motiverat valet av att i de allra flesta fall utgå från medianvärdet.

Anledningen till att SKB korrelerar halten av Cl-36 i crud till Cs-137 är oklar. Cl-36 är en aktiveringsprodukt och Cs-137 en fissionsprodukt, och således har de olika källor och är därmed oberoende av varandra. Förhållandet påverkas av hur många och vilken typ av bränsleskador som en reaktor har drabbats av. De viktiga faktorerna för uppskattning av Cl-36 i crud är halten klor i reaktorvattnet och hur klor fördelar sig mellan reningsfilter och systemtytor. Principiellt finns ingen direkt koppling till Cs-137, utan Cl-36 borde snarare korreleras till Co-60. Baserat på de data som SKB presenterar blir den kontaminerade halten Cl-36 en faktor 10-20 gånger större om Cl-36 korreleras till Co-60 i stället för Cs-137.

3.3.3 Radionuklidinventarium i SFL 3-5

I kapitel 2 i säkerhetsanalysen beskrivs övergripande de olika typerna av avfall som avses deponeras i SFL 3-5. En mycket mer detaljerad beskrivning ges i appendix B-F i inventarierapporten av de olika formerna av avfall som avses deponeras i SFL 3-5. Granskning av en så pass omfattande redovisning som inventarierapporten ger naturligtvis upphov till ett stort antal frågor och kommentarer av olika detaljeringsgrad. Det har inte varit myndigheternas avsikt att i föreliggande granskningsrapport redogöra för samtliga synpunkter. Nedan redogörs endast för de viktigaste bedömningarna samt ett antal mer generella iakttagelser.

Allmänna kommentarer

I tabell 8-1 i säkerhetsrapporten presenterar SKB det radionuklidinventarium som används vid de konsekvensberäkningar som gjorts. Inventariebestämningen är till stor del baserad på beräkningar och mätningar tillsammans med tillämpningen av korrelationsfaktorer. Myndigheterna anser, liksom den internationella expertgruppen, att sammanställningen är av mycket stort värde och bör kunna utgöra ett underlag till förfiningar och successiva uppdateringar av inventariet.

Myndigheterna anser, liksom den internationella expertgruppen, att korrelationsfaktorer bör användas med försiktighet och att användandet av dem måste sättas i relation till hur stor den förväntade osäkerheten blir. SSI:s konsult Ingemansson påpekar exempelvis att det är olämpligt att använda sig av korrelationsfaktorer, beräknade för avfall från kärnkraftverken, för stora delar av det avfall som uppstår eller har uppstått vid Studsvik (Ingemansson, 2000).

Tillämpandet av korrelationsfaktorer och andra liknande beräkningar kan i vissa fall ge ett orimligt värde på den uppskattade aktiviteten. Det finns flera exempel i tabellerna 2-3 och 8-1 på radionuklider som förefaller ges ett alltför lågt värde, exempelvis uppskattas den totala förekomsten av plutonium i SFL 5 till endast ca 40 mg. Detta värde kan jämföras med det tillåtna inventariet av plutonium i SFR-1 på ca 400 g. Eftersom kontaminering av systemtytor utgör en betydande sänka för radionuklider som frigörs i reaktorsystemet bedömer myndigheterna att SKB:s uppskattade plutoniummängd är orimlig. Ett annat sådant exempel är inventariet av U-238 i SFL 4 som uppskattas till knappt 10 Bq. Myndigheterna konstaterar också, liksom den internationella granskningsgruppen, att aktivering av Th/U-föreningar i

stål kan ge upphov till transuranaktivitet i avfallet utöver den aktivitet som sprids via kontaminerat reaktorvatten.

Myndigheterna anser dessutom att radionukliden Pu-239, som för övrigt är en av SKB:s nyckelnuklider, borde ingått bland de radionuklider (tabell 8-1) som ingår i konsekvensberäkningarna i säkerhetsanalysen.

Nuklidinventarium i härdkomponenter till SFL 5

Sammanställningen över nuklidinventariet för härdkomponenter är generellt bra och innehåller spårbara referenser till all väsentlig information och data. Avfallet i SFL 5 påverkar, enligt den föreliggande säkerhetsanalysen, signifikant den beräknade dosen med de dominerande radionukliderna Mo-93, Cl-36, C-14, Ni-59, Zr-93 och i ett kort tidsperspektiv H-3 och Sr-90. Eftersom många av dessa radionuklider rent mättekniskt är relativt svårbestämda är det viktigt att SKB fortsätter med den mätteknikutveckling som för närvarande pågår för bestämning av dessa nuklider i avfallet. SKB bör även överväga att beräkna innehållet av aktiveringsprodukter i materialet utifrån integrerat neutronflöde och spektrum, reaktionstvårsnitt samt kunskap (eller uppskattningar) av halter av exempelvis stabilt nickel, klor och molybden i bestrålade komponenter. I dag uppskattas dessa aktiveringsprodukter med koefficienterna i Appendix A, vilket kan medföra såväl onödig konservatism som underskattning av inventariet.

Nuklidinventarium i neutrondetektorer till SFL 5

Aktivitetsinventariet i neutrondetektorer bör uppdateras intermittent och införande av nya typer bör då beaktas, särskilt bör materialen i detektorerna beaktas. Det bör värderas om uppskattningarna av svårsmätbara nuklider kan för dessa material baseras på användning av korrelationsfaktorerna i Appendix A.

Referenshanteringen av historiskt avfall vid Studsvik

Liksom SSI påpekade i samband med granskningen av FUD program 98 är hanteringen av referenser undermålig i de avsnitt som berör det historiska avfallet från Studsvik. Allmänt gäller att källan till många kvantitativa uppgifter är "Personlig kommunikation", vilka inte är dokumenterade. Myndigheterna anser att det är angeläget att det finns så väldokumenterade uppgifter om detta avfall som möjligt och att den information som har inhämtats och som fortfarande inhämtas, dokumenteras på utförligt sätt.

Korrelationen mellan Cs-137 och Pu-239/240 och Am-241 i historiskt avfall vid Studsvik

Myndigheterna anser det vara tveksamt om den s.k. "1 och 4 % regeln" bör gälla för Studsviks material. Denna regel innebär att aktiviteten av Pu-239+240 resp. Am-241 förhåller sig som 1 % resp. 4 % av aktiviteten av Cs-137. Detta förhållande är bestämt utifrån *mätningar på aska* från förbränningsanläggningen, HA, vid Studsvik. Instruktionerna för material för förbränning har alltid varit att inget avfall med känd transuranaktivitet får förbrännas. Det är väsentligen på det avfall som *inte fick förbrännas* som dessa korrelationsfaktorer nu tillämpas. Därför, menar myndigheterna, är det tveksamt om SKB:s slutsats att tillämpningen av 1 och 4 % regeln sannolikt överskattar Pu- och Am-innehållet i avfallet är riktig.

Historiskt avfall i Studsvik som inte omfattas av inventarierapporten

SKB anger att det är oklart huruvida de ca 2,5 kg plutonium som finns i delar av avfallet (huvudsakligen i bestrålade bränslerester) som lagrats i AT kommer att slutförvaras i SFL 3 eller i SFL 2. Detta material omfattas hur som helst inte i inventariet i SFL 3.

Askfat innehållande uranavfall

Den mängd uran som återfinns i de 147 fat innehållande aska innehåller i storleksordningen 73 kg U-235 och 2,73 ton U-238. Mängden motsvarar 15,5 färskas bränslepatroner med en medelanrikning på 2,5 %. Myndigheterna menar att SKB bör utreda huruvida risk för kriticitet föreligger på lång sikt (efter återmättnad av SFL 3).

Fat innehållande sopor och skrot

Vid Studsviks anläggningar finns det för närvarande ca 5 500 äldre avfallsfat innehållande sopor och skrot, vilka lagras i plåtskjulet AU-R. Av dessa fat planeras en större andel att deponeras i SFL 3. Av dessa 5 500 fat saknar ca 30 % faten all eller delar av dokumentationen om innehållet. Till detta tillkommer ca. 700 fat som ursprungligen bland annat härstammar från FOA:s (Försvarets Forskningsanstalt) plutoniumforskning. Även för dessa fat är informationen om avfallets sammansättning och innehåll mycket knapphändig. I inventarierapporten presenteras det dokumenterade plutoniuminnehållet i faten till knappt 1 kg. Denna uppskattning ger, menar myndigheterna, endast en nedre gräns för plutoniuminnehållet i faten.

Dekontaminering av lagringskassetter till SFL 4

En strategi som SKB anger är att de lagringskassetter för bränsle som används vid CLAB dekontamineras före deponering i SFL 4. SKB utgår i de beräkningar som har genomförts att *all* ytkontaminering har avlägsnats, vilket leder till att det uppskattade totalinventariet i SFL 4 minskar med i storleksordningen en faktor 700. Myndigheterna anser att SKB borde ha baserat säkerhetsanalysen på det inventarium som föreligger. Utifrån resultatet och ett observerat behov borde *möjligheten* till dekontaminering ha diskuterats i stället för att utgå från att all ytkontamination kan avlägsnas. Detta antagande är enligt myndigheterna förenat med stor osäkerhet.

Kapitel 4 Utformning och placering av SFL 3-5

4.1 SKB:s redovisning

SKB har inför denna säkerhetsanalys föreslagit betydande modifieringar av design och layout för SFL 3-5, jämfört med tidigare redovisningar (PLAN 93, förstudie av slutförvaring av långlivat låg- och medelaktivt avfall, SKB TR 95-03). Viktiga ändringar är bl.a. att krossat berg nu används som återfyllnadsmaterial i alla förvarsdelar (bentonit har tagits bort som återfyllnadsmaterial) samt att SFL 3 och SFL 5 gjorts mera lika varandra för större flexibilitet. SKB betonar i sin redovisning att konstruktionsförslaget för SFL 3-5 till stor del baseras på erfarenheter från konstruktion och drift av BMA-förvaret i SFR.

SKB förutsätter i den preliminära säkerhetsanalysen att SFL 3-5 förvaret kommer att samlokaliseras med förvaret för använt bränsle (även om man påpekar att även andra placeringar är möjliga). Tre hypotetiska placeringar föreslås för A-, Be- och Ceberg med ett avstånd till bränsleförvaret (SFL 2) på ca 1 km och ett förvarsdjup mellan 300-375 m. Viss hänsyn har vid placeringen tagits till att den för närvarande dominerande flödesriktningen inte skall medföra att grundvatten med höga pH från SFL 3-5 passerar bränsleförvaret. SKB pekar på att de studerade områdena A-, Be- och Ceberg är för små för kunna rymma både SFL 2 och SFL 3-5, men menar att den kända informationen ändå är tillräcklig för att kunna utvärdera hur platsspecifika faktorer påverkar SFL 3-5. De faktorer av störst betydelse som diskuteras mest ingående är de rådande hydrologiska och geokemiska förhållandena för respektive plats.

I den avslutande diskussionen i säkerhetsanalysen pekar SKB på möjligheten att förbättra barriärfunktionerna, speciellt där lokaliseringen kan innebära att relativt höga flödes hastigheter för grundvattnet kan förekomma. De förslag som omnämns är att öka tjockleken på cementbarriärerna, använda lera istället för krossat berg som återfyllnad samt att klä in bergsalarna med ett diffusionstätt material.

4.2 Synpunkter från externa experter

Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM) menar att det finns oklarheter huruvida de nu pågående (eller nyligen avslutade) förstudierna görs som ett led i lokaliseringen av SFL 3-5 eller om de enbart avser SFL 2, särskilt med tanke på att SKB uppgivit att kommande platsundersökningar kommer belysa möjlig förläggning av SFL 3-5. KASAM anser vidare att SKB inte tillräckligt tydligt motiverar valet att förlägga förvaret på ett djup av ca 300 m och ca 1 km från SFL 2.

