

**SKI**

**Statens kärnkraftinspektion**

**Teknisk rapport SKi 90:5**

**Granskning av**

**SKBs FoU-Program 89**

**1990-02-02**

Statens kärnbränslenämnd  
Sehlstedtsgatan 9  
115 28 Stockholm

Granskning av det program som avses i 12 § lagen  
(1984:3) om kärnteknisk verksamhet.  
Remiss från statens kärnbränslenämnd  
=====

#### INLEDNING

Statens kärnbränslenämnd, SKN, har med remiss 1989-10-03 ombett statens kärnkraftinspektion, SKI, att avge yttrande rörande det program som enligt 12 § kärntekniklagen en innehavare av kärnkraftverk skall upprätta eller låta upprätta. Programmet skall omfatta åtgärder för att hantera och slutförvara uppkommet kärnavfall, för att avveckla och riva anläggningar som inte längre skall drivas och för erforderligt forsknings- och utvecklingsarbete. Programmet skall ge en översikt över samtliga åtgärder som kan bli behövliga samt för en sexårsperiod ge en mer detaljerad beskrivning. Programmet skall inges vart tredje år. Svensk kärnbränslehantering AB, SKB, ingav 1989-09-27 programmet till SKN.

SKB har av sina ägare, de svenska kärnkraftföretagen, givits uppdraget att svara för den forsknings- och utvecklingsverksamhet som kärntekniklagen ålägger ägaren av en kärnkraftanläggning. SKB har också av sina ägare ålagts att uppföra och driva gemensamma anläggningar för lagring och slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnkraftavfall.

FoU-programmet skall av SKB inges till SKN. SKN har i sin tur ombett SKI, liksom ytterligare ett antal remissinstanser, att avge yttrande över programmet. SKN skall sedan med eget yttrande överlämna programmet till regeringen. SKNs redovisning skall innehålla planerad forsknings- och utvecklingsverksamhet, redovisade forskningsresultat, alternativa hanterings- och förvaringsmetoder och de åtgärder som avses bli vidtagna.

SKBs FoU-program 89, Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring, omfattar två huvudrapporter: Allmän del och Program 1990-1995 samt två bilagedelar: Underjordiskt berglaboratorium och Granskning av FoU-program 86; sammanställning och SKBs kommentarer.

SKI har tidigare yttrat sig över det program som ingavs 1986.

## FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SKIS GRANSKNING

Utgångspunkten för SKIs bedömningar är den tidplan för olika åtgärder såsom platsval och byggande av anläggningar som SKB angivit.

SKIs granskning utgår från SKIs roll som säkerhetsmyndighet med uppgiften att granska redovisning för kommande avfallsanläggningar samt att redan nu, t ex i platsvalsprocessen, påbörja arbetet med att ge anvisningar och riktlinjer för sådan redovisning.

## SAMMANFATTANDE SYNPKUNKTER

SKIs granskning av FoU-program 89 har resulterat i en granskningspromemoria (SKI Teknisk Rapport 90:5) där SKIs samlade synpunkter redovisas. Här återges en sammanfattning av dessa synpunkter inom olika delområden.

### Presentationen av FoU-program 89

SKI vill på grundval av erfarenheterna från den genomförda granskningen framföra vissa synpunkter på presentationen av programmet som kan vara av värde för SKB vid framtagningen av kommande FoU-program. I texten förekommer flera upprepningar samtidigt som det krävs att man läser på flera ställen för att få tillräcklig information inom ett visst delområde. Sambandet mellan de olika fackområdena klargörs inte heller tillräcklig. Vidare diskuteras delvis samma forskningsinsatser dels under de olika fackområdena och dels under ett antal större projekt. För de stora projekten borde sammanfattande beskrivningar ha givits och beskrivningar ur organisatorisk synpunkt. Den detaljerade tekniskvetenskapliga beskrivningen skulle ha redovisats under respektive fackområde.

### Platsurval och platsundersökningar

SKB bedriver nu en inventering av tänkbara områden för ett slutförvar för använt kärnbränsle. Efter inventeringen avser SKB att 1992 offentliggöra tre platser som skall bli föremål för förundersökningar till 1994 då SKB upprättar ett program för detaljundersökningar på två av platserna. Detta program, liksom resultaten från förundersökningarna, tillställs berörda myndigheter för granskning. Detaljundersökningarna, som påbörjas efter erforderliga tillstånd 1996, skall till 2003 ge underlag för ansökan om byggnadstillstånd.

Det är viktigt att en ändamålsenlig process (t ex avseende naturresurslagen) för successivt urval från

ett större antal möjliga slutförvarsplatser kan fastläggas.

Det är nödvändigt att systematiska och ingående undersökningar genomförs på de tre kandidatplatserna inför beslutsskedet 1994-96. SKI har i granskningspromemorian anfört synpunkter på och påtalat brister i SKBs platsundersökningsmetoder, särskilt i den regionala skalan. Speciellt måste ökad uppmärksamhet riktas mot att identifiera flacka sprickzoner även på stora djup. Dessa zoner har stor betydelse för grundvattenströmningen liksom för bergets spänningstillstånd och stabilitet. Effekterna av att förlägga ett förvar på olika djup, särskilt större än vad som hittills undersökts, behöver också utredas för varje plats.

Det geologiska underlag som finns och planeras tas fram för tunnlar under havsbotten och djupa borrhål som alternativ till den traditionella KBS-3 metoden bedömer SKI som till viss del otillräckligt för ställningstagande till metoderna ur säkerhetssynpunkt.

SKBs program kan tolkas så att 1994 års säkerhetsanalys enbart kommer att vara presenterad som variationer av SKB-91. Ett sådant förfarande anser SKI inte var tillfyllest. SKI anser det i stället nödvändigt att SKB genomför platsspecifika säkerhetsanalyser som underlag för det beslut som kommer att föreslås myndigheterna 1994. Sådana kommer att behövas om SKI skall kunna ta ställning till platserna från säkerhetssynpunkt. Säkerhetsanalyserna kommer också att behövas för att styra de detaljerade platsundersökningarna liksom för SKIs riktlinjer för nästa led i SKBs redovisning, d.v.s platsansökan 2003.

### Säkerhetsanalyser

Betydande framsteg har under den senaste treårsperioden skett på det internationella planet för att utveckla säkerhetsanalysens metodik. Denna utveckling har skett med aktiv svensk medverkan. Ett område där framsteg har skett är scenarieutveckling. Fortfarande återstår dock ett stort arbete med att utveckla och analysera scenarier. Som SKB påpekar i FoU-programmet är SKBs fortsatta arbete inom detta område delvis avhängigt av myndigheternas arbete med acceptanskriterier. SKI avser ta initiativ till ett långsiktigt arbete syftande till att ta fram ett antal scenarier som, i analogi med vad som förkommer på reaktorsäkerhetsområdet, anger ramarna för säkerhetsbedömningar av SKBs kommande förslag till slutförvar.

De modeller som används inom säkerhetsanalysen måste vara vetenskapligt förankrade. I SKIs granskningspromemoria anges ett antal områden där ytterligare framsteg behöver göras för att validera modellerna innan

definitiva ställningstaganden till ett slutförvar kan tas. Hela säkerhetsanalysområdet är stort och komplext. Vidare kan nya experiment för att validera modeller inom vissa områden komma att bli mycket kostsamma. Det är därför nödvändigt att SKB utarbetar en strategi för modellvalidering. För en sådan strategi behöver man genom säkerhetsanalysen identifiera de viktigaste säkerhetsmässiga behoven. SKI anser att detta bör vara en av huvudmålsättningarna med säkerhetsanalysprojektet SKB-91.

Inspektionen anser också att SKB-91 bör användas till att utvärdera användbarheten av det probabilistiska modellsystemet PROPER och till att klargöra hur PROPERs roll i framtida säkerhetsanalyser påverkar framtagande av data, särskilt i platsundersökningarna.

### Bergets egenskaper

SKB konstaterar att bergets roll i slutförvaret är att ge mekaniskt skydd, kemiskt stabil miljö samt långsam och stabil vattenomsättning. För att i säkerhetsanalysen kunna tillgodoräkna sig de potentiellt mycket stora tekniska fördelar som bergförvaring kan erbjuda är det nödvändigt att visa att de prediktioner som görs om bergets tillstånd, grundvattenströmningen och transporten av radionuklider är tillförlitliga. SKB visar i sin genomgång av kunskapsläget inom dessa områden att man har stor insikt i de forskningsproblem som följer av detta krav. SKB genomför också ett stort antal större och mindre forskningsprojekt av hög vetenskaplig klass. Inom vissa områden uppvisar dock SKBs forskningsprogram brister.