Den internationella expertgruppen anser att det finns betydande brister i motiveringen av föreslagen design och placering av SFL 3-5 i SKB:s säkerhetsanalys. Först och främst saknar man en tydlig och sammanhållen motivering av förvarskonceptet som bör innehålla en beskrivning av konstruktionsprinciperna, förvarsutformningen och dimensionerna samt en beskrivning av hur varje komponent förväntas bidra till förvarets säkerhet. Vad det gäller den hypotetiska placeringen av SFL 3-5 i säkerhetsanalysen är expertgruppen kritisk till att ytterområdena vid A-, Be- och Ceberg utnyttjats för SFL 3-5, där det endast finns mycket begränsade uppgifter om bergets egenskaper. Gruppen anser att det skulle varit mera rimligt att vid varje förvarsplats hypotetiskt placera SFL 3-5 där det finns mest information (dvs. på samma ställe som SFL 2 i SR 97).

Den internationella expertgruppen påpekar även att olika säkerhetsmässiga aspekter som kan påverkas av de ändringar av design som föreslås, inte konsekvent har utvärderats inför den föreliggande säkerhetsanalysen. Detta innebär att vissa omdömen och utgångspunkter från tidigare arbeten som används i rapporten kanske inte är giltiga med den nuvarande designen.

SKI:s konsulter Wilmot och Crawford (SKI Rapport 00:47) anser att det saknas fullständiga motiveringar och överväganden till varför den föreslagna designen förändrats jämfört med tidigare redovisningar (som t.ex. användning av krossat berg som återfyllnad samt användning av porös betong i förvarsutrymmena).

SKI:s konsult Glynn anser att valet av 1 km som separationsavstånd mellan SFL 3-5 och SFL 2 behöver motiveras. Dessutom ifrågasätter Glynn om 300 m är ett tillräckligt stort djup för SFL 3-5.

4.3 Myndigheternas bedömning

4.3.1 Val av förvarsutformning och lokalisering

Myndigheterna håller med SKB om att erfarenheterna från SFR kommer att bli värdefulla vid arbetet med SFL 3-5 och att dessa bör utnyttjas på ett optimalt sätt. Detta gäller särskilt frågor som rör konstruktion och drift av förvaret men inte i lika hög utsträckning frågor som rör den långsiktiga säkerheten. Eftersom säkerhetsanalysen för SFR aldrig detaljerat behandlade de långa tidskalor som är aktuella för SFL 3-5 menar myndigheterna att den konceptuella likheten med SFR (BMA-förvaret) inte är en användbar grund för att motivera långsiktig säkerhet. De förhållandevis korta tidskalorna under vilka SFR:s barriäregenskaper förutsattes vara intakta i SKB:s säkerhetsanalys är otillräckliga för analysen av SFL 3-5.

I detta sammanhang håller myndigheterna med den internationella expertgruppen om att SKB bör ta fram en väl sammanhållen redovisning som motiverar valet av design utifrån perspektivet långsiktig säkerhet. Frågor som behöver belysas i större detaljeringsgrad inbegriper val av förvarsdjup, separationsavstånd mellan SFL 3-5 och SFL 2, återfyllnadsmaterial, principen med hydraulisk bur, förvarets dimensioner, mängd cement, kemisk sammansättning av cement etc. (se vidare kapitel 8). Den förvarsutformning som slutligen föreslås bör visas vara rimlig utifrån en optimering av olika faktorer (för att kunna motsvara de krav som ställs med avseende på bästa möjliga teknik). Sammanfattningsvis bör SKB visa att den design som slutligen föreslås kan motiveras övertygande såväl ur perspektivet långsiktig säkerhet som ur perspektivet konstruktion och drift.

En viktig fråga vid ett mera definitivt val av design är att explicit redovisa vilka krav som måste ställas på en tänkbar kandidatplats för att den skall motsvara kraven som ställs för den föreslagna utformningen av SFL 3-5. Det är viktigt att poängtera att dessa krav inte nödvändigtvis är identiska med de som nyligen presenterats för SFL 2 (se SKB TR-00-12). Den aktuella studien visar att platsspecifika faktorer har en avgörande betydelse för förvarets långsiktiga säkerhet och att begränsningarna för till exempel det platsspecifika grundvattenflödet och grundvattenkemin kan bli mera restriktiva jämfört med bränsleförvaret. Myndigheterna anser inte att SKB bör utgå ifrån att en anpassning av utformningen av förvaret efter de förhållanden som är aktuella för en specifik plats är möjlig (så som antyds i den preliminära säkerhetsanalysen), utan snarare ta fram en tillräckligt robust utformning som är acceptabel för samtliga lokaliseringar som kan komma ifråga för SFL 3-5. Så som SKB

själva påpekat är det inte uppenbart att de tänkbara ändringarna i förvarsutformningen som föreslås verkligen skulle förbättra förvarets långsiktiga säkerhet.

Det vore naturligtvis gynnsamt för den framtida lokaliseringen av SFL 3-5 om det skulle visa sig möjligt att ta fram ett förvarskoncept som är mindre känsligt för de platsspecifika betingelserna jämfört med det koncept som redovisas i den föreliggande säkerhetsanalysen. SKB bör utnyttja det tillfälle som kommande platsundersökningar ger för att undersöka vad data och erhållen platsspecifik förståelse skulle innebära för en lokalisering av SFL 3-5.

Även om uppförandet av SFL 3-5 med SKB:s nuvarande tidplan ligger ca 30 år fram i tiden, anser myndigheterna det ändå vara betydelsefullt att tänkbara lokaliseringalternativ för SFL 3-5 undersöks, vilket det finns möjlighet till under det planerade platsundersökningsskedet (för alternativet samlokalisering). Detta skulle främja SKB:s handlingsfrihet inför det framtida lokaliseringsarbetet av SFL 3-5 och även medföra att arbetet med SFL 3-5 inte stagnerar. Två frågor som behöver motiveras mera ingående i jämförelse med den föreliggande studien är separationsavståndet mellan SFL 2 och SFL 3-5 och förvarsdjupet.

Vad det gäller separationsavståndet kan det enligt myndigheternas uppfattning inte uteslutas att SKB väsentligt överskattat återfyllnadens förmåga att neutralisera plymen med högt pH från förvaret (SKB R-99-15). En analys av separationsavståndet måste inkludera en bedömning av möjligheten för att den dominerande grundvattenflödesriktningen förändras under inverkan av klimatförändringar. Det kan enligt myndigheternas uppfattning för närvarande inte uteslutas att pH-plymen temporärt kan komma att sträcka sig långt utanför SFL 3-5 förvaret. Ett omgivande bentonitskikt skulle möjligtvis kunna förhindra eller begränsa utbredningen av en pH-plym, men användning av bentonit har helt eliminerats från den aktuella förvarsutformningen. SKB:s analys av pH-buffringen (SKB R-99-15) måste betraktas som potentiellt icke-konservativ, bl.a. eftersom ingen hänsyn tas till att reaktionsprodukterna som bildas vid upplösning av silikatmineral kan begränsa ytterligare upplösning. Vidare behöver SKB beakta att den relativt snabba mineralupplösningen man kan mäta vid laboratorieförsök med preparerade mineralprov inte är representativ för stora system och långa tidsskalor. Detta kan relateras till faktorer med väldokumenterad påverkan på mineralupplösning, vilka förutom partikelstorlek som finns med i SKB:s modell är t.ex., mineralkornens storlek och struktur, förekomst av ytbeläggningar, utarmningen av reaktiva ytor samt den varierande effektiva kontaktytan mellan mineral och mobil vattenfas. Om hänsyn till dessa faktorer redovisades skulle analysen av pH-buffring bli mer trovärdig. Dessutom skulle någon form av långtidsförsök behöva åberopas. Frågan om pH-påverkan på grundvattenförhållanden är för övrigt aktuell även med tanke på användningen av cement som konstruktionsmaterial i SFL 2.

Vad det gäller övervägandet kring förvarsdjupet torde hänsyn till framtida klimatförändringar vara av avgörande intresse. Eftersom SKB:s analys inte innehåller någon djupgående analys av klimatförändringarnas inverkan kommer nya insatser på detta område vara angelägna.

4.3.2 Beaktande av ogynnsamma händelser

SKB bör identifiera och utreda faktorer som skulle kunna underminera de i den föreliggande säkerhetsanalysen förutsatta funktionerna (t.ex. tillräcklig mängd cement för att bibehålla högt pH, hydraulisk bur med tillräckliga kontraster i hydraulisk konduktivitet mellan cementmatris och återfyllnad). Exempel på ogynnsamma effekter och händelser som sannolikt inte kan uteslutas är söndervittring av betong (pga. urlakning, reaktion med ballastmaterial, korrosion

av armeringsjärn etc.) samt bildning av större genomgående sprickor genom betongkonstruktionen (vilket ger en mindre effektiv barriär för att begränsa läckage av radionuklider).

Betydelsen av att utvärdera ogynnsamma händelser och omständigheter redan vid val av försvarsutformning är att en viss redundans mellan säkerhetsfunktionerna kan demonstreras. Myndigheterna anser att SKB måste visa att ogynnsamma händelser eller omständigheter, som kan anses rimligt sannolika, inte leder till oacceptabla konsekvenser med den valda designen. Detta anknyter till frågan om den i SKB:s rapport föreslagna designen kan anses ha flera barriärfunktioner. Redovisning av detta är för övrigt ett krav i de preliminära föreskrifter som SKI arbetat fram. I exempelvis SR 97 presenteras ett antal beräkningsfall för att visa att den föreslagna designen för bränsleförvaret har flera barriärfunktioner och inte är avhängig av endast en säkerhetsfunktion. Liknande beräkningsfall bör även inkluderas i analysen av SFL 3-5 förvaret.

Att framtida klimatvariationer inträffar kan inte anses vara vare sig en särskilt ogynnsam eller en särskilt osannolik händelse, utan detta är snarare det mest troliga fallet. Den sannolika klimatutvecklingen bör därför ingå som en integrerad del i ett huvudscenario (dvs. ett scenario som kan anses ha en relativt hög sannolikhet att inträffa). Vissa klimatförändringar med långa tidperioder av permafrost skulle dock kunna vara särskilt ogynnsamma om det inte kan uteslutas att permafrosten når försvarsdjupet. Permafrost på försvarsdjup skulle kunna medföra en relativt snabb och avsevärd mekanisk degradering av barriärsystemet. Detta föranleder frågan om 300 m är ett tillräckligt försvarsdjup för SFL 3-5. I en av SKB:s underlagsrapporter framgår t.ex. att flera forskare bedömer att permafrost kommer bli omfattande och minst sträcka sig ner till 300 m under markytan (SKB R-99-41).

För att besvara frågan om det optimala försvarsdjupet för SFL 3-5 måste även andra faktorer beaktas till exempel bergmekaniska aspekter samt de troliga förändringarna av grundvattensammansättningen under den tidsperiod som säkerhetsanalysen inbegriper. I den föreliggande säkerhetsanalysen visas att grundvattensammansättningen (och särskilt salthalten) kan ha en stor inverkan på migrationen av vissa nuklider (t.ex. Ni-59). De variationer som föreslås i studien är dock med all sannolikhet för små för att på ett adekvat sätt representera de variationer som t.ex. kan förväntas under en glaciationscykel, vilket bl.a. påpekas av SKI:s konsult Glynn (SKI Rapport 00:47).

Kapitel 5 System- och Scenarioanalys

5.1 SKB:s redovisning

Den preliminära säkerhetsanalysen för SFL 3-5 utgår ifrån tidigare systemstudier av SFL 3-5, bland annat utnyttjas en tidig version av PID-diagram (eng: Process Influence Diagram) av SFL 3-5 framtagna i samband med en förstudie (Wiborgh, 1995). Utifrån tidigare erfarenheter har SKB uppdaterat systemanalysen och strukturerat informationen i form av THMC-diagram (eng: Thermal, Hydrological, Mechanical and Chemical). Denna typ av diagram delar upp processer och händelser efter vilken typ av påverkan de har på systemet.