Validering av strömnings- och transportmodeller är en central fråga där SKB idag lägger ner stora resurser. SKB måste dock tillfredsställande besvara om de fältförsök som genomförts och planeras verkligen innehåller den information som är av betydelse för modellernas prediktioner av väsentliga förvarsfunktioner. Enbart en systematisk jämförelse mellan modellprediktion och utfall för ett visst försök är inte ett tillräckligt villkor för validering. Validering innebär också att modellen tillfredsställande skall beskriva det verkliga förloppet.

SKB utvecklar och analyserar flera olika begreppsmodeller för att beskriva grundvattenströmning och transport i berg. SKI stöder detta arbete speciellt som det idag är för tidigt att uttala sig om vilken modell som skall utnyttjas för att beskriva berget.

SKB avser att öka arbetet med densitetsberoende strömning (salt grundvatten). SKI stöder denna ambition och vill dessutom poängtera betydelsen av densitetseffekter i samband med olika scenarier som förändring av havsytans nivå, glaciation och permafrost.

SKB genomför insatser för att studera den "störda zonen" runt utsprängda bergtunnlar. Dessa forskningsinsatser är viktiga. SKI vill dock framhålla att ytterligare forskningsinsatser behövs för att förbättra förståelsen av de komplicerade kopplingarna mellan värme, spänningstillstånd, stabilitet och grundvattenströmning. Den "störda zonen" är endast en sådan effekt. Framförallt svällning av buffertmaterialet samt yttre laster vid kommande klimatförändringar (glaciation, permafrost) men även effekter vid utsprängningen av tunnlar och värmeutvecklingen från bränslet är alla faktorer som kan påverka grundvattenströmningen och den mekaniska stabiliteten i närområdet och fjärrområdet.

SKB genomför experiment och utvecklar analysmetoder för att bestämma bergets transportegenskaper. SKBs insatser inom detta område är dock inte tillräckliga. Osäkerheten om bergets transportegenskaper är idag så stor att geosfärens potentiellt stora förmåga att kvarhålla eller väsentligt fördröja transport av radionuklider inte fullt kan tillgodoräknas vid en säkerhetsanalys.

SKB har god utrustning för att utföra vattenkemiska borrhålmätningar. Inspektionen vill framhålla vikten av att vattenanalyserna görs i anknytning till omfattande sprick- och bergmineralanalyser. Det är först när vattenanalydata kan korreleras med relevanta sprick- och bergmineraldata och detaljerad kunskap finns om geologi och hydrogeologi, som förutsättningarna finns för att få en helhetsbild av berg/grundvattensystemet.

SKB genomför och planerar fältförsök i framförallt Finnsjön, Stripa och Berglab. Undersökningarna från Stripa och Finnsjön har genomgående varit av mycket hög klass och har starkt bidragit till att öka förståelsen av bergets strömnings- och transportegenskaper. SKI anser det inte vara klarlagt att de omfattande resurser som läggs ner i Berglabprojektet inte skulle kunna ha gett mer utbyte i ett fåtal väl kontrollerade försök på dessa platser. SKI ger dessutom i granskningspromemorian synpunkter på platskaraktiseringen, förläggningdjupet, tidplanen och redovisningen av Berglabprojektet.

#### Tekniska barriärer

SKI vill betona vikten av att en korrosionsmodell för bränsle tas fram snarast möjligt och anser det värdefullt om detta skulle kunna åstadkommas redan till genomförandet av SKB 91 enligt SKBs plan. Detta är nödvändigt för att kunna styra och prioritera forskningen på området. Inverkan på bränslestrukturen av ökad utbränning och nya bränsletyper är inte

tillräckligt belyst i SKBs planer. Inspektionen anser att SKB bör anpassa sitt program efter den pågående utvecklingen mot allt högre utbränning. SKI anser det vidare väsentligt att försök utföres, dels för att klargöra temperaturens inverkan på bränslets korrosion, och dels för att undersöka kloridhaltens betydelse i detta sammanhang.

SKBs program för utveckling av kapsel för använt bränsle kännetecknas generellt av en stor bredd och god framförhållning när det gäller frågor av betydelse för tillverkningsprocessen. Detta omdöme gäller i stor utsträckning även forskningen rörande kapslars livslängd i slutförvaret. Korrosionsstudierna behöver dock kompletteras med en bättre förståelse av de miljömässiga faktorer som styr korrosionshastigheten. Enligt SKIs uppfattning är det också väsentligt att SKB fullföljer de redan påbörjade studierna av koppars krypegenskaper och att resultaten integreras i en konsekvensbeskrivning avseende kapselns beteende under yttre mekaniska laster. Detta kan på sikt ge underlag för uppskattning av fördelningen i tiden av kapselbrott, en faktor som visat sig vara av stor betydelse i säkerhetsanalysen.

SKI anser sig inte ännu ha tillräckligt underlag för att med bestämdhet kunna uttala sig om stål som kapselmateriäl. SKI förutsätter bl a att frågan om bortledning av bildad gas vid korrosion av stål utreds noggrant innan SKB går vidare med detta alternativ.

I FoU-program 89 anges som målsättning att "kunna välja buffert- och återfyllningsmateriäl vid 1990-talets mitt med angivande av egenskaper av betydelse för slutförvarsfunktionen". Målsättningen är vagt formulerad och säger ingenting om ambitionsnivåerna för de olika forskningsinsatserna.

SKBs forskning indikerar bl a att det föreslagna buffertmateriälet, bentonit, är långtidsstabil under de förhållanden som kan antas råda i ett slutförvar. Nuvarande kunskapsläge tyder vidare på att eventuella mineralomvandlingar i buffertmateriälet endast torde kunna ske i så begränsad omfattning att deras betydelse för barriärfunktionen kan försummas i ett slutförvar. Inspektionen konstaterar att merparten av SKBs laboratorieförsök utförs under oxiderande förhållanden. I de fall då redoxförhållandena kan förväntas inverka på försöksresultaten, bör försöken även utföras vid sådana förhållanden som normalt förekommer i reducerande grundvatten på 500 m djup. Inspektionen finner vidare att SKBs laboratorieresultat inte alltid på ett användningsfritt sätt kan extrapoleras till fältskala och till tidrymder som är aktuella i ett slutförvar.

## Kemi

Enligt inspektionens uppfattning fyller SKBs program avseende kompilering och framtagning av termodynamiska data för radionukliderna högt ställda krav. Exempel på frågor som kan behöva lyftas fram mer än tidigare är dock behovet av data för högre temperaturer och för jämvikter i systemet sexvärt uran/silikat.

SKI ser SKBs program med att ta fram mer avancerade submodeller för sorption och diffusion av radionuklider som lovande. Den ökade förståelse som därigenom bör kunna erhållas kommer att vara av stor betydelse för både planering och uttolkning av experiment i olika skalor, och för att på ett korrekt sätt kunna utnyttja platsspecifik information i säkerhetsanalysen.

Inspektionen vill också göra SKB uppmärksam på att redoxkapaciteten hos både naturliga och bearbetade material i närområdet kan behöva bestämmas med tillförlitligare metoder än de som hittills kommit till användning.

SKBs geokemiska analyser av sprickfyllnadsmineralens kemiska egenskaper ger en uppfattning om systemet berg/sprickmineral/grundvatten. Då grundvatten rinner längs en bergsspricka innehållande flera mineral, varierar vattenfasens kemiska sammansättning längs sprickan utan att nå någon slutlig jämvikt. SKB behöver göra ytterligare insatser för att utreda betydelsen av dessa förhållanden, t ex i samband med nuklidmigration.

Genom sitt engagemang vid utvärderingen av den naturliga analogin i Pocos de Caldas, liksom genom de planerade studierna i Cigar Lake, har SKB visat ett lovvärt intresse när det gäller att utnyttja denna möjlighet till validering av säkerhetsanalytiska begrepp och modeller. SKB understryker betydelsen av koordinering mellan olika valideringsinsatser vid den utvärdering av Pocos de Caldas som f n pågår. Inspektionen kan baserat från sina egna erfarenheter av INTRAVAL och sitt deltagande i utvärderingen av analogin i Alligator Rivers instämma med SKB om att en sådan koordinering är önskvärd. Å andra sidan synes analogin i Cigar Lake vara mera lämpad för en integrerad utvärdering, särskilt i jämförelse med svenska förhållanden. Integrerade utvärderingar av detta slag kan vara av stort värde för validering av ett totalt system för säkerhetsanalys. Detta förringar inte på något sätt det arbete som nedlagts vid Pocos de Caldas, vilket bl a givit värdefull kunskap om mekanismerna bakom utbildningen av en redoxfront och transport med kolloider.



## Rivning av kärnkraftverk

SKI har inga invändningar mot den planering för rivning som SKB redovisat eller på inriktningen av FoU-programmet. SKI anser det angeläget att SKB följer projekt av betydelse i utlandet och att det därvid är en stor fördel att det erfarenhetsutbyte som pågår t ex inom OECD/NEA får fortsätta.

## SKIs SLUTSATSER

SKIs bedömning av SKBs FoU-program är att det har rätt inriktning och ger förutsättningar för att kunna nå de uppsatta målen med given tidplan men vill samtidigt betona att kraftfulla forskningsinsatser behövs inom flera delområden. Stora krav kommer att ställas på SKBs förmåga att integrera olika verksamheter som forskning, platsundersökningar och säkerhetsanalyser. SKI har i sin granskning redovisat kommentarer och synpunkter som SKB behöver ta hänsyn till vid genomförandet av FoU-programmet.

## STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION

Lars Högberg

Sören Norrby

## *GRANSKNING AV*

### *SKBs FoU-Program 89*

---

*Följande personer inom kärnavfallsenheten vid statens kärnkraftinspektion har ansvarat för framtagningen av granskningspromemorian:*

*Sören Norrby (projektledare)*

*Johan Andersson*

*Kjell Andersson*

*Torbjörn Carlsson*

*Fritz Kautsky*

*Benny Sundström*

*Stig Wingefors*

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	BAKGRUND	1
2	LOKALISERING AV SLUTFÖRVAR FÖR ANVÄNT BRÄNSLE OCH ÖVRIGT LÅNGLIVAT AVFALL	3
2.1	Allmänt	3
2.2	Det geologiska underlaget	5
3	SÄKERHETSANALYS	7
3.1	Allmänt	7
3.2	Acceptanskriterier och scenarier	8
3.3	Modeller och kunskapsbas	10
3.4	Kvalitetskrav och kvalitetskontroll	12
3.5	Säkerhetsanalysens roll i FoU-programmet	13
4	UTFORMNING AV FÖRVAR	15
5	TEKNISKA BARRIÄRER	17
5.1	Avfallsformer	17
5.2	Kapsel	20
5.3	Buffert och återfyllning	22
6	BERGETS EGENSKAPER	25
6.1	Allmänt	25
6.2	Undersökning av berg	26
6.3	Bergets grundvattenrörelser	31
6.4	Bergets stabilitet	38
7	KEMI	42
7.1	Grundvattenkemi och geokemi	42
7.2	Radionuklidkemi	42
7.3	Kemisk transport - validering av transportmodeller	45
8	METOD OCH INSTRUMENTUTVECKLING	48
8.1	Allmänt	48
8.2	Ytundersökningar	48
8.3	Undersökningar i borrhål	48
8.4	Observationer i och från tunnlar	51
9	UNDERJORDISKT BERGLABORATORIUM	52
9.1	Allmänna synpunkter	52
9.2	Lokalisering	53
9.3	Datainsamling	53
9.4	Tidplan	54
9.5	Redovisning och "peer review"	55
10	STRIPA PROJEKTET	56
11	NATURLIGA ANALOGIER	57
12	BIOSFÄRSSTUDIER	57
13	RIVNING AV KÄRNKRAFTVERK	59
14	INTERNATIONELLT SAMARBETE	61

1990-02-01

## GRANSKNING AV SKBs FoU-PROGRAM 89

### 1 BAKGRUND

Det svenska kärnkraftprogrammet ger upphov till dels låg- och medelaktivt driftavfall och dels använt kärnbränsle och högaktivt avfall.

För driftavfallet existerar redan system för behandling och lagring vid kärnkraftverken samt transport och slutförvaring i slutförvaret för radioaktivt avfall, SFR, i Forsmark. Vid vissa kärnkraftverk finns också markdeponeringsanläggningar där mycket lågaktivt avfall kan slutförvaras.

Använt kärnbränsle från driften av de svenska reaktorerna samt förbrukade hårdkomponenter förvaras i ett centralt lager för använt kärnbränsle, CLAB, i Simpevarp.

Vid avveckling och rivning av kärnkraftverk uppstår avfall som måste tas omhand. Enligt SKBs planer skall en stor del av detta avfall förvaras i SFR efter det att anläggningen byggts ut. För att detta skall kunna förverkligas behövs regeringens tillstånd.

Utöver avfall från driften av kärnkraftverken finns även annat radioaktivt avfall som behöver tas omhand. Avfall uppstår t ex i Studsviks verksamhet bl a vid driften av R2-reaktorn. Studsvik tar också hand om radioaktivt avfall från sjukhus och forskningsinstitutioner mm i Sverige. Även detta avfall är planerat att slutförvaras i SFR.

Avfallsmängderna från det svenska kärnkraftprogrammet har prognostiserats och redovisats av SKB. Mängderna kan påverkas av hur länge reaktorerna är i drift.

Den stora uppgift som återstår är att vidta åtgärder för slutförvaringen av det använda kärnbränslet. Anläggningen, slutförvar för långlivat avfall (SFL), skall enligt tidplanen börja byggas 2010. Det är i huvudsak frågor i anslutning till detta slutförvar som ingår i SKBs FoU-program.

Olika slutförvaringsprinciper för det använda kärnbränslet som har diskuterats redovisas av SKB. SKB anför att begreppet slutförvaring får anses innebära att avfallet skall förvaras utan krav på tillsyn och på ett sätt som gör det svårt eller omöjligt att komma åt.

Övervakad lagring kan, om så önskas, utsträckas till att omfatta mycket lång tid. Förr eller senare måste dock avfallet överföras till ett förvar utan tillsyn och förvaret tillslutas. På senare tid har diskuterats principen att slutförvaringsmetoden inte bör omöjliggöra ingrepp och korrigerande åtgärder om t ex framtida kunskaper skulle motivera detta.

De principer för slutförvaring som förekommit i internationella diskussioner är:

- placering på stort djup i kontinentala geologiska formationer
- placering i ytliga jord- eller berglager
- placering under havsbotten i djuphavssediment
- dumpning i havet
- placering i eller under större inlandsis (t ex Antarktis)
- utskjutning i rymden (alternativt solen)

SKBs FoU-program har inriktats mot slutförvaring av det använda kärnbränslet på stort djup i svensk berggrund. Den sk KBS-3 metoden utgör exempel på detta.

SKB redovisar i den allmänna delen av FoU-programmet en översiktlig tidplan för FoU-verksamhet, utformning och lokalisering av slutförvar för använt bränsle.

## 2 LOKALISERING AV SLUTFÖRVAR FÖR ANVÄNT BRÄNSLE OCH ÖVRIGT LÅNGLIVAT AVFALL

### 2.1 Allmänt

En "platsvalsgrupp" under ledning av SKN har föreslagit en procedur för successivt urval av möjliga platser för ett slutförvar genom en geologiskt baserad sållningsprocedur i tre skeden - provskedet, urvalsskedet och tillståndsskedet.

SKB anger att efter noggrant övervägande har SKB funnit att det inte i alla delar är lämpligt att följa den av SKN föreslagna proceduren eftersom den i onödan skulle kunna leda till besvärliga och utdragna politiska debatter i många kommuner genom att ett relativt stort antal kommuner skulle behöva reservera mark i områden som enligt den föreslagna proceduren sällas fram.

SKB framhåller att det finns många platser i Sverige som från geologisk synpunkt är lämpliga för lokalisering av ett slutförvar. SKB anser också att det är tveksamt om man med rimliga insatser kan peka ut den i alla avseende lämpligaste platsen. Detta är heller inte nödvändigt. Det är tillräckligt att finna en plats som har sådana egenskaper hos berget och förhållandena i övrigt att högt ställda krav på säkerhet och strålskydd kan tillgodoses. SKI har inga invändningar mot detta resonemang.