Ett referensscenario har tagits fram som bildar grunden för de konsekvensberäkningar som presenteras. Utgångspunkten för detta scenario är att de tekniska barriärsystemen utvecklas på det sätt som förväntas och inga större förändringar av barriärsystemens egenskaper inträffar. Omgivningsfaktorer som hydrologiska och geokemiska betingelser samt biosfärsförhållanden anses vara oförändrade under hela den tidsperiod som analysen inbegriper. Förväntade klimatförändringar inkluderas med andra ord inte i referensscenariot. SKB går igenom hur olika förväntade processer i förvaret behöver beaktas vid framtagandet av de kvantitativa modeller som används för konsekvensanalysen (t.ex. lakning av cement, korrosion, gasbildning, nedbrytning av organiskt material, mineralogiska omvandlingar, frigörelse av radionuklider, diffusion, sorption).

Förutom referensscenariot diskuteras följande alternativa scenarier översiktligt:

- Klimatförändringar
- Jordbävningar och tektonik
- Konstruktion och drift
- Framtida mänskliga handlingar

För scenariot med klimatförändringar diskuteras med utgångspunkt från kvalitativa överväganden några tänkbara effekter på ett SFL 3-5 förvar, så som förändrad hydrologi och geokemi samt mekanisk påverkan för fallet med permafrost vid förvarsdjup. För scenariot med jordbävningar och tektonik menar SKB att förskjutningar på upp till 10 mm inte skulle påverka förvaret. Man föreslår dock ett antal åtgärder som skulle kunna genomföras för att öka säkerhetsmarginalen för påverkan av jordbävningar. För scenariot konstruktion och drift ingår en diskussion av vilken typ och vilka mängder av oavsiktligt deponerade material som skulle kunna tänkas bli kvar i förvaret efter förslutning.

Scenariot mänskliga handlingar utmärker sig från de övriga så till vida att det är det enda förutom referensscenariot som inbegriper kvantitativa dosuppskattningar. Dessa uppskattningar utgår från fallet att en brunn grävs i förvarets närhet och sedan ger upphov till dosexponering vid konsumtion av dricksvatten. Ett antal andra former av mänsklig påverkan omnämns men behandlas ej vidare.

5.2 Synpunkter från externa experter

Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM) påpekar också att det saknas en analys av olika osäkerheters betydelse, vilket begränsar konsekvensberäkningarnas värde. KASAM konstaterar också att säkerhetsanalysen för SFL 3-5 egentligen behandlar ett mer komplext

system än SR 97 (för bränsleförvaret) eftersom SFL 3-5 innehåller betydande mängder organiskt material och har en potential för gasbildning inuti förvaret.

Den internationella expertgruppen anser att det är förvånande att SKB inte dokumenterat en systemanalys av SFL 3-5 för att demonstrera att analysen kan betraktas som heltäckande och de mest kritiska frågorna har behandlats på ett adekvat sätt. Man påpekar att formella systemanalyser som baseras på identifiering av alla relevanta FEPs (eng. Features, Events and Processes) vunnit stor spridning i samband med nationella program för slutförvaring av radioaktiva avfall. Gruppen saknar också en formell systematisk känslighetsanalys för att illustrera osäkerhet i parametrar och konceptuella modeller. Slutligen är gruppen kritisk till att de alternativa scenarierna endast baseras på kvalitativa överväganden som anses vara otillräckliga och i vissa fall diskutabla. Särskilt förvånad är man över att de glaciala och periglaciala förhållandena knappt behandlas alls.

SKI:s konsulter Wilmot och Crawford anser att SKB:s referensscenario utgör en utgångspunkt för att utveckla en förståelse för närområdets egenskaper. Det är dock otillräckligt för att utgöra beslutsunderlag eftersom osäkerheter förknippade med omgivningsförändringar inte inkluderas. Det förefaller vidare enligt Wilmot och Crawford som obalanserat att inkludera flera olika typer av biosfärer eftersom analysen uppenbarligen ändå inte täcker in alla typer av osäkerheter. Användning av en referensbiosfär skulle varit en acceptabel metod om syftet enbart varit att utveckla förståelse för närområdets egenskaper. Wilmot och Crawford påpekar också avsaknaden av en formell dokumentation av FEPs och frånvaron av det THMC-diagram som visar hur aktuella FEPs samverkar.

SKI:s konsulter Wickham, Bennett och Higgo (SKI Rapport 00:33) påpekar att SKB:s slutsatser angående betydelsen av kolloider inte är tillräckligt underbyggda eftersom alla olika typer av kolloider som kan bildas måste beaktas, t.ex. som en följd av utfällning vid den pH-gradient (vilken ger stora förändringar i geokemiska betingelser) som förväntas utvecklas i förvarets närhet. Detta diskuteras inte i SKB:s redovisning och ej heller möjliga kopplingar med andra processer som gasbildning. SKI:s konsulter vill också påpeka om att anjonexklusion knappast har den stora betydelse i krossat berg som den förväntas ha i bentonitlera.

SKI:s konsult Glynn (SKI Rapport 00:47) anser att behandlingen av de istider som förväntas inom en tidsperiod av 100 000 år är otillräcklig.

5.3 Myndigheternas bedömning

5.3.1 Systemanalys

Myndigheterna anser i likhet med den internationella expertgruppen och SKI:s konsulter Wilmot och Crawford att en systematisk genomgång och dokumentation av FEPs relevanta för SFL 3-5 hade ökat säkerhetsanalysens trovärdighet och givit en bättre grund för att bedöma dess fullständighet. Det måste anses som mycket betydelsefullt att det kunskapsunderlag som ligger till grund för framtagande av scenarier, utveckling av beräkningsmodeller, och framtagande av beräkningsfall redovisas på ett transparent sätt. SKB:s redovisning (SKB TR-99-28 med underliggande referenser) beskriver visserligen en stor del av detta kunskapsunderlag på ett bra sätt men spårbarheten kan förbättras. En mer systematisk dokumentation av kunskapsunderlaget skulle också ge tillfälle att inkorporera de internationella erfarenheterna som är relevanta för SFL 3-5. Myndigheterna menar liksom den

internationella expertgruppen att alla tillgängliga erfarenheter och kunskaper sannolikt inte har tagits tillvara i den uträkning som hade varit möjlig.

I samband med granskningen av SR 97 uttryckte myndigheterna positiva omdömen om THMC-metoden och dess tillämpning i SR 97. Myndigheterna menade att metoden är ett värdefullt bidrag till metodiken för säkerhetsanalyser (SKI Rapport 00:39). Det framgår av SKB:s preliminära säkerhetsanalys av SFL 3-5 att THMC-metoden även har utnyttjats för detta fall. Det måste därför anses som förvånande att detta inte redovisas. Framtagandet av THMC-diagrammen, liksom även de närbesläktade PID-diagrammen respektive interaktionsmatriserna, är förvisso resurskrävande och svårt beroende på de studerade systemens stora komplexitet. Eftersom syftet är att underlätta förståelsen av hur olika FEPs påverkar varandra bidrar en dokumenterad systemanalys till förbättrad tydlighet. Detta ger en grund för att bedöma prioriteringar och urval av de processer som ingår i beräkningsmodellerna.

Med tanke på det omöjliga i att fullständigt karakterisera en kandidatplats eller att uppnå en fullständig kunskap om den stora mängd processer eller händelser som kan påverka förvarssystemet, blir hanteringen av osäkerheter en nyckelaspekt i bedömningen av säkerhetsanalysens trovärdighet. I den föreliggande analysen saknas en systematisk ansats för hantering av osäkerheter men i flera avsnitt påpekas att osäkerheter har hanterats med konservativa ansatser både vad det gäller konceptuella förenklingar och val av data. Myndigheterna anser att detta angreppssätt kan vara acceptabelt men i så fall måste konceptuella ansatser motiveras tydligt, så att det går att avgöra graden av konservatism. För att bedöma detta krävs ofta mera realistiska och komplexa modeller som kompletterar de förenklade modeller som används vid konsekvensberäkningar. Parametervärdet måste också konsekvent värderas (ex. vilka utgångspunkter har beaktats vid val av realistiska eller konservativa data). Sammanfattningsvis efterfrågar myndigheterna ett systematiskt angreppssätt med en bättre spårbarhet vid redovisningen av osäkerheter inför kommande säkerhetsanalyser.

Särskilt frågan om konceptuella osäkerheter och heterogeniteter i när- och fjärrområde kommer att behöva belysas på ett mera fullständigt sätt. De i systemanalysen identifierade processerna kan dessutom förväntas ha olika betydelse för olika scenarier, vilket behöver redovisas. Bedömningar av hur vissa processer kan förväntas utvecklas under långa tidsperioder behöver också kompletteras.

En systemanalys bygger till stor del på expertbedömningar. Det är angeläget av dessa bedömningar representerar en bredd av kompetens inom olika områden, att de granskas av oberoende experter samt dokumenteras. SKB:s säkerhetsredovisning uppvisar brister i detta avseende, vilket även påpekats i SKI:s och SSI:s granskning av SR 97 (SKI Rapport 00:39).

5.3.2 Scenarioanalys

Myndigheterna anser liksom SKI:s konsulter Wilmot och Crawford att SKB:s referensscenario i analysen av SFL 3-5, utgör en värdefull utgångspunkt vid t.ex. studier av olika barriärfunktioner och försvarsgeometrier. Däremot utgör det ett otillräckligt underlag för att bedöma långsiktig säkerhet eftersom omgivningsförändringar inte analyseras. Ett huvudscenario bör formuleras, som bland annat inbegriper troliga klimatförändringar. För att belysa den stora osäkerheten som alltid föreligger vid bedömning av klimatutvecklingen under tidsperioder av 100 000-tals år bör ett antal varianter av klimatutvecklingen studeras

och jämföras. Osäkerheter vid bedömningen av de tekniska barriärernas utveckling kan belysas genom att definiera varianter som utgår ifrån olika typer av inre störningar och påverkan på barriärerna (t.ex. olika grad av degradering, sprickbildning och kemiska förändringar av barriärerna).

Enligt myndigheternas uppfattning är de alternativa scenarierna som SKB redovisar i TR-99-28 otillräckliga för att bedöma inverkan av yttre störningar som glaciationer och jordbävningar. SKB:s beskrivning av dessa scenarier förmedlar uppfattningen att ovannämnda störningar är av mindre betydelse utan att en tillräcklig grund för detta redovisas. Ett antal kvalitativa omdömen skulle behöva motiveras eller förklaras, exempelvis de som berör inverkan av förändrade grundvattenbetingelser, samt påfrestningar på förvaret vid jordbävningar och permafrost. Det är uppenbart att SKB eftersträvat en begränsning av SFL 3-5 analysens omfattning och därför inte behandlat alla typer av händelser och processer som kan påverka förvaret. Myndigheterna menar att SKB istället för att behandla till exempel klimatförändringar på ett ytligt sätt, hade kunnat helt avstå ifrån att bedöma inverkan av dessa om syftet med analysen endast varit att skapa förståelse för det grundläggande konceptet. En analys som begränsats på ett sådant sätt kan dock inte utgöra ett fullständigt underlag för att bedöma inverkan av platsspecifika faktorer eller val av design.

Myndigheterna anser att förekomsten av vanliga dricksvattenbrunnar bör anses vara en av flera normala exponeringsvägar som bör utvärderas för olika typer av scenarier (se även kapitel 7). Det måste anses som en oundviklig del av mänskligt handlande att använda en brunn till dricksvatten. Detta bör därför integreras som del i t.ex. både ett huvudscenario och ett referensscenario. Eftersom brunnsfallet ger högst doser av de fall som presenteras, måste det anses som särskilt viktigt hur det hanteras i scenarioanalysen. Enligt myndigheterna, kan fall som särskilt bör behandlas inom scenarier för mänskligt handlande inbegripa t.ex. ett djupt borrhål som går i förvarets absoluta närhet. SKB har nämnt ett antal sådana scenarier som tagits fram som del av SR 97. SKB bör inför framtida analyser bedöma om något av dessa scenarier kan ha en betydelse för SFL 3-5.