De faktorer som påverkar lokaliseringen av ett slutförvar kan indelas i fyra grupper:

- I Geologi, topografi, geohydrologi, geokemi
- II Biosfär, recipienter
- III Transporter, bebyggelse, militära intressen, naturskydd mm
- IV Markägare, opinion

De grundläggande kraven återfinns i grupp I och II därefter söker man enligt SKB en optimal lösning av förhållandena enligt grupp III och IV.

Fram till 1991 kommer SKB att avsluta den inventering av tänkbara områden som pågått sedan länge. Under 1991 planeras också en ny säkerhetsanalys, kallad SKB 91, bli klar. I denna analys skall på ett systematiskt sätt betydelsen av variationer av de geologiska förutsättningarna studeras. Under 1992 avser SKB sedan att offentliggöra tre platser som SKB anser vara lämpliga kandidater för lokalisering av slutförvaret. Under 1992-94 kommer sedan förundersökningar att genomföras på de tre platserna. SKB 91 kompletteras enligt SKB så att underlag erhålls för en preliminär bedömning av den långsiktiga säkerheten för ett slutförvar lokaliserat till endera av de tre platserna.

SKI vill här framföra sin synpunkt att redovisningen av de tre kandidatplatserna måste innehålla platsspecifika säkerhetsanalyser baserade på resultaten från förundersökningarna. En säkerhetsanalys i form av en variation av SKB 91 kan inte vara tillfyllest, t ex för SKIs ställningstagande avseende krav som skall ställas på fortsatta platsundersökningar och säkerhetsanalyser.

Under 1994 upprättas ett generellt program för detaljundersökningar av kandidatplatserna. Undersökningsresultat, program för detaljundersökningar, preliminär säkerhetsbedömning samt sk miljöeffektbeskrivningar redovisas till i första hand SKN, länsstyrelse och kommun. Enligt SKB kan SKI, SSI och andra remissorgan väntas komma in som remissinstanser till de nämnda myndigheterna. Efter en granskningstid på ca 18 månader förväntas erforderliga godkännanden och tillstånd för detaljundersökningar föreligga i början av 1996. Sådana undersökningar påbörjas då på en plats och på en andra plats under 1997.

Som säkerhetsmyndighet med ett huvudansvar för den kommande granskningen av ett slutförvar på den plats som till sist väljs kommer SKI helt naturligt att behöva ägna avsevärd tid och resurser åt att granska redovisningen för de tre kandidatplatserna och senare också detaljundersökningarna av två av platserna. Om det till exempel visar sig att någon av platserna är avsevärt underlägsen de övriga från säkerhetssynpunkt bör SKI påtala detta.

SKI har som säkerhetsmyndighet också en uppgift att ge anvisningar för den redovisning som behöver inges i samband med en ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen för slutförvaret. SKI avser att redan i anslutning till platsvalsprocessen meddela sådana anvisningar i preliminär form. Dessa anvisningar kan t ex ange hur data från platsundersökningar skall redovisas och detta kan komma att påverka metodik och omfattning av platsundersökningarna.

SKB anger vidare i FoU-programmet att den principiella utformningen av slutförvarssystemet måste beslutas 1995. Under 1995-98 görs sedan erforderliga kompletteringar för de olika barriärerna i slutförvarssystemet. SKB avser sedan att genomföra en optimering av slutförvaret till den plats som väljs. Platsvalet sker år 2001 då en ansökan enligt Naturresurslagen och Kärntekniklagen börjar förberedas. Ansökan som innehåller en preliminär säkerhetsanalys inges sedan år 2003. Efter en provotid på tre år skulle regeringen kunna godkänna lokaliseringsplatsen år 2006.

SKI vill erinra om de långa tidsperspektiven och de stora osäkerheter som därmed finns och vill ifrågasätta om en optimering i vanlig mening kan göras. Under alla omständigheter är det enligt SKIs uppfattning väsent-

ligt att osäkerheter belyses och diskuteras i "optimeringsprocessen".

Efter godkännandet av en lokaliseringsplats skall, enligt SKB, en uppdatering av den preliminära säkerhetsrapporten göras. Rapporten skall vara klar 2008 och utgöra grund för SKIs godkännande av byggstart 2010.

SKB har i ett särskilt avsnitt angivit en plan för myndighetsredovisning. SKI vill framföra följande synpunkter:

SKI har som säkerhetsmyndighet huvudansvaret för granskningen av SKBs redovisning i samband med ansökan enligt kärntekniklagen om tillstånd att uppföra slutförvaret. Det är självklart mycket väsentligt att den säkerhetsredovisning som SKB i detta sammanhang kommer att behöva utarbeta fyller högt ställda krav. SKI kommer att behöva utarbeta anvisningar (riktlinjer) för denna redovisning.

Även långt tidigare i samband med genomförande av platsundersökningar och redovisning av resultaten från dessa undersökningar (förundersökningar och detaljundersökningar) kommer SKI att behöva ge riktlinjer för redovisningen. Syftet med SKIs engagemang i dessa frågor är att tillse att underlaget för en kommande ansökan enligt kärntekniklagen kan få tillräcklig omfattning och detaljeringsgrad vad gäller såväl den vetenskapliga kunskapsbasen som redovisning av förvarets och förvarsområdets alla egenskaper av betydelse för säkerheten. Den tid som SKB anger bör avsättas för myndighetsgranskningen inrymmer inga stora marginaler och det är också därför viktigt att det material som skall granskas redan från början uppfyller de krav som myndigheterna kan ställa. Stora förseningar i SKIs granskning kan nämligen uppstå om omfattande kompletteringar visar sig behövas.

SKI avser att i viss utsträckning följa undersökningarna på de aktuella platserna. En sådan uppföljning på plats kan underlätta den säkerhetsgranskning som SKI i olika skeden behöver genomföra.

SKI vill framhålla att det är nödvändigt att SKB redan från början planerar för att den redovisning som i olika skeden behöver redovisas för SKI har den kvalitet som behövs. Kraven på dokumentation av geodata, modeller mm bör ställas mycket högt.

## 2.2 Det geologiska underlaget

SKBs hittills utförda platsundersökningar har genomförts på land (undantag SFR). SKB aviserar nu möjligheten att lokalisera ett förvar under Östersjön med de till denna lokalisering knutna säkerhetsmässiga



fördelarna. Exempelvis kan nämnas definierad gradient för grundvattenströmningen, låg grundvattenomsättning samt senareläggning av ett brunnsscenario. SKB planerar således att för kustnära kandidatplatser sammanställa geologiskt underlag för området från land och ca 10 km ut från kusten.

Ur den mycket allmänt hållna skrivningen i FoU 89 framgår inte hur SKB ämnar gå till väga och vilken ambitionsnivå som är uppsatt. De erfarenheter SKI haft i samband med lokaliseringen av SFR samt berglaboratoriet tyder på att mycket av metodikutvecklingen återstår för att kunna karakterisera en plats under havet med samma detaljeringsgrad som en landbaserad förvarsplats. SKI ställer sig även frågande till att SKB endast ämnar sammanställa geologiskt underlag ut till ca 10 km ifrån kusten. Informationen ifrån kustnära kandidatplatser bör enligt SKIs åsikt omfatta samma volym som ett landbaserat, dvs en god kunskap och förståelse om den regionala och lokala geologin och tektoniken förutsätts åtminstone omfatta 50 km beroende på platsspecifika förhållanden.

SKB hänvisar till att vissa studier genomförts i avsikt att bredda det geologiska underlaget inför valet av kandidatplatser. Sveriges morfologi, berggrund och tektonik har liksom omgivande havsområden i södra Sverige sammanställts översiktligt. Det framgår inte av FoU 89 hur denna sammanställda kunskap skall användas i SKBs fortsatta arbete. Dylika sammanställningar har ett begränsat värde om de inte kopplas till en mer detaljerad regional och lokal skala. SKI utgår ifrån att detta kommer att ske.