En framtida säkerhetsanalys av SFL 3-5 kommer förmodligen behöva innehålla flera scenarier som behandlas med en likartad ambitionsnivå. I detta sammanhang vore det värdefullt om SKB motiverar sitt urval av scenarier genom att visa hur de olika FEP:s som valts ut i systemanalysen representeras vid utvärderingen av de scenarier som valts ut.

Kapitel 6 Geosfärsförhållanden

6.1 SKB:s redovisning

SKB beskriver i sin redovisning de geologiska, hydrogeologiska och geokemiska betingelserna vid de tre utvalda platserna A-, Be-, och Ceberg (Äspö, Finnsjön, Gideå). De tre platserna uppvisar en viss variationsbredd vad det gäller grundläggande faktorer så att förvarets påverkan av olika faktorer kan studeras då platserna jämförs. Däremot har de tänkbara parametervariationerna för en och samma plats inte studerats (utom för grundvattenkemi Beberg). Eftersom analysen av SFL 3-5 framför allt fokuserats på närområdet och de tekniska barriärernas egenskaper har information och data om geosfärsförhållanden inte särskilt studerats utan har till största delen tagits från den mera omfattande säkerhetsanalysen för bränsleförvaret (SR 97).

SKB har i analysen av SFL 3-5 utnyttjat många förenklade antaganden vad det gäller geosfärsförhållandena så som att berget som omger SFL 3-5 är homogent, att flödessituationen motsvarar ett stationärt ("steady-state") förhållande och att flödesriktning företrädesvis är horisontell och riktad längs med SFL 3 och SFL 5 tunnlarna.

De hastigheter för grundvattenflöden som antagits för beräkningar spänner över tre tiopotenser, med det högsta flödet för Aberg och det lägsta för Ceberg. Grundvattenflödet invid förvaret har stor betydelse för utdiffusionen av radionuklider genom de tekniska barriärerna (eftersom de påverkar randvillkoren för diffusiv transport från närområdet). Den grundvattensammansättning som förutsätts utgår ifrån analysdata för vattenprover tagna från 300-600 m djup. De största skillnaderna mellan platserna är alkalinitet, sulfat och salthalterna. Beberg representeras av två grundvattensammansättningar, varav en har relativt hög salthalt och den andra har en låg salthalt. För geosfärsretardationen är transportvägarnas längd, den flödesvätta ytan samt den advektiva gångtiderna av stor betydelse. Eftersom den föreslagna placeringen av SFL 3-5 vid Aberg ligger nära en sprickzon blir de advektiva gångtiderna förhållandevis korta, i medeltal 13 år. För Beberg är de i medeltal 40 år och för Ceberg i medeltal 906 år.

6.2 Synpunkter från externa experter

Den internationella expertgruppen anser att de grundvattenflöden som SKB använt för platserna A-, Be- och Ceberg inte är jämförbara. Detta beror på att de tagits fram med olika typer av grundvattenmodeller som baseras på ett dataunderlag som har olika aktualitet och detaljeringsgrad för de olika platserna. Gruppen konstaterar därför att konservatismen i valet av flöden inte kan bedömas, liksom inte heller om de variationer som inkluderats är tillräckliga.

SKI:s konsulter Wilmot och Crawford anser att de många förenklade antagandena avseende hydrologiska betingelser, visserligen är försvarbara med tanke på den begränsade målsättningen med den föreliggande analysen, men behöver utvecklas inför kommande beslutsfattande. Man nämner särskilt användningen av förenklade antaganden för transporttider, liksom användning av resultat från analysen av Beberg för de övriga platserna (SFL 4).

SKI:s konsult Glynn betonar betydelsen att undersöka hur inverkan av varierande grundvattensammansättning skulle påverka förvaret, särskilt inverkan av grundvatten med hög salthalt. Glynn anser också att den regionala modellen för grundvattenflöde täcker ett för litet område för att ge tillräcklig insikt om de regionala förhållandena.

6.3 Myndigheternas bedömning

Eftersom SKB:s analys av platspecifika betingelser vid A-, Be- och Ceberg till stor del tagits från SR 97 studien, är de synpunkter som SKI och SSI redovisade i samband med granskningen av SR 97 (SKI Rapport 00:39) även aktuella för SFL 3-5 analysen. För lokaliseringen av SFL 3-5 rekommenderar myndigheterna SKB att mera ingående diskutera den specifika relevansen av geologiska förhållanden och vilka förhållanden som behöver bedömas annorlunda jämfört med SFL 2 (respektavstånd till sprickzoner, strömningsriktning, bergspänningar, acceptabel grundvattenkemi etc.).

Myndigheterna håller med den internationella expertgruppen om att en avgörande brist är att SKB, inom ramen för radionuklidtransportberäkningarna, lokalt förutsätter homogena hydrologiska förhållanden utan att närmare analysera betydelsen av rumslig och tidsmässig variabilitet. Rumslig variabilitet kan anses vara en av de mest utmärkande egenskaperna för flödet i sprickigt berg. De variationer av grundvattenflöde mellan de aktuella platserna som undersökts visade att hydrologin kan starkt påverka radionuklidtransporten inom barriärerna. Detta föranleder behovet att analysera effekterna av rumsliga och tidsmässiga variationer av grundvattenflödet för var och en av de tre platserna.

Enligt myndigheterna är de hydroberäkningar som baseras på en regional modell alldeles för förenklade för att peka ut specifika ekosystem (36 partikelbanor används för Beberg och Ceberg i SFL 3-5 jämfört med flera tusen i SR 97). I SR 97 analyseras t.ex. brunn och torvmosse för samtliga fall medan dessa utesluts för Aberg i säkerhetsrapporten för SFL 3-5. Detta ger enligt myndigheterna den missvisande bilden att Aberg är den bästa platsen trots att de geologiska förhållandena förefaller vara sämst för denna plats.

Kapitel 7 Biosfärsförhållanden

7.1 SKB:s redovisning

De potentiella stråldoserna från utsläpp av radionuklider till biosfär är beräknade på samma sätt som i SR 97 (säkerhetsanalysen av djupförvaret för använt bränsle). För de dominerande ekosystemen vid utflödespunkterna från geosfären har olika typekosystem valts ut: sjö, rinnande vatten, kustområde (öppen kust och skärgård), jordbruksmark, torvmossar -våtmark, brunn (SKB TR-99-15). För varje typekosystem och för varje radionuklid beräknas en ekosystems-specifik dosomvandlingsfaktor (EDF). För skogsmark används samma EDF som för torv, vilket påstås vara ett konservativ antagande. Varje EDF anger förhållandet mellan aktivitet i Bq som tillförs typekosystemet och dos i sievert (Sv) till människan efter att alla exponeringsvägar har beaktats. I beräkningarna av EDF-värden antas en kontinuerlig tillförsel av 1 Bq per år av varje radionuklid till systemet. Händelseutvecklingen under 10 000 år simulerades med bl.a. programpaketet BIOPATH (SKB TR-99-14).

En översiktlig beskrivning av biosfären i Aberg, Beberg och Ceberg återfinns i huvudrapporten (avsnitt 5.4) och i en underlagsrapport (SKB TR-99-15). En mer fullständig beskrivning av biosfären för de tre platserna ges av Lindborg och Schüldt (SKB TR-98-20). De tre områdena delas in i delområden (250 x 250 m) och varje delområde hänförs till ett typekosystem utifrån det existerande ekosystemet. Från hydrologiberäkningarna bestäms vilka områden på markytan som är utsläppsområden för radionuklider från förvaret. Från denna information bestäms vilket ekosystem som dominerar i utsläppsområden och därmed vilka EDF som används för dosberäkningarna. De EDF-värden som använts för Aberg, Beberg och Ceberg ges i tabell 8-16 i avsnitt 8.6 samt i tabell 9-2 i avsnitt 9.4. Aberg: utströmningsområdena klassades som skärgård samt som öppen kust, Beberg: utströmningsområdena klassades som jordbruksmark, och Ceberg: utströmningsområdena klassades som torvmark. Beräkningarna för Beberg har även gjorts för fallet när utsläppet sker till en torvmark.

Brunnen betraktas som ett exempel på framtida mänskliga handlingar som skulle kunna påverka funktion och därmed säkerheten hos slutförvaret. Platsspecifika brunnar definierades som en brunn med samma kapacitet som medelkapaciteten hos de brunnar som finns idag inom respektive utsläppsområde. Det antas att radionuklider når brunnen med den hastighet (Bq/år) som gäller för utsläppet från fjärrzonen, och att nukliderna når brunnen utan någon fördröjning i tiden. De framtagna EDF-värdena för de tre medelbrunnarna presenteras i tabell 9-2, avsnitt 9.4.1. Den modell som ligger bakom beskrivs i kapitel 5.

7.2 Synpunkter från externa experter

Den internationella gruppen finner att intervallet av möjliga EDF värdena som har använts i befintliga SFL 3-5 analyser är tillräckligt omfattande. Det poängteras att SKB behöver presentera bevis på att EDF för skogecosystemet skulle falla i det intervall av EDF-värden som angavs. Det påpekas också att om konservatismen för typekosystemet kustområde tas bort, skulle det leda till en minskning av EDF-värdena. Från den information som presenteras går det dock inte att bedöma hur stor minskningen skulle bli. Den internationella gruppen anser att SKB måste ytterligare motivera sina antaganden om biosfär och exponeringsvägar och hur de kan påverka valet av plats och förvarets konstruktion.

Vidare bedömer experterna att fördelning av biosfär i delområden (250 x 250 m) inte har belagts tillräckligt väl. De anser att SKB borde göra känslighetsanalyser av hur storlek av delområden kan påverka EDF-värdena. Samband mellan storleken av radionuklidplymen i geosfären och storleken av delområden borde också studeras. Likaledes är det viktigt att bestämma vilken landareal som behövs för att på ett rimligt sätt kunna betrakta de inkluderade exponeringsvägarna.

Den internationella gruppen anser att SKB måste bli mer tydlig i sin beskrivning av typekosystemet "Brunn". Det är t.ex. oklart vad SKB menar med termen "vattenkapacitet". Konservatismen i antagandet att EDF-värdet för brunnen är omvänt proportionell mot vattenkapacitet måste motiveras bättre. Experterna menar att nivån av konservatismen påverkas av hur stort vattenflödet i plymen ("the plume flux") är i jämförelse med mängden vatten som extraheras från brunnen. Detta skulle innebära att EDF-värdena både kan överskattas och underskattas.

Experterna anser att SKB borde specificera mekanismen för radionuklidstransport i geosfärens sista 20 m, dvs. den översta delen av geosfären före utsläpp till biosfär (jordbruksmark). Nivån av konservatism bakom antagandet av momentan radionuklidstransport i geosfärens sista 20 m är okänd. Den internationella gruppen råder SKB att studera olika möjligheter till att förbättra biosfärmodellen, t.ex. genom att beskriva processer som sker i geosfärens sista 20 m.

Den internationella gruppen anser att SKB inte har presenterat en tillräckligt fullständig analys av osäkerheter. Medan parameterosäkerheter diskuteras, presenteras ingen analys av de konceptuella osäkerheterna. Ett sätt att hantera de konceptuella osäkerheterna, som föreslagits av experterna, är att använda mer än en modell för att beräkna EDF-värdena.