Inspektionen instämmer i SKBs syn att schaktsänkning eller tunneldrivning med syftet att ge en detaljerad beskrivning av berget på förvarsdjup kan påverka platsens lokala förhållanden. Hur olika sådana påtvingade störningar påverkar möjligheterna till en adekvat platskarakterisering måste klarläggas. Enligt SKB ska SKB 91 och förundersökningarna leverera det mesta underlaget till en sådan bedömning. Inspektionen ställer sig tveksam till om detta räcker.

Berglaboratoriet bör här kunna spela en stor och viktig roll. Detta innebär dock att denna fråga bör tas upp och analyseras redan nu i förundersökningsskedet för att kunna utnyttjas maximalt. Detta synes även vara i linje med ett av målen för berglaboratoriet.

### 3 SÄKERHETSANALYS

#### 3.1 Allmänt

Säkerhetsanalysens primära uppgift är att ge kvantitativa mått på säkerheten hos förslag till slutförvar. En tillståndsansökan från SKB för ett slutförvar för använt kärnbränsle och högaktivt avfall måste således komma att bygga på en säkerhetsanalys som sammanfattar all tillgänglig kunskap om slutförvarssystemet och ger kvantitativa mått på säkerheten som kan jämföras med av myndigheterna uppställda kriterier. Även de beslut som skall fattas under 1990-talet vad gäller val av metod och plats för slutförvaringen måste ha successivt uppdaterade säkerhetsanalyser som en del av beslutsunderlaget.

Det är ytterst angeläget att säkerhetsmyndigheterna kan utöva en kvalificerad kontroll av de redovisningar som kommer från SKB. Detta medför att man måste bygga upp till stora delar från SKB oberoende resurser för säkerhetsanalyser. Det primära ansvaret för säkerhetsanalysen vilar dock på SKB.

Säkerhetsanalysens andra roll i slutförvarsprogrammet är att ge vägledning för forsknings- och utvecklingsinsatserna i sin helhet. Genom integrerade säkerhetsanalyser som beskriver hela slutförvarssystemet kan man identifiera de forsknings- och utvecklingsinsatser som har störst säkerhetsmässig betydelse. Detta innebär samtidigt att man kan sortera ut sådana frågor som i och för sig kan ha stort vetenskapligt intresse men som endast har sekundär betydelse för säkerheten. KBS-3 projektet och dess granskning utgör ett bra exempel på en sådan integrerad säkerhetsanalys vars resultat har haft stor inverkan på det fortsatta FoU-programmet. Den säkerhetsanalys som SKB nu skall genomföra, SKB 91, bör få motsvarande betydelse. Det är ytterst angeläget att fortsatta avstämningar med säkerhetsanalyser genomförs i anslutning till viktiga beslutspunkter under 1990-talet.

Den största delen av den forskning som finansieras av SKB genomförs av externa forskare och konsulter. När det gäller säkerhetsanalysen har SKB genom nyrekryteringar sedan det förra FoU-programmet förstärkt sina interna resurser. Genom säkerhetsanalysens centrala roll i slutförvarsprogrammet är det mycket viktigt att arbetet får en stark ledning av SKBs egen personal. SKI anser därför denna SKBs förstärkning av sin egen kapacitet var ytterst värdefull. SKB har även på annat förstärkt sina resurser för säkerhetsanalysen. Således har man avsevärt utökat sina beräkningsmöjligheter med anskaffandet av en minisuperdator CONVEX.

Även detta bör bidra till att ge SKB goda förutsättningar för framtida säkerhetsanalyser.

### 3.2 Acceptanskriterier och scenarier

#### Acceptanskriterier

Kärnkraftinspektionen och strålskyddsinstitutet bedriver ett relativt omfattande arbete med kriterier och riktlinjer för slutförvaring. Sålunda har en rapport från de nordiska säkerhets- och strålskyddsmyndigheterna, däribland SKI och SSI, nyligen färdigställts. Vidare pågår exempelvis ett samarbete mellan SKI, SSI och den schweiziska myndigheten HSK på området. SKI avser att efter avslutandet av Projekt-90 utfärda en första utgåva av riktlinjer till SKB gällande det underlag som kommer att behövas för kommande säkerhetsgranskningar av SKBs redovisningar. Senare under 1990-talet kommer mera detaljerade riktlinjer att behöva utarbetas.

Som SKB konstaterar i FoU-programmet kommer de riktlinjer och kriterier som tas fram av myndigheterna att få konsekvenser för SKBs program, särskilt för det tekniskt-vetenskapliga underlaget och den redovisning av egenskaper hos förvar och förvarsplats som skall ligga till grund för säkerhetsanalyserna. SKIs riktlinjer skall även omfatta krav på SKBs dokumentation av platsundersökningar, data som används i analyserna, modeller och beräkningars genomförande.

#### Scenarier

Valet av scenarier är av grundläggande betydelse för säkerhetsanalysens uppläggning och därmed för relevansen av dess resultat. Det är angeläget att scenarievalet kan grundas på en systematisk metodik och att det på ett överskådligt sätt görs tillgängligt för allmänhet och beslutsfattare. Scenarievalet är också starkt kopplat till utvecklingen av acceptanskriterier för slutförvar framför allt genom att båda aktiviteterna aktualiserar frågan hur olika tidsperspektiv skall behandlas i säkerhetsanalysen.

SKI uppmärksammade i granskningen av 1986 års FoU-program dels scenarievalets grundläggande betydelse och dels pågående myndighetsarbeten med acceptanskriterier. Vad gäller scenarier stödde SKI den uppfattning som framförts av SKB att arbetet bör bedrivas i viss samordning med det internationella samarbete som initierats av OECD/NEA.

Under den treårsperiod som förflutit sedan det förra FoU-programmet har avsevärda framsteg gjorts på det internationella planet. Sålunda har en arbetsgrupp inom OECD/NEA genomfört en systematisk genomgång av de

metoder som används för framtagande av scenarier för säkerhetsanalysen. Arbetet, som kan förväntas ge en god bild av utvecklingsläget och även uppnå en internationellt förankrad beskrivning av olika metoders tillämpbarhet, kommer inom en nära framtid att resultera i en rapport utgiven av NEA. OECD/NEA har också genom en workshop som arrangerades under 1989 bidragit till att utveckla ett strukturerat angreppssätt till problematiken kring mänskligt intrång i slutförvar.

SKI och SKB har under 1988 och 1989 genomfört ett gemensamt projekt för att pröva en metodik för scenarieutveckling, den s.k. Sandia-metoden. Även om projektet har visat på vissa begränsningar i tillämpningar av den aktuella metoden har det ökat tilltron till att framtida säkerhetsanalyser kommer att kunna vila på väl förankrade scenarier. Ett betydelsefullt resultat är också den väl genomförda dokumentationen av alla steg i arbetet vilken kommer att vara av stort värde för den fortsatta scenarieutvecklingen hos SKB och SKI liksom för allmänhetens insyn i denna grundläggande del av säkerhetsanalysen.

Det nu genomförda samarbetsprojektet mellan SKI och SKB har haft som ett syfte att utveckla en gemensam kunskapsbas för det framtida arbetet inom de båda organisationerna var för sig. Det har också bidragit till att ge svenskt underlag till den ovan nämnda OECD/NEA arbetsgruppen. Ett annat syfte har varit att genom dokumentationen ta fram en bas för det arbete som skall genomföras under 1990-talet vilket måste komma att omfatta breda grupper i samhället (se nedan). SKI och SKB kommer nu också oberoende av varandra att inom ramen för respektive säkerhetsanalysprojekt Projekt-90 och SKB 91 utnyttja resultaten av det genomförda projektet genom att genomföra konsekvensanalyser på scenarier som tagits fram.

Genom kopplingen till acceptanskriterier och genom nödvändigheten att involvera breda samhällsgrupper i arbetet under 1990-talet är scenarieutvecklingen ett område som SKB inte kan ta fullt ansvar för på samma sätt som för andra delar av säkerhetsanalysen. Det fortsatta arbetet inom området bör totalt sett ha tre huvudsyften:

1. att fortsätta den metodikutveckling som påbörjats med SKI-SKB projektet och vidareutveckla den kunskapsbas som tagits fram,
2. att i god tid före en platsansökan från SKB fastställa de scenarier som skall analyseras i säkerhetsanalysen,
3. att informera om scenariearbetets metodik och innehåll för breda grupper i samhället.