7.3 Myndigheternas bedömning

SKB använder till stor del samma modeller och antaganden som i SR 97 för att beräkna doser till människa. Huvuddelen av de kommentarer som myndigheterna lämnade i samband med granskningen av SR 97 gäller därför även för säkerhetsanalysen av SFL 3-5 (se kapitel 2 i SKI Rapport 00:39). Dessa kommentarer sammanfattas nedan:

- Processerna i biosfären är mycket översiktligt beskrivna, och beskrivningarna är inte heller formulerade på samma systematiska sätt som processerna för övriga delar av förvarssystemet.
- Det saknas en beskrivning av vilka processer och interaktioner som kan påverka transport av radioaktiva ämnen från geosfär till biosfär. Myndigheterna anser att antagandet att radionuklider överförs från geosfären direkt till det typekosystem som studeras behöver motiveras bättre. Vidare saknas en diskussion om hur detta förfaringssätt kan påverka osäkerheten i slutresultatet.
- Beskrivningen behandlar väsentligen biosfären som den ser ut idag. Säkerhetsredovisningen ska visserligen innehålla ett fall med nuvarande biosfär, men detta innebär inte att förändringar av biosfären helt kan uteslutas, särskilt om sådana förändringar kan anses troliga.
- Antagandet att torvmark kan ses som en pessimistisk beskrivning av skog är inte uppenbar och behöver motiveras. Skog kan förväntas vara ett dominerande ekosystem och bör därför ingå som typekosystem.

- Konservatism hos de EDF-värden som användes måste belysas bättre. Informationsvärdet av EDF-värdena påverkas av vilka säkerhetsmarginaler som föreligger, och hur dessa säkerhetsmarginaler kan skilja sig för olika radionuklider och ekosystem. Likaså måste det i en säkerhetsanalys klart framgå vilka flöden och koncentrationer som utgör mellanresultat i beräkningarna av EDF-värden, eftersom sådana värden utgör utgångspunkt för att bedöma relevansen av alternativa exponeringsvägar och alternativa skyddsmål.
- Brunnsalternativet bör ses som en exponeringsväg snarare än ett separat typekosystem. Denna exponeringsväg kan i stället ingå som en del i olika typekosystem, särskilt för jordbruksmark och torvekosystem. Graden av konservatism i beräkningarna av radionuklidkoncentrationer i brunnsvattnet behöver en bättre belysning.
- Det sätt på vilket typekosystemen kombineras på en plats kan 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 geofärsberäkningar och att olika typekosystem därför kan antas täcka dessa ytor.

För mer specifika kommentarer till de modeller som används för att beräkna EDF-värdena hänvisas till bilaga 2 i SKI Rapport 00:39.

SKB:s hydrologiska beräkningar har gjorts med hjälp av en regional modell som baseras på regionala hydrologiska data. Det betyder att osäkerheter i utsläppsområden för radionuklider från förvaret kan vara betydande även i ett kort tidsperspektiv. Myndigheterna anser därför att valet av typekosystem för de olika platserna kan ifrågasättas. Framtida förändringar i miljö är en annan källa till osäkerhet i utsläppsområden som inte beaktats i de analyser som SKB tagit fram.

Myndigheterna konstaterar att de beräknade doserna i vissa fall ligger nära eller överskrider gällande doskriterium. Samtidigt gjordes beräkningar bara för tre deterministiska fall, från ett urval av en mycket stor mängd kombinationer av geofärs- och biosfärsförhållanden. I det nuvarande utredningsskedet skulle SFL 3-5 i princip kunna ha lokaliserats till nästan vilken plats som helst i Sverige och därför kan mängden av möjliga kombinationer av olika förhållanden förväntas vara mycket stor. Myndigheterna anser därför att SKB i mycket större utsträckning borde använda sig av känslighetsanalyser och osäkerhetsanalyser för att studera hur förhållanden i geofär och biosfär kan påverka de beräknade stråldoserna. De relativt höga dosvärdena ger anledning att mera ingående studera graden av konservatism i de utnyttjade antagandena. Även realistiska analyser skulle erfordras för att kunna göra rimliga jämförelser mellan olika platser och för att bedöma vilka radionuklider som är viktigast i olika sammanhang.

Myndigheterna har mycket svårt att förstå varför SKB har valt att betrakta brunnen som ett exempel på framtida mänskliga handlingar (i form av ett separat scenario; ”framtida mänskliga handlingar”). Brunnen som SKB har valt att studera kan anses vara vanligt förekommande, på det sättet att den inte sträcker sig nära slutförvarets tekniska barriärer. Användning av grundvatten för dricksvattenkonsumtion eller för bevattning, måste anses vara en mycket sannolik exponeringsväg i de olika typekosystem som studerats. Doser från användning av brunnsvatten borde adderas till dosen från andra exponeringsvägar på ett lämpligt sätt.

Kapitel 8 De tekniska barriärerna och deras långtidsegenskaper

8.1 SKB:s redovisning

Enligt SKB:s redovisning kan återmättnaden av SFL 3-5 ta allt mellan tiotalet år till flera hundra år. Därefter anses stationära förhållanden med avseende på tryck och grundvattenflöde komma att utvecklas. Huvuddelen av grundvattenflödet kommer passera SFL 4 eftersom denna tunnel bildar en ring kring de övriga. Långsiktiga förändringar av grundvattenflödet genom barriärerna kan förväntas, vilka orsakas av t.ex. sättningar, korrosion av järn, upplösning, utfällningar och sprickbildningar. De hydrologiska beräkningarna som utförts baseras dock enbart på stationära betingelser där barriärerna förutsätts ha de egenskaper man kan förvänta sig på längre sikt.

SKB bedömer att sprickor kommer bildas i avfallsbehållarna tiotalet år efter återmättnad p.g.a. uppbyggnaden av gastryck. Även betongstrukturerna kommer troligen att spricka om än något långsammare (efter några hundra år till tusentalet år). Gasbildningen orsakas primärt av anaerob korrosion av järn med även i viss mån av nedbrytning av organiskt material samt korrosion av aluminium. Enligt SKB erfordras dock endast ett fåtal gasledande passager (sprickor) för att gasen utan nämnvärd tryckhöjning effektivt kan ledas ut i återfyllnaden. Särskild hänsyn till effekterna av gas behöver därför inte tas i säkerhetsanalysen (förutom till frigörelsen av ^{14}C i gasform).

SKB har studerat grundvattenflödet genom barriärerna och den hydrauliska burens funktion genom att variera återfyllnadens konduktivitet i förhållande till det omgivande berget (SKB TR-97-10). Detta skall reflektera val av antingen krossat berg eller bentonit som återfyllnad. Vissa beräkningar har även utförts för att studera inverkan av pluggar och heterogeniteter i berget. Resultaten visar att flödet i en återfyllnad med krossat berg är ca 6000 gånger högre än i den omgivande berget. Å andra sidan blir flödet i den intakta cementkonstruktionen istället ca en faktor 1000 lägre jämfört med fallet utan hydraulisk bur. SFL 4 fungerar i vissa fall som en hydraulisk bur för SFL 3 och SFL 5, men endast om grundvattenflödet är horisontellt eller nära horisontellt. Avsaknad av pluggar och heterogent flöde leder generellt till en ökning av grundvattenflödet i samtliga förvarsutrymmen.

8.2 Synpunkter från externa experter

Den internationella expertgruppen anser att kemisk buffring är en nyckelfråga i samband med återmättnad som behöver belysas mera ingående, bland annat ifrågasätter man SKB:s resultat att pH-fronten kommer neutraliseras helt av återfyllnaden. Vidare anser man att SKB sannolikt underskattat de porositetsökningar som orsakas av cementlakning samt inte tillräckligt beaktat inverkan av saltvatten.

Vad det gäller analysen av gasbildningens inverkan, anser gruppen att SKB:s scenario med en relativt snabb bildning av gas kan behöva kompletteras av varianter med långsammare respektive pulsartad gasbildning. Vidare påpekar man risken för mer omfattande sprickbildning som inte bara skulle utgöra en transportväg för gas utan även för grundvatten.

Den internationella expertgruppen anser att SKB:s fokusering på konceptet med hydraulisk bur behöver underbyggas bättre. Bland annat anser man att betydelsen av betongstrukturernas långsiktiga integritet kan vara större än vad som framgår av SKB:s redovisning. Gruppen menar att SKB mera i detalj bör analysera den bentonitbaserade återfyllnaden innan den

avfärdas, eftersom detta material åtminstone teoretiskt har förutsättningar att ge lägre utsläppshastigheter.

SKI:s konsulter Wilmot och Crawford saknar en kvantitativ utvärdering av återmättnadsförloppet.

8.3 Myndigheternas bedömning

Myndigheterna anser att SKB:s utredningar om den hydrauliska buren generellt är övertygande och har presenterats på ett bra sätt, även om vissa nackdelar inte belysts tillräckligt, t.ex. att kanaliseringen av grundvattenflödet från omgivande berg kommer att avsevärt påskynda degraderingen av cementbarriärerna. Med tanke på att valet av krossat berg som återfyllnad (med hög hydraulisk konduktivitet) måste anses vara en nyckelkomponent i det säkerhetskoncept som SKB för närvarande tillämpar för SFL 3-5 behöver redovisningen bli mer uttömmande. Underlaget är t.ex. inte tillräckligt för att bedöma om det valda förvarsutformningen har bättre förutsättningar för att uppnå gällande strålskyddskriterier än andra jämförbara alternativ, särskilt för scenarier som involverar en avsevärd mekanisk eller kemisk påverkan på barriärerna. En mer omfattande analys av de långsiktiga omvandlingarna av barriärerna kan anses vara särskilt angelägen att genomföra och denna bör sedan ligga till grund för ett mera genomarbetat underlag för val av design. För det valda konceptet, som bygger på mycket stora skillnader i hydraulisk konduktivitet mellan förvarskonstruktioner och återfyllnad, måste risken för att dessa stora skillnader kommer att minska att beaktas, antingen genom mekanisk påverkan eller gradvis genom kemisk påverkan. Denna slutsats baseras på uppfattningen att det kan finnas fall, som helt skulle kunna äventyra det nuvarande säkerhetskonceptet för SFL 3-5.

SKB har tidigare utvärderat konceptet hydraulisk bur i ett helt annat sammanhang (SKB TR-89-20). Man konstaterade då att en analys av den hydrauliska buren baserad på kontinuum antaganden antyder mycket fördelaktiga egenskaper. Om däremot hänsyn tas till det diskreta spricknätverk som förekommer i anslutning till buren (sprickigt berg) samt burens långsiktiga integritet försvåras, enligt SKB, bedömningen emellertid avsevärt. Myndigheterna konstaterar att slutsatserna ovan överensstämmer väl med den internationella expertgruppens slutsatser om den aktuella utformningen av SFL 3-5. Dessa bör därför kunna ligga till grund för att prioritera ytterligare forskningsinsatser inom området.

SKB:s analys av gasbildning och gastransport utgör enligt myndigheterna en bra utgångspunkt för vidare studier. Vad som saknas är framförallt en systematisk analys och diskussion av vilka osäkerheter och tidsberoende variationer som kan föreligga. Det förfaller t.ex. orealistiskt att gasbildningen skulle vara konstant ända tills all metall av en viss kategori helt förbrukas. Ytterligare insatser på detta område bör beakta gradvisa förändringar av metallernas ytor samt de bildade korrosionsprodukters eventuella påverkan. Osäkerheter vad det gäller de ursprungliga metallytornas storlek och mängder av metaller måste rimligtvis också vara betydande. Gasanalysen måste också modifieras för att på ett konsistent sätt motsvara den design av SFL 3-5 som för tillfället studeras (val av återfyllnad, förvarsdjup etc.).

Myndigheterna rekommenderar sammanfattningsvis SKB (som även påpekades i kapitel 4) att ta fram och studera flera alternativa utformningar av SFL 3-5, t.ex. barriärer med olika dimensionering, med olika återfyllnadsmaterial eller möjligtvis kombinationer av olika återfyllnadsmaterial (t.ex. krossat berg, bentonit, sand). Om SKB slutgiltigt väljer att basera

säkerhetskonceptet för SFL 3-5 på den hydrauliska buren bör man undersöka möjligheten att komplettera med ytterligare tunnlar eller borrhål på större avstånd från SFL 3-5 avfallet, för effektivare avskärmning och för att minimera påverkan på barriärerna närmast avfallet. Enligt myndigheternas uppfattning förefaller SKB:s underlag för valet att eliminera bentonit som alltför begränsat. Med tanke på de stora och väldokumenterade och fördelarna med materialet, anser myndigheterna att det finns flera goda anledningar att ytterligare utreda användning av bentonit för SFL 3-5.

Jämförelser av alternativ bör lämpligen baseras på kvantitativa analyser som inbegriper olika tänkbara långsiktiga omvandlingar av barriärsystemet (ex. förändringar av permeabilitetsförhållanden och uppkomst av större genomgående sprickor). Gradvisa förändringar av grundvattenkemi samt storlek och riktning av grundvattenflödet pga. klimatförändringar kan också påverka bedömningen av hur barriärsystemet bör utformas och dessa bör därför också belysas. Syftet med dessa jämförelser är inte att ta fram den utformning av SFL 3-5 som ger lägst dosbelastning för ett referensfall utan snarare att ta fram en utformning som kan visas vara så robust att förvarsstrukturen ger ett acceptabelt skydd för var och en av de scenarier som anses rimligt sannolika. Designen måste också vara utformad så förutsättningarna för att hitta en lämplig lokalisering av SFL 3-5 skall vara goda. Den existerande säkerhetsanalysen antyder uppfattningen att SKB inte själva är övertygad om att så är fallet med utgångspunkt av de resultat som tagits fram hittills.

Kapitel 9 Radionuklidtransport och uppskattning av dos

9.1 SKB:s redovisning

SKB:s radionuklidtransportberäkningar baseras på de förutsättningar som ges av det referensscenario som definierats (se avsnitt 5.1) samt till vissa delar av scenariot för mänskliga handlingar (exponering via dricksvatten ur en brunn). För närområdet (avfallet, de tekniska barriärerna och delar av det omgivande berget) utnyttjas kompartmentmodellen COMP 24 som tar hänsyn till transport via diffusion eller advektion. Vad det gäller förvarets geometrier och dimensioner har vissa förenklingar genomförts som bedömts vara konservativa i hänseendet läckage av radionuklider. Parametrar som styr utlakning av radionukliderna är K_d -värden, diffusivitet, densitet, porositet samt för vissa nuklider lösligheter. Nukliderna anses vara homogent fördelade i förvarsutrymmet och omedelbart tillgängliga för lakning i porvattnet.

Närvaron av vissa organiska ämnen i avfallet, eller dess nedbrytningsprodukter, kan störa retardationsprocesserna, framförallt i närområdet. Tillsatsmedel i betong innebär ytterligare en källa till organiskt material med potentiellt ogynnsamma egenskaper i dessa avseenden. SKB har i den föreliggande redovisningen så gott som uteslutande uppehållit sig vid en enda sådan tänkbar effekt: inverkan av isosackarinisyra (ISA), som bildas vid nedbrytning av cellulosa i alkalisk (cement-) miljö. I SFL 3, där de största mängderna organiskt material finns i avfallet, skulle denna process kunna leda till så kraftigt förhöjd löslighet för vissa metaller, särskilt Pu, att det inte går att ansätta någon löslighetsbegränsning, vilket SKB har beaktat i beräkningarna.

Kemin för ISA i cementsystem har studerats intensivt sedan ca tio år och man har kommit fram till att inverkan av ISA på sorption är avsevärt mindre än inverkan på löslighet. ISA sorberas också på betongen vilket sänker den effektiva halten i lösning. SKB har utnyttjat sådana data, liksom antaganden om andelen nedbrytbar cellulosa, och därvid dragit slutsatsen att ISA:s inverkan på sorptionen är försumbar.

Beräkningarna för fjärrområdet innefattar endast de nuklider som inte visats ge försumbara doser vid en hypotetisk konsumtion av porvatten direkt från förvarsutrymmena. Kodan FARF31 har använts som baseras på antaganden om endimensionell transport längs ett strömrör med dispersion, sorption, matrisdiffusion och kedjesönderfall av nukliderna. Parametrar som ingår i modellen innefattar K_d -värden, diffusivitet i bergmatrisen, dispersivitet, flödesvätt yta, advektion och flödesvägarnas längd. Data har i första hand tagits från de s.k. realistiska uppskattningar som genomförts inom ramen för SR 97 projektet. Vissa kompletteringar har dock genomförts för de nuklider som enbart är av intresse för SFL 3-5.

Dosuppskattningarna baseras på radionuklidtransportberäkningarna och dosomvandlingsfaktorer för biosfärerna kust och skärgård för Aberg, torv och jordbruksmark för Beberg samt bara torv för Ceberg. För scenariot mänskliga handlingar används en dosomvandlingsfaktor för konsumtion av dricksvatten ur en brunn. SKB har inte tagit fram någon riskanalys men för att jämföra med SSI:s riskkriterium (maximal risk för skadeverkan av 10^{-6} per år för representativ individ ur den mest exponerade gruppen) används en sannolikhetskoefficient som motsvarar sannolikheten 1, vilket ger den maximala årsdosen 14 μSv . Spridningen av tungmetallerna kadmium, bly och beryllium från SFL 3-5 har uppskattats och effekterna har bedömts genom jämförelser med maximalt tillåtna dricksvattenkoncentrationer samt medelkoncentrationer i sjöar och jordbruksmark.

Resultaten visar att grundvattenflödet, transportvägarnas längd, geokemin och dosomvandlingsfaktorerna har avgörande betydelse för den uppskattade dosen. Den högsta årsdosen på ca 25 μSv erhöles för fallet med en dricksvattenbrunn vid Aberg. Motsvarande årsdoser för Be- och Ceberg är 2 μSv respektive 0.3 μSv . För de andra fallen är maximala årsdoserna 0,004 μSv för Aberg (skärgård), 3 μSv för Beberg (jordbruksmark) respektive 10 μSv för Ceberg (torv). Doserna domineras av nukliderna Ni-59, Mo-93, C-14 och Cl-36. I vissa fall ger Sr-90, och H-3 signifikanta bidrag, vilket indikerar tidiga dosbidrag (<100 år) eftersom dessa nuklider är relativt kortlivade.

9.2 Synpunkter från externa experter

Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM) påpekar att doser relativt nära jämförelsenivån förekommer för SFL 3-5 redan under en tidsperiod av 100 år efter förslutning. Enligt KASAM är det inte ett acceptabelt argument att höga doser motiveras med att förvaret står under institutionell kontroll under de 100 första åren. KASAM konstaterar att SKB behandlat recipientsituationen olika vid säkerhetsanalyserna för SFL 3-5 och SR 97.

Den internationella expertgruppen anser att den mest väsentliga bristen hänger samman med SKB:s val att endast utnyttja en uppsättning parametervärden för de beräkningsfall som definierats. Detta ger enligt gruppen en otillräcklig grund för att bedöma inverkan av variabilitet och den betydande grad av osäkerhet som vissa parametrar är förknippade med. SKB hade sannolikt skapat bättre förståelse för inverkan av t.ex. grundvattenflödes-hastigheter om ett intervall valts ut för varje plats. Andra parametrar som hade varit motiverat att studera mera i detalj inbegriper exempelvis Kd- och diffusivietvärden (D_e). Granskningsgruppen misstänker att de värden som använts för det s.k. F-talet och penetrationsdjupet kan vara icke-konservativa (dvs. de underskattar snarare än överskattar den slutligt beräknade dosen).

Vad det gäller beräkningarna för närområdet, anser granskningsgruppen att tillämpningen av Kd-värden är något oklar (vad det gäller t.ex. antagna pH-förhållanden och inverkan av ballast). Vidare anses redovisning av hur lösligheter använts eller hur man beslutat vilka som inte används vara ofullständig. Andra frågor som kan behöva belysas ytterligare framledes inkluderar enligt gruppen kolloidbildning i den s.k. pH-gradienten samt betydelsen av heterogeniteter i källtermen (särskilt om flödesriktningen är vinkelrät mot tunnarna).

SKI:s konsulter Wilmot och Crawford saknar motiveringar kring valet av parametrar och en diskussion av osäkerheter. Vidare anser man att den blandning av realistiska, konservativa och förenklande antaganden som analysen är uppbyggd kring skapar en förvirring kring vad de beräknade doserna egentligen representerar. Skulle betydelsen av osäkerheter vägas in i analysen skulle sannolikt den utnyttjade dosgränsen överskridas för vissa fall. Enligt Crawford och Wilmot föranleder detta behov av en mera fullständig riskanalys. I inledningen av sitt gransknings-PM konstaterar Crawford och Wilmot att den utvärdering som SFL 3-5 analysen representerar inte är tillräckligt orienterad mot en fastställd kravbild. Eftersom säkerhet inte är ett absolut begrepp måste en säkerhetsanalys relateras och vara tydligt orienterad mot en kravbild.

SKI:s konsult Glynn finner SKB:s beräkningar av sorption på krossat berg tveksamma, då det inte framgår hur hänsyn tagits till att den våta ytan för de förhållandevis grova partiklarna är begränsad.

9.3 Myndigheternas bedömning

9.3.1 Närområdet

Myndigheterna anser att SKB:s beräkningsmodell är tydligt beskriven och ger en bra illustration av slutförvarets grundläggande funktioner och egenskaper. Analysens fullständighet måste dock ifrågasättas då motiveringar och analyser av de antaganden som ligger till grund för valet av konceptuella modellerna inte redovisats (SKB gör dock inget anspråk på en sådan fullständighet med motiveringen att analysen fortfarande är preliminär). Det är exempelvis inte möjligt att bedöma betydelsen av vissa antaganden med utgångspunkt från de kvalitativa resonemang som redovisas, t.ex. antagandet om horisontellt, homogent och konstant flöde som funktion av tiden. Ytterligare exempel är antagandena om att betongkonstruktionerna förblir intakta, att nukliderna är jämt fördelade i förvarsutrymmet liksom att all betong i förvarsutrymmet är tillgänglig för sorption.

Den modellstruktur som baserats på denna typ av antaganden ger beräkningsexempel som måste betraktas som idealiserade. För att vara användbara måste de därför kompletteras med en analys som värderar hur sannolika och förhållandevis gynnsamma/ogynnsamma resultaten kan förväntas vara. Dessutom bör man belysa vilka konsekvenser en förändrad barriärfunktion kan förväntas få, som t.ex. medger advektion och heterogena förhållanden. Myndigheterna anser att SKB bör sträva efter att ta fram mera detaljerade modeller som möjliggör utredning av realistiska beräkningsfall för att underbygga de förenklade antagandena som utnyttjas i befintliga modeller. Dessa mera detaljerade modeller kan användas för att genomföra känslighetsanalyser som belyser effekter av fenomen som utelämnats från den direkta beräkningskedjan, t.ex. lokala variationer, cementdegradering, landhöjning, förändrade flödesriktningar etc. Ett möjligt värsta fall som bör belysas är då en preferentiell flödesväg bildas genom förvaret och som passerar ett område med lokalt förhöjda nuklidkoncentrationer.

Extremt förenklade konceptuella modeller kan också få viss användning, t.ex. för att illustrera den relativa betydelsen av olika barriärfunktioner. Modellen som utgår från omrörd tank illustrerar t.ex. effekten av en försämrad fysikalisk barriärfunktion men med bibehållen kemisk barriärfunktion. Denna modell beskriver dock inte inverkan av heterogeniteter och behöver därför inte representera det mest konservativa fallet. Jämförelser mellan en sådan mycket enkel representation av transportprocesser inuti förvaret och mera detaljerade beskrivningar, illustrerar dock betydelsen av olika säkerhetsfunktioner ("safety allocation") och betydelsen av konceptuella osäkerheter.