SKI överväger f n om en säkerhetsredovisning för metod och plats för slutförvar skulle kunna byggas upp efter liknande principer som inom reaktorsäkerhetsområdet. Det skulle innebära att för en viss grupp relativt sannolika scenarier (händelseförlopp) skall säkerhetsanalysen kunna visa att förvaret leder till mycket låga utläckage av ämnen av radiologisk betydelse. För en annan grupp scenarier med lägre sannolikhet skulle det kunna godtas att säkerhetsanalysen visar på högre utläckage, dock ej så stora att man kan tala om en radiologisk olycka i området. Scenarier med extremt låg sannolikhet skulle ej behöva beaktas. Erfarenheter från reaktorsäkerhetsområdet visar att lämpligt valda och grupperade scenarier kan fungera väl som styrinstrument i det praktiska konstruktions- och säkerhetsanalyset. Urvalet av scenarier för säkerhetsanalys av slutförvar måste bli en central fråga i dialogen mellan tillsynsmyndigheterna och SKB. Urvalet av scenarier måste också kunna förklaras, försvaras och förankras utanför en snäv krets experter inför de beslut som skall tas på politisk nivå om val av plats och metod för slutförvaret.

SKI avser sålunda att under 1990 ta initiativ till ett brett upplagt scenariearbete med deltagande från breda grupper av experter och från allmänhet och politiska beslutsfattare. Avsikten med detta initiativ är dels att påbörja processen med att ta fram scenarier av olika typ enligt ovan och dels att inleda en bred dialog om säkerhetsanalysens grunder inför kommande beslutssituationer.

Även om SKI således planerar ett program för scenarieprojekt under 1990-talet med ovan angivna syften är det SKIs mening att det program för scenarieutveckling med bl.a. SKB 91 som SKB föreslår bör genomföras som föreslagits. Även de säkerhetsanalyser som skall ge underlag för platsurvalet vid 1990-talets mitt behöver grundas på scenarier som SKB tagit fram. Som SKB dock påpekar i FoU-programmet är SKBs fortsatta scenariearbete delvis avhängigt av myndigheternas arbete med acceptanskriterier men också av de här angivna SKI-aktiviteterna.

### 3.3 Modeller och kunskapsbas

Säkerhetsanalysens metod är att genom modellberäkningar inom ramen för de scenarier som valts ge kvantitativa mått på säkerheten hos den föreslagna slutförvarslösningen. Modellernas vetenskapliga kunskapsbas är helt avgörande för resultatens tillförlitlighet. Man måste därför ha god förståelse för de processer i tekniska barriärer, förvarets närområde och i geosfären som är av betydelse för förvarets säkerhetsmässiga funktion.

Inspektionens synpunkter på SKBs forskningsplaner vad gäller olika delområden av betydelse för säkerhetsanalysen återfinns under respektive avsnitt i denna rapport. Det kan konstateras att fortsatta kraftfulla forskningsinsatser kommer att behövas inom flera delområden under 1990-talet för att ge säkerhetsanalysen den kunskapsbas som behövs inför en tillståndsansökan. Ett exempel på ett område av stor betydelse för säkerhetsanalysen med stora kvarvarande forskningsbehov är grundvattenströmning och radionuklidtransport i kristallint berg. Den modellmässiga beskrivningen av det s.k. närområdet kring ett slutförvar behöver också vidareutvecklas. Ytterligare ett exempel på ett viktigt forskningsområde är s.k. kopplade processer, d.v.s. samverkan mellan bergmassans spänningstillstånd, temperaturvariationer och strömningsförhållanden.

Modellvalidering, d.v.s. säkerställandet att man har eller utvecklar säkerhetsanalytiska modeller som tillfredsställande beskriver verkliga förlopp, kan sägas utgöra själva kärnpunkten i slutförvarsforskningen. Valideringsbehoven omfattar i princip hela slutförvarssystemet och innefattar utveckling och kontroll av modeller samt det experimentella arbete som möjliggör sådan kontroll. En viktig aspekt är att olika experiment och studier av naturliga analogier måste komplettera varandra så att resultat i liten experimentell skala (i tid och rum) inte felaktigt extrapoleras i säkerhetsanalysen.

Eftersom många av de förlopp som behöver studeras är komplicerade och bl.a. kan kräva kostsamma experimentella insatser är det nödvändigt att koncentrera insatserna på de ur säkerhetssynpunkt viktigaste frågorna. Detta kräver en genomarbetad strategi som stäms av mot slutförvarsprogrammets allmänna tidplan.

SKI saknar en sådan sammanhållen valideringsstrategi i SKBs forskningsprogram. Självfallet utgörs stora delar av programmet av insatser som kan sägas vara validering. Exempelvis är ett av huvudmålen för berglaboratoriet just validering av geosfärsmodeller. Det är emellertid en brist att enskilda experiment i berglaboratoriet eller på andra platser inte logiskt härleds från en strategisk plan. SKB deltar i INTRAVAL-projektet. Det måste emellertid stå klart att INTRAVAL inte automatiskt leder till validerade geosfärsmodeller utan endast tillhandahåller ett i och för sig nödvändigt forum för internationellt utbyte på området. SKI finner det ytterst angeläget att SKB utarbetar en valideringsstrategi där olika experimentella och modellmässiga insatser avstäms mot säkerhetsanalysens behov vid bestämda tidpunkter fram till en tillståndsansökan för SFL.

SKB utvecklar ett modellsystem, PROPER, för probabilistiska beräkningar som bl.a. avses användas i SKB 91. SKIs uppfattning från förra FoU-granskningen att probabilistiska beräkningar bör ha en viktig funktion i kommande säkerhetsanalyser men att deras roll ännu inte är helt klarlagd, bla med hänsyn till den begränsade tillgången till ingångsdata, kvarstår. SKB 91 bör utgöra ett utmärkt tillfälle att utvärdera metodiken och att klargöra hur den kan tillämpas för systematiska variationsanalyser för att utvärdera betydelsen av osäkerheter i data och variationen av strömnings- och transportegenskaper inom ett slutförvarsområde. I 1992 års FoU-program bör det därför vara möjligt för SKB att närmare beskriva hur PROPER skall användas i samband med platsurvalet.

Under tiden som de mer detaljerade deterministiska modellerna för skilda delar av slutförvarssystemet är under utveckling, delvis med alternativa modeller som reflekterar kunskapsmässiga osäkerheter, är det angeläget att utvecklingen av PROPER tillåter stor flexibilitet med avseende på undermodellerna. Användning av alternativa undermodeller i PROPER-systemet bör också kunna bidra till att belysa betydelsen av dessa kunskapsmässiga osäkerheter. Undermodellernas relevans måste också styrkas genom jämförelser med deterministiska mer komplicerade modeller.

Om probabilistiska modeller kommer att spela en väsentlig roll i framtida säkerhetsanalyser bör detta få en effekt på de data som behövs från skilda delar av FoU-programmet, t.ex. platsundersökningar. Även denna aspekt bör kunna belysas i SKB 91.

### 3.4 Kvalitetskrav och kvalitetskontroll

SKB avser att under 1990-1992 genomföra en systematisk genomgång för att etablera QA-riktlinjer för hantering, lagring och dokumentation av data och programmering av datorprogram. SKI anser denna verksamhet vara av yttersta vikt för den långsiktiga verksamhet som SKB bedriver, bla med hänsyn till kommande granskningar av säkerhetsmyndigheterna som delvis kommer att ligga långt fram i tiden.

Utarbetande av QA-riktlinjer måste balansera mellan olika intressen. Det är således nödvändigt för säkerhetsmyndigheterna att kunna följa alla stegen i SKBs säkerhetsanalyser. Även oberoende av myndighetsgranskningen torde SKB ha ett eget intresse av tillförlitlig dokumentation, inte minst med hänsyn till slutförvarsprogrammets genomförande som tar lång tid och som omfattar ett komplext system av sammanhängande delar. Dessa synpunkter måste balanseras mot intresset hos forskarna att inte bindas upp av allför omfattande och rutinartade procedurer som kan hämma en vetenskapligt

kreativ miljö.

Dokumentation ingår som en del av de riktlinjer som SKI avser att utarbeta för SKBs säkerhetsredovisningar. Det är därför naturligt att SKBs genomgång resulterar i förslag till QA-riktlinjer som SKI sedan kan ta ställning till. Inom vissa delområden kan SKI komma att ta initiativ till preliminära riktlinjer. Sålunda har SKI redan givit preliminära anvisningar för dokumentation av hydrologiberäkningar framtagna efter SKIs granskning av SKBs säkerhetsrapport för SFR. Detta visar också på nödvändigheten av att komplettera de områden som SKB föreslår för QA-riktlinjer med att även omfatta modellberäkningar med exempelvis kopplingar mellan olika beräkningssteg, indatafiler etc.

#### Platsspecifika databaser

I den av SKB upprättade databasen GEOTAB finns data från SKBs samtliga platsundersökningar inlagda. Däremot saknas exempelvis data ifrån Stripa-försöken. Detta är en brist speciellt med tanke på den höga datakvaliteten på Stripa data. Enligt SKB kommer databaser för möjliga slutförvarsplatser att byggas upp vartefter kompletteringar eller nya platsundersökningar utförs. Detta är en mycket viktig kunskapsbank som bör göras lättillgänglig för forskarsamhället och granskande myndigheter.

SKI har utfört en utvärdering med statistisk inriktning av geohydrologiska data ifrån GEOTAB. Resultaten ifrån detta arbete indikerar enligt SKIs åsikt en ej utnyttjad kunskapsbank som kan ge betydande bidrag i förståelsen och tolkningen av platsspecifika data. SKB bör överväga att utnyttja befintliga och kommande databaser ytterligare och i högre grad än i dag.

#### 3.5 Säkerhetsanalysens roll i FoU-programmet

SKI betonade i sitt yttrande över FoU-program-86 betydelsen av sammanhållna säkerhetsanalyser för slutförvarsprogrammets genomförande med metodval och platsurval. SKI menade också att säkerhetsanalyser av tänkta slutförvar på aktuella platsområden bör göras i anslutning till 1992 års FoU-program.

I det FoU-program som nu föreligger ingår SKB 91 som en fullständig säkerhetsanalys för en förvarsutformning som nära ansluter sig till KBS-3. Variationsanalyser av hur olika geologiska förhållanden påverkar resultatet av säkerhetsanalysen skall göras.

En viktig fråga är hur säkerhetsanalyser skall användas i samband med platsurvalet. SKB avser enligt FoU-programmet att till 1994 genomföra platsspecifika kompletteringar av SKB 91 för de kandidatplatser som



anges i början av 1992.

SKI ser positivt på SKBs beslut att genomföra SKB 91. Projektet ger för första gången sedan KBS-3 SKB ett tillfälle att genom en integrerad säkerhetsanalys stämma av sitt FoU-program. Det är enligt SKIs mening viktigt att se SKB 91 inte bara som en förberedelse för platsurvalet utan också som en avstämning av kunskapsläget inom olika områden av betydelse. Betydelsen av kvarstående osäkerheter, särskilt av grundläggande kunskapsmässig natur, bör undersökas. Projektet bör alltså kunna utgöra en viktig komponent i den valideringsstrategi som SKI efterlyser.

Vad gäller säkerhetsanalysens roll i platsurvalet anser SKI det vara nödvändigt att SKB har platsspecifika säkerhetsanalyser som underlag för det beslut som SKB ämnar föreslå för myndigheterna 1994. Dessa analyser bör således utnyttja de data som tas fram i förundersökningarna. SKI anser platsspecifika säkerhetsanalyser vara helt nödvändiga för ställningstagande till om de föreslagna platserna skall kunna bedömas som möjliga ur säkerhetssynpunkt. SKI förutser vidare att efter granskning av underlaget för platsurval kunna ge synpunkter på hur de fortsatta platsundersökningarna skall kunna ge nödvändigt underlag för SKBs platsansökan. Det är också SKIs uppfattning att platsundersökningsprogrammet i alla faser skall utformas så att det ger för säkerhetsanalysen relevant underlag och så att det efter hand kan påverkas av säkerhetsanalysens resultat.

SKI framförde i sitt utlåtande över 1986 års FoU-program synpunkten att WP-Cave konceptet borde bli föremål för en ingående säkerhetsanalys. Detta har nu gjorts av SKB som en del av en total utvärdering av WP-Cave. SKB avser nu att utvärdera andra alternativ till den traditionella KBS-3 metoden som tunnlar under havsbotten och djupa borrhål. SKI vill även i detta sammanhang framhålla betydelsen av ingående säkerhetsanalyser för utvärdering av alternativa slutförvarslösningar.

#### 4 UTFORMNING AV FÖRVAR

SKBs mål är att vid mitten av 1990-talet kunna välja principiell slutförvarsutformning. Sedan 1986 års FoU-plan har i jämförelse med KBS-3 två principiellt olika slutförvarsalternativ studerats. Dessa är WP Cave och djupa borrhål.

En jämförelse mellan KBS-3 och WP Cave har utförts. Båda koncepten bedöms kunna ge acceptabel säkerhet. Ett utnyttjande av WP Cave konceptet bedömer SKB dock komma att kräva omfattande insats på modelleringsidan och i konsekvensanalysen pga de högre temperaturerna. Dessutom är kostnaderna för WP Cave väsentligt högre. SKB ämnar således inte fortsätta studierna av WP-konceptet som ett sammanhållet system. SKI har mot bakgrund av den nu genomförda säkerhetsanalysen inget att erinra mot detta.

SKB kommer däremot att fortsätta att studera ett antal i WP Cave ingående barriärer såsom t. ex. järn i kapslar och konstruktionselement samt betydelsen av preferentiella strömningsvägar. SKI kan konstatera att av FoU 89 framgår det dock inte vilken ambitionsnivå SKB har för att gå vidare.

Möjligheterna att förvara avfall i flera kilometer djupa borrhål har studerats av SKB. Preliminära resultat indikerar att denna strategi kan vara ekonomiskt gynnsam, men SKB påpekar att det i dag ännu inte finns tillräckligt med underlag som tillåter en jämförelse. Hur SKB ämnar fortsätta sina studier framgår ej. SKI efterlyser här ett mer systematiskt program. SKB anger att under 1990 en jämförande analys mellan KBS-3 metoden och djupa borrhål ska utföras.

I forskningsprogrammet nämns även principstudier av en alternativ utformning innebärande att långa deponeringstunnlar dras ut under Östersjön. Eventuellt knyts enligt SKB denna studie till den informationsbas som erhålls vid det underjordiska berglaboratoriet. Ett tillräckligt bedömningsunderlag förväntar SKB föreligger ca 1992/93. Inspektionen vill här påpeka att ett dylikt tunnelkoncept kan ge svårigheter vad gäller möjligheten till platskaraktärisering. SKB bör i samband med bedömningen av detta koncept noga analysera möjligheterna att karakterisera omgivande bergmassa till en dylikt tunnel samt för- och nackdelar gentemot KBS-3 konceptet.

SKB anger ett antal alternativ som skall granskas till 1995 till sådan nivå att egenskaper av betydelse för de detaljerade geostudierna har definierats. Bland annat nämns en eller flera kapslar i varje deponeringshål,

deponering i långa borrarade hål mellan transporttunnlar och deponering i tunnelcentrum resp i borrarade hål. Ovannämnda alternativ är alla avsteg ifrån KBS-3 konceptet. SKI utgår ifrån att om övervägande görs av SKB att välja alternativ till KBS-3 konceptet, så kommer dessa att analyseras ingående satt i förhållande till referenskonceptet. Även frågan om hur länge förvaret kan hållas öppet samt möjligheter att eventuellt återta avfall som redan har placerats i ett slutförvar bör belysas.

Lämplig utrustning för att borra deponeringshål saknas i dag. Detta gäller även erfarenheter av eventuell påverkan av borrhningen på omgivande berg av betydelse för isoleregenskaperna. Ett förslag till metod att pröva i fältskala utarbetas för närvarande av SKB för att senare prövas i berglaboratoriet. SKI kommer att följa SKBs arbete.

Frågan om utsprängningsmetoder kontra fullortsborrning av själva förvaret har berörts i olika sammanhang. SKI anser att fullortsborrningsalternativets för- och nackdelar bör utredas ordentligt inför valet av hur ett kommande slutförvar ska byggas. Berglaboratoriet bör i detta fall kunna utnyttjas för en systematisk studie under kontrollerade former av utsprängningseffekter respektive fullortsborrningen och dess påverkan på egenskaper av intresse att studera i ett slutförvar.