Vad det gäller modelleringen av sorption i närområdet håller myndigheterna med den internationella expertgruppen och Glynn om att motiveringen för val av K_d -värden, som är nyckelparametrar för att bedöma denna typ av förvar, behöver bli tydligare. Framtida säkerhetsanalyser behöver mer explicit värdera frågor kring effektiva ytor tillgängliga för sorption (exempelvis för krossat berg och sprickig betong) och sorption på åldrad betong. I andra säkerhetsanalyser för jämförbara system har t.ex. lägre K_d -värden använts för åldrad betong än för färsk.

Myndigheterna anser att SKB har bidragit till betydande framsteg både inom grundforskningen om organiska komplexbildare och om hur de skall behandlas i säkerhetsanalysen. Ändå bedömer myndigheterna att denna fråga ännu inte är helt färdigutredd, vilket gäller såväl ISA som andra komplexbildare. Effekterna av förhöjda

lösligheter för aktinider är sannolikt begränsade eftersom effekten inträffar efter så lång tid (miljoner år) att förutsättningarna för närvaron av ISA kan ifrågasättas. Myndigheterna anser det dock vara svårare att bedöma huruvida SKB:s hantering av komplexbildningens inverkan på sorptionen (för ISA eller andra komplexbildare) är tillräcklig.

Också SKB medger t.ex. att kunskapen om inverkan från organiska tillsatsmedel i betong ännu är otillräcklig, något som även påtalats av den internationella expertgruppen. Myndigheterna anser att valet av sorptionsdata i närvaro organiska ämnen alltid bör ske med försiktighet: det finns många fler ämnen än cellulosa som kan ge upphov till komplexbildare. Inte minst i fallet med ISA gäller också att dess sorption bör förstås mekanistiskt för att det skall vara möjligt att göra en bedömning av dess inverkan på lång sikt.

Myndigheterna rekommenderar SKB att ta fram och tillämpa metoder som kan användas generellt för ta hänsyn till komplexbilning i säkerhetsanalysen. Omvänt kan sådana metoder då också användas för att fastställa begränsningar av innehållet av vissa material i avfallet och krav på dokumentation av avfall.

Några få nyckelnuklider har visats vara särskilt beroende av sorptionsegenskaperna i cementmiljö (exempelvis Mo-93, I-129, Cl-36). Anledningen till att den förhållandevis svaga sorptionen av dessa nuklider har särskilt stor betydelse är att det är den enda kända kemiska retardationsmekanismen. Avsaknad av denna retardationsmekanism kan medföra att de totala förväntade doserna blir mer än en tiopotens högre. Det bör därför vara en viktig forskningsfråga att ta fram ett mera fullständigt vetenskapligt underlag för sorption av dessa nuklider i cementmiljö.

I SKB:s nyligen presenterade säkerhetsanalyser redovisas inga beräkningar av transport av radionuklider med kolloider. I SR 97 motiverar man detta bl.a. med att bentonitbufferten runt kapslarna på ett effektivt sätt filtrerar bort kolloider. Eftersom SFL 3-5 i sin nuvarande utformning saknar bentonit har kolloider större förutsättningar att spridas från denna typ av förvar jämfört med SFL 2. Utfällningsreaktioner i den pH-gradient, som kommer utvecklas mellan cementmiljön i förvaret och det omgivande grundvattnet, kan skapa förutsättningar som är gynnsamma för bildning av kolloider. Myndigheterna anser att SKB behöver närmare studera betydelsen av kolloidtransport för SFL 3-5, t.ex. för fall då utspädda grundvatten kan tränga ner till förvarsdjup. Kolloidfrågan skulle kunna vara ett av flera skäl till att omvärdera betydelsen av bentonit som teknisk barriär i utformningen av förvaret.

9.3.2 Fjärrområdet

Myndigheterna håller med den internationella expertgruppen att SKB:s beräkningsfall för fjärrområdet måste anses som alltför begränsade, med tanke på att man endast använder en uppsättning parametrar för varje plats och inte har med någon representation av variabilitet eller osäkerheter för geosfären. Myndigheterna anser att det inte kan uteslutas att doserna blir högre än de redovisade om hänsyn tas till variabilitet och osäkerhet. Detta beror dels på att användning av realistiska parametrar för geosfärsretardation inte ger något utrymme att ta hänsyn till osäkerheter, dels att vissa parametrar enligt den internationella expertgruppens bedömning förefaller vara optimistisk valda (t.ex. F-faktorn). Skall konsekvensanalysen baseras enbart på deterministiska beräkningar måste osäkerheterna vägas in i indata för samtliga parametrar (dvs. indata måste kunna visas vara konservativt valda). En annan möjlighet är att inom ramen för ett probabilistiskt angreppssätt illustrera parameterosäkerhet med sannolikshetsfördelningar baserade på expertbedömningar.

Med tanke på att utredningarna kring SFL 3-5 är på ett mycket preliminärt stadium är det förståeligt att någon detaljerad redovisning av geosfärtransport inte redovisas. Tyngdpunkten bör i detta skede naturligt fokuseras på de många valmöjligheter som finns för utformning av förvarsutrymmena och avfallsbehandlingen. Eftersom betydelsen av val av plats särskilt lyfts upp som ett specifikt tema hade man dock kunna förvänta sig en något mer djupgående diskussion kring skillnaderna mellan platserna i perspektivet geosfärsretardation. Dessutom borde de antagna skillnaderna mellan platsernas grundvattenflöde motiveras mera fullständigt med utgångspunkt av befintliga data.

9.3.3 Beräkning av dos och risk

Myndigheterna håller med SKI:s konsulter Crawford och Wilmot att SKB borde beskrivit den kravbild man anser relevant för den föreliggande säkerhetsanalysen. Denna kravbild bör vara den utgångspunkt för analysen som ger ett perspektiv för bedömning av slutresultatet. SKB har valt att inte inkludera några probabilistiska beräkningar utan omvandlar den maximala årliga risken av 10^{-6} till en dos av 14 μSv per år för det fall då sannolikheten anses vara lika med ett. Myndigheterna anser att detta kan vara acceptabelt för en preliminär analys men vill ändå påpeka att denna metod knappast ger ett fullgott underlag för att utvärdera riskkriteriet. Framtida säkerhetsanalyser måste i högre grad beakta den kravbild som myndigheterna har angivit. Exempelvis behöver riskbidrag för fler än ett scenario kunna utvärderas och vägas samman liksom den kvantitativa inverkan av osäkerheter inom de olika scenarierna.

Myndigheterna anser att SKB:s val av biosfärer för de olika platserna sannolikt ger en felaktig bild av platsernas relativa lämplighet. Med tanke på att det valda EDF-värdet för Aberg är lågt och förutsätter en gynnsam biosfärsituation, ger det den sannolikt missvisande bilden att Aberg är den bästa platsen. De modelleringar som ligger till grund för val av biosfärer är inte tillräckligt trovärdiga för att mindre gynnsamma biosfärer kan avfärdas för någon av platserna. Myndigheterna anser att SKB i denna tidiga säkerhetsanalys kunde använt sig av en referensbiosfär som tillämpas för samtliga platser. Avsikten är i detta fallet att belysa skillnader mellan platsernas geologiska, hydrologiska och geokemiska förhållanden. I ett senare skede, och i samband med en ansökan, måste dock platsspecifika biosfärsförhållanden beaktas.

SKB illustrerar i figurena 10-1 och 10-2 (TR-99-28) den relativa betydelsen av när- och fjärrområdet för retardation av några nyckelnuklider. Dessa illustrationer ger en tydlig om än begränsad förståelse för betydelsen av olika barriärfunktioner och fyller därmed en viktig funktion i analysen. Myndigheterna föreslår att SKB också bör redovisa mera hypotetiska beräkningsfall för att tydligare illustrera de olika barriärerna/barriärfunktionernas individuella säkerhetsbetydelse samt beräkningar för att demonstrera i vilken utsträckning förvaret har multipla barriärfunktioner. Sådana beräkningsfall skulle kunna ge en fördjupad grund för att prioritera fortsatt forskningsarbete.

Redovisning av en kvantitativ dosuppskattning för ett visst förvar och ett visst scenario har en oklar betydelse om den inte kopplas till en värdering av trovärdigheten i resultatet, betydelsen av osäkerheter, betydelsen av förenklingar i modeller etc. En diskussion för att sätta resultaten i ett perspektiv bör med andra ord ge återkoppling till de begränsningar man baserat analysen på. Sådana reflektioner har inte getts någon framträdande roll i SKB:s rapportering. En läsare av säkerhetsrapporten kan lätt få intrycket att de dosuppskattningar som redovisas är mycket säkrare och definitivare än vad som i själva verket är fallet.

Kapitel 10 Myndigheternas samlade slutsatser

Myndigheterna anser att SKB:s första riktiga säkerhetsanalys av SFL 3-5 förvaren (SKB TR-99-28) har gett en värdefull grund att stå på inför fortsatta insatser inom området. Även om säkerhetsanalysen är relativt begränsad i sin omfattning har den många förtjänster. Den är genomgående tydlig och lättläst samt ger en bra illustration av slutförvarets grundläggande funktioner och egenskaper. De specifika problem som är förknippade med det valda förvarskonceptet för SFL 3-5 diskuteras på ett i huvudsak transparent sätt. Däremot anser myndigheterna att SKB bara delvis uppnått den uttalade målsättningen att utreda betydelsen av den aktuella förvarsutformningen (design) respektive val av plats. Den största bristen består i att varken inre störningar (t.ex. avsevärd sprickbildning respektive degradering av betongkonstruktioner) eller yttre störningar (t.ex. inverkan av klimatförändringar och glaciationer) har behandlats på ett ingående sätt. Eftersom hänsyn måste tas till möjliga inre och yttre störningar vid valet av både förvarsutformning och önskade egenskaper vid en specifik plats ger den föreliggande analysen ingen tydlig vägledning i strävandet att uppnå dessa mål. Ytterligare insatser för att minska dessa osäkerheter krävs.

En grundläggande brist som både myndigheterna och den internationella expertgruppen vill fästa uppmärksamhet på kan relateras till SKB:s underlag för val av design. En väl sammanhållen redovisning som motiverar valet av design utifrån perspektivet långsiktig säkerhet saknas till stora delar. De argument som framlagts som grund för valet av den nuvarande designen framstår som vare sig heltäckande eller tillräckligt väl genomarbetade. Det är angeläget att SKB:s samtliga underlag och överväganden kring valet av den nuvarande designen dokumenteras på ett bättre sätt.

Myndigheterna anser att det sannolikt finns andra attraktiva utformningar av ett SFL 3-5 förvar, som ännu inte utretts. Alternativa utformningar av barriärsystemet skulle t.ex. kunna visas vara mera robusta m.a.p. olika typer av yttre och inre störningar, än den nu föreslagna utformningen som baseras på att grundvattenflödet kommer kunna ledas runt betongkonstruktionerna under hela förvarets nödvändiga livslängd (enligt principen med hydraulisk bur). Skillnader i förvarsutformningen (t.ex. med avseende på förvarsdjup, val av återfyllnadsmaterial, dimensioner av barriärer etc.) kan för vissa scenarier medföra avsevärda skillnader i framtida dosbelastning. Myndigheterna rekommenderar SKB att ta fram en jämförelse med andra möjliga förvarsutformningar för SFL 3-5. Ett sådant underlag kommer bli användbart för att visa att myndigheternas krav på användning av bästa möjliga teknik är uppfyllt.

Beroende på bland annat vilka geosfärs- och biosfärsförhållanden som antas, har SKB visat att de beräknade dosvärdena kan bli relativt höga för vissa fall (i jämförelse med gällande doskriterium). Myndigheterna anser att detta rent generellt bör föranleda SKB att på sikt utföra mera omfattande känslighets- och osäkerhetsanalyser för att studera hur geosfärs- och biosfärsförhållanden kan påverka dosbelastningen. Mera realistiska analyser skulle erfordras för att göra rimliga jämförelser mellan olika platser och för att bedöma betydelsen av olika nuklider för olika sammanhang.