SKI har vid ett flertal tillfällen sedan granskningen av KBS 3 metoden framhållit vikten av att SKB undersöker hur förvarets placering på olika djup påverkar säkerheten. Det finns enligt inspektionens åsikt ännu inte något sådant tekniskt underlag som entydigt visar att just 500 m är det lämpligaste förvarsdjupet. SKI saknar i FoU 89 en systematisk utredning om alternativa förvarsdjup och dess betydelse för förvarets säkerhet. Detta är en brist eftersom SKB har satt upp som ett absolut mål att den principiella utformningen av slutförvarssystemet skall vara fastlagt 1995. SKI anser att även förvarsdjupet ska innefattas i detta. SKI har motsvarande synpunkter angående undersöknings- och förläggningsdjup för berglaboratoriet.

## 5 TEKNISKA BARRIÄRER

### 5.1 Avfallsformer

Målet inom detta område är att skaffa kunskap om mekanismer för upplösning av urandioxidbränsle och den därmed sammanhängande frigörelsen av radionuklider. En modell som beskriver dessa förlopp utgör källterm för säkerhetsanalysen och är därför av stor betydelse.

Bland faktorer som är särskilt viktiga kan nämnas:

- Strukturen hos det utbrända bränslet, dvs kemiska former och fördelning av radionuklider över komponenter och faser.
- Inverkan av yttre betingelser, såsom grundvattnets sammansättning, omgivande material och temperaturen.
- Radiolys och den därmed sammanhängande möjligheten för oxidation av bränslet.
- Lösningsskemisk termodynamik för ingående komponenter, särskilt uran.

Var och en av dessa punkter kommenteras nedan, följt av synpunkter på modellutveckling.

#### Bränslets struktur

Radionukliderna i bränslet kan sägas vara fördelade i huvudsak mellan spalter, sprickor, korngränser och matrisen av urandioxid. Kunskap om denna fördelning är väsentlig eftersom hastigheten med vilken nukliderna kan frigöras beror mycket starkt av var de befinner sig.

SKI anser att studierna av bränslets struktur har gått långsammare än vad man förutsåg under början av 80-talet. Det är därför nu väsentligt att insatserna fokuseras på de faktorer som kan ha störst betydelse för säkerhetsanalysen.

SKB anger att området har hög prioritet och att de knappa resurserna inom landet med hänsyn till lämpliga laboratorier försedda med avancerade instrument (bl a SEM, EPMA, och Augerspektroskopi) gör det nödvändigt med ett internationellt samarbete.

En faktor som enligt SKIs åsikt inte har lyfts fram tillräckligt i SKBs program är inverkan på bränslestrukturen av ökad utbränning och nya bränsletyper. Det finns indikationer på att den maximala utbrännings-

graden med moderna bränslen och bränslen under utveckling kan komma att uppgå till 60 MWd/kg eller mer. Detta värde motsvarar en ökning med bortåt 100 % i förhållande till vad som idag är vanligt och ca 50 % jämfört med de bränslen som hittills undersökts av SKB. Inspektionen anser att SKB bör anpassa sitt program efter denna utveckling mot allt högre utbränning genom att inkludera undersökningar även av bränsle med de högsta utbränningsgrader som kan bli aktuella för det svenska programmet.

#### Yttre betingelser för bränslets korrosion och upplösning

Inspektionen delar SKBs uppfattning att vissa tänkbara störningar av grundvattnets sammansättning inom bentonitbufferten borde vara av underordnad betydelse och dessutom av transient karaktär. SKBs aviserade studier i syfte att validera dessa antaganden, bl a genom lakförsök i syntetiskt bentonitporvatten, är ändå välkomna. Det kan också visa sig önskvärt att klarlägga tidskalan för de förlopp som SKB anger (t ex borttransport av karbonat och sulfat), eftersom det inte kan uteslutas att scenarier med tidigt kapselbrott kan komma att spela en väsentlig roll i säkerhetsanalysen.

De höga kloridjonhalter (ca 10 g/l) som ofta påträffas i djupa grundvatten kan inte påverka de kemiska jämvikterna mer än marginellt. SKB avser att göra experiment för att bekräfta detta vad gäller korrosion av bränsle. Kanadensiska undersökningar visar på en avsevärd höjning av upplösningshastigheten för liknande kloridhalter och höga temperaturer (150 °C).

SKI anser det väsentligt att försök utföres dels för att studera temperaturens inverkan på korrosionsförloppet, och dels för att få klarhet i kloridhaltens betydelse i detta sammanhang. Resultaten kan komma att innebära ett behov av förnyade experiment och beräkningar rörande bränslets oxidation, se nedan.

#### Radiolys och oxidation av bränsle

Mekanismer för frigörelse av radionuklider från bränslematrisen bygger alla på upplösning av urandioxiden, och denna upplösning går avsevärt mycket snabbare under oxiderande förhållanden än under reducerande. Förekomst av oxiderande miljö eller ej på bränslets yta är därför av stor betydelse. Oxiderande ämnen, såsom kemiska radikaler, väteperoxid och fritt syre, kan bildas genom radiolys av det vatten som kommer att omge bränslet efter ett kapselbrott.

SKI anser det värdefullt att SKB fullföljer sina undersökningar av radiolytisk oxidation och särskilt då de aviserade planerna på samarbete med AECL. Programmet

för nästa treårsperiod skall i huvudsak omfatta alfaradiolys. Enligt SKI är detta ett område där internationellt samarbete är nödvändigt med tanke på de stora experimentella svårigheterna att utföra realistiska försök med resultat användbara i säkerhetsanalysen.

Inspektionen förutsätter även att inverkan av temperatur och salthalt (kloridhalt) på radiolytisk oxidation blir föremål för studier inom de närmaste tre åren.

#### Kemiska jämvikter, termodynamik

En omfattande och detaljerad kunskap om lösningskemin för aktinder och fissionsprodukter är nödvändig, dels för tolkning av korrosionsförsök, och dels för att formulera en prediktiv modell för källtermen. Av särskild betydelse är uranets lösningskemi, vilket också framhålls av SKB. En fråga som kanske inte belysts tillräckligt i detta sammanhang är inverkan av övriga komponenter i slutförvaret, främst gäller detta närvaron av kapselmateriäl (t ex koppar eller järn) och silikathaltigt grundvatten. Enligt inspektionens uppfattning bör i varje fall uranets lösningskemi beskrivas så realistiskt som möjligt. För övriga nuklider måste man förstås kunna visa att gjorda antaganden och förenklingar i varje fall inte leder till underskattning av frigörelsehastigheterna.

SKIs övriga kommentarer på detta delområde återfinns i kapitel 7.

#### Modellutveckling

SKB beskriver sitt program för utveckling av en prediktiv korrosionsmodell mycket kortfattat. Målsättningen anges vara att ta fram en mer realistisk modell än den som användes i KBS-3 för att använda i SKB 91. SKI vill betona vikten av att en modell tas fram snarast möjligt och anser det värdefullt om detta skulle kunna åstadkommas till genomförandet av SKB 91. En realistisk korrosionsmodell är nödvändig för att kunna styra och prioritera forskningen på området.

SKB anser numera att den modell som användes i KBS-3, med uranets löslighet som styrande för nuklidfrigörelse från matrisen, är otillräcklig. Detta förhållande påpekades av SKI redan vid granskningen av KBS-3, men tiden medgav då inte några insatser från SKIs sida för att utreda dess innebörd, särskilt för tidiga kapselbrott.

Enligt SKB bör en ny modell ta hänsyn till att ytoxideration av urandioxid utöver vad som motsvarar  $U_4O_9$  innebär en nedbrytning av strukturen, dvs att oxidationen kan propagera snabbare in i matrisen än vad som

motsvaras av uranets borttransport från ytan. En övre gräns för hastigheten av oxidation/strukturomvandling sätts dock fortfarande av tillförsel av oxidationsmedel genom alfaradiolys. Inspektionen förutsätter att modellutvecklingen dessutom tar hänsyn till effekten av korrosion i korngränserna och den därmed sammanhängande snabba frigörelsen av de radionuklider som befinner sig där.

Insatserna på att utreda rollen av kolloidbildning i samband med bränslets korrosion hålls t v på en låg nivå. SKI delar SKBs uppfattning att transport av kolloider inte kan ha någon betydelse så länge lerbufferten är intakt. Däremot är kolloidbildningen av intresse