Granskningen av SKB:s preliminära säkerhetsanalys visar att det återstår mycket forsknings- och utvecklingsarbete innan kunskapsnivån inom området blir jämförbar med den nuvarande för slutförvaret för använt bränsle. Detta återspeglas t.ex. samstämmigt i den internationella expertgruppens granskning (SKI Rapport 00:41), och konsultgranskningarna (SKI Rapport 00:47, 00:33). Myndigheterna vill särskilt påpeka att jämförelsen med SFR är av begränsat

värde, eftersom säkerheten för SFL 3-5 behöver utvärderas för mycket längre tidsskalor. Det längre tidsperspektivet medför att kunskapskraven för att kunna genomföra trovärdiga bedömningar av t.ex. tekniska barriärer och platsspecifika förhållanden blir högre.

Framtagandet av den preliminära säkerhetsanalysen bör ha gett SKB en god uppfattning hur kommande forskningsinsatser bör prioriteras. Att ge återkoppling till fortsatt forskning och utvecklingsarbete bör för övrigt vara ett huvudsyfte med en säkerhetsanalys som publiceras på ett tidigt stadium. Myndigheterna anser det därför förvånande att SKB inte har med några redovisningar i säkerhetsrapporten över vilka FoU-insatser som man avser att prioritera (en sådan redovisning finns med i t.ex. SR 97). Myndigheterna anser det viktigt att SKB upprätthåller aktiviteter inom området i tillräcklig omfattning och kommer att följa upp frågan i samband med granskningen av kommande FUD-program.

Enligt SKB:s nuvarande tidplaner kommer lokalisering och konstruktion av SFL 3-5 inte att påbörjas förrän om ca 30 år. Myndigheterna anser dock inte detta vara något skäl att skjuta upp nödvändiga FoU-insatser. För att planera det fortsatta arbetet är det viktigt att problem och särskilda egenskaper som är specifika för slutförvaringen av denna avfallskategori identifieras på ett tidigt stadium och utreds ingående. Om inget fullständigt underlag tas fram för bedömningar av den långsiktiga säkerheten hos ett SFL 3-5 förvar, ökar risken för att dessa avfallskategorier kommer mellanförvaras på obestämd tid. Detta gäller såväl den betydande del av fallet som existerar redan idag (som för närvarande lagras vid Studsvik) som rivningsavfall samt avfall från underhåll och reparationer av kärnkraftverken. En utveckling av kunskapsläget för bedömningar av långsiktiga säkerhetsfrågor skulle underlätta arbetet med att ta fram acceptanskriterier för denna typ av avfall. Myndigheterna vill sammanfattningsvis påpeka det betydelsefulla av att det finns väl utvecklade planer för att omhänderta samtliga avfallsströmmar härrörande från kärnkraftverken samt naturligtvis även SKB:s egna anläggningar.

En framtida lokalisering av SFL 3-5 med utgångspunkt från nuvarande kunskapsnivå kan inte beskrivas som oproblematiske. Den föreliggande säkerhetsanalysen visar på en avsevärd platsspecifik påverkan på förvarets skyddsförmåga som framförallt kan relateras till den lokala grundvattenflödes hastigheten men även till aktuella geokemiska betingelser. Beräknade doser för fall med konsumtion av dricksvatten ger åtminstone med de metoder som hittills utnyttjats intrycket att marginalerna i förhållande till den existerande kravbilderna är små. SKB diskuterar i sin huvudrapport möjligheten att eventuellt förbättra de tekniska barriärerna för att öka deras betydelse för den långsiktiga säkerheten (och därmed minska inverkan av platsspecifika faktorer). Myndigheterna anser att förhållningssättet är rimligt för detta preliminära perspektiv men däremot inte för senare skeden. SKB bör framdeles ta fram ett förslag på förvarsutformning som kan anses tillräckligt robust med avseende på de platsspecifika faktorernas inverkan och deras långsiktiga utveckling. De krav och kriterier som är relevanta för lokalisering av SFL 3-5 måste därmed redovisas. Dessa hänger naturligtvis samman med den valda förvarsutformningen men kraven behöver inte överrensstämma med de som nyligen presenterats för bränsleförvaret (SKB TR-00-12).

Myndigheterna anser att de kommande platsundersökningarna är ett bra tillfälle att föra SFL 3-5 frågan framåt. I det senaste regeringsbeslutet påpekades t.ex. att SKB förväntas inkludera SFL 3-5 som en del av platsundersökningsprogrammet. För att inte utesluta möjligheten till en framtida samlokalisering av SFL 2 och SFL 3-5 bör den valda platsen naturligtvis vara acceptabel för båda förvarstyperna. Dessutom bör fördjupade utredningar kring det optimala förvarsdjupet för SFL 3-5 samt betydelsen av växelverkan mellan SFL 2 och SFL 3-5 relativt

snart tas fram. Dessa frågors betydelse behöver vara väl dokumenterade, som ett underlag för att identifiera lämpliga bergvolymmer för en möjlig lokalisering av SFL 3-5. Efter genomförandet av platsundersökningarna borde tiden vara mogen för att ta fram en mer omfattande säkerhetsanalys för SFL 3-5 som baseras på relevanta platsspecifika data liksom ett mer genomarbetat förslag till förvarsutformningen.

SKB har lagt ner ett omfattande arbete för att kartlägga en stor mängd korrelationsfaktorer för att bestämma avfallets innehåll av relevanta nuklider. Detta arbete har stort värde vid eventuella alternativa inventariebestämningar av selekterade nuklider. Myndigheterna anser dock att valet av korrelationsfaktorer, främst med avseende på transuraner och vissa fissionsprodukter, i flera fall kunde motiveras bättre. Myndigheterna anser att SKB:s ansats, att för den föreliggande analysen välja konservativa värden, inte har uppnåtts för alla radionuklider. Vidare är inte SKB:s säkerhetsanalys tillräckligt omfattande för att SKB i dagsläget skall kunna dra slutsatser i avsikt att begränsa det fortsatta arbetet till att enbart omfatta ett begränsat urval av de aktuella radionukliderna. Däremot har SKB preliminära säkerhetsanalys påvisat ett antal radionuklider som definitivt *inte* kan nedprioriteras från fortsatta utvärderingar.

SKB kan förväntas förbättra underlaget för bestämningarna i första hand genom *mätningar* av faktiska korrelationsfaktorer, såsom SKB avser genomföra för bl.a. Ni-59. På samma sätt bör SKB överväga att tillämpa de redan i dag tillgängliga mätningar som föreligger, framförallt på reaktorvatten, i större utsträckning vid bestämning av rimliga men konservativa korrelationsfaktorer.

SKB har gjort en mycket ambitiös genomgång av det avfall som avses deponeras i SFL 3-5. I synnerhet anser myndigheterna att den genomgång som gjorts för det avfall som avses deponeras i SFL 5 är väldokumenterad och har en bra spårbarhet. Detta avfall torde samtidigt vara enklare att karaktärisera än det historiska avfall som till stor del finns vid Studsviks anläggningar, dels för att SFL 5-avfallet är mer homogent, dels för att det är relativt tillgängligt för karaktärisering. För det historiska avfall som finns vid Studsvik och som avses deponeras i SFL 3 är svårigheterna större att genomföra en god karaktärisering. Avfallet är mycket inhomogent och har mycket olika ursprung. Dessutom är en stor del av avfallet redan konditionerat vilket försvårar en eventuell ytterligare karaktärisering. Dokumentationen som SKB redovisat är samtidigt sparsam. Myndigheterna anser att det därför är av största vikt att den information som finns och som fortfarande kan upprättas, t.ex. genom intervjuer med personal som arbetade med materialet, noggrant dokumenteras.

Referenser

- Andersson, J. Ström, A., Svemar C., Almén, K. E., Ericsson, L.O., What requirements does the KBS-3 repository make on the host rock? Geoscientific suitability indicators and criteria for siting and site evaluation, SKB TR-00-12, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 2000.
- Bergström, U., Nordlinder, S., Aggeryd, I., Models for dose assessments. Modules for various biosphere types, SKB TR-99-14, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.
- Chapman N., Apted M., Glasser F., Kessler J., Voss C., Deep Repository for Long-lived Low- and Intermediate-level Waste in Sweden (SFL 3-5): An International Peer Review of SKB's Preliminary Safety Assessment, SKI Report 00:41, Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm, October 2000.
- Chapman N., Apted M., Glasser F., Kessler J., Voss C., Djupförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall i Sverige (SFL 3-5): En internationell expertgranskning av SKB:s preliminära säkerhetsanalys, SKI Rapport 00:54, Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, December 2000.
- 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.
- Holmén, J. G., On the flow of groundwater in closed tunnels. Generic hydrogeological modelling of nuclear waste repository, SFL 3-5, SKB TR 97-10, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1997.
- Ingemansson T., Extern granskning av radionuklidinventariet i SFL 3-5 (SSI Dnr 6240/622/00), SSI P 1193.00, 2000.
- Karlsson F., Lindgren M., Skagius K., Wiborgh M., Engkvist I., Evolution of geochemical conditions in SFL 3-5, SKB Rapport R-99-15, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.
- Kjellbert, N, Bränslemängder, radionuklidinnehåll, rsteffekter och typkapsel för SKB 91. SKB Arbetsrapport 90-41, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1990.
- Lindborg, T., 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.
- Lindgren M., Pers K., Skagius K., Wiborgh M., Brodén K., Carlsson J., Riggare P., Skogsberg M., Low and Intermediate Level Waste in SFL 3-5: Reference Inventory, Reg. No. 19.41/DL31. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1998.
- Lyckman C., Radionuklidinnehåll i utbränt kärnbränsle - Beräkningar med ORIGEN2 SSI rapport 96-03, Statens strålskyddsinstitut, Stockholm, 1996.
- Nordlinder, S., Bergström, U., Mathiasson, L., Ecosystem specific dose conversion factors for

Aberg, Beberg and Ceberg, SKB TR-99-15, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

Pettersson M., Skagius K., Moreno L., Analysis of radionuclide migration from SFL 3-5, SKB Rapport R-99-14, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

Skagius K., Pettersson M., Wiborgh M., Albinsson Y., Holgersson S., Compilation of data for the analysis of radionuclide migration from SFL 3-5, SKB Rapport R-99-13, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

Skagius K., Lindgren M., Pers K., Gas generation in SFL 3-5 and effects on radionuclide release, SKB Rapport R-99-16, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

SKB 1999, Deep repository for spent nuclear fuel. SR 97 - Post-closure safety. Main report - Vol. I, Vol. II, SKB TR-99-06, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1999.

SKB 1999, Deep repository for long-lived low- and intermediate-level waste. Preliminary safety assessment, SKB TR-99-28, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1999.

SKB 1999, Djupförvar av långlivat låg- och medelaktivt avfall. Preliminär säkerhetsanalys, SKB Rapport R-99-59, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1999.

SKB 1989, WP-Cave – assessment of feasibility, safety and development potential, SKB TR-89-20, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1998.

SKI Rapport 00:39, SKI:s och SSI: gemensamma granskning av SKB:s Säkerhetsrapport 97. Granskningsrapport, Statens kärnkraftinspektion och Statens strålskyddsinstitut, November 2000

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

SKI Report 00:47, Opinions on SKB's Safety Assessments SR 97 and SFL 3-5: A Review by SKI Consultants, Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm, December 2000.

SKI FS 1998:1, Statens kärnkraftinspektionens föreskrifter om säkerhet i vissa kärntekniska anläggningar. Allmänna råd om tillämpningar av Statens kärnkraftinspektionens föreskrifter enligt ovan., Statens kärnkraftinspektion, Stockholm, Augusti 2000.

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.

Wiborgh, M., Prestudy of final disposal of long-lived low and intermediate level waste, SKB TR 95-03, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm, 1995.

Wickham S. M., Bennett D. G., Higgs J. J. W., Evaluation of Colloid Transport Issues and Recommendations for SKI Performance Assessment, SKI Report 00:33, Swedish Nuclear Power Inspectorate, Stockholm, August 2000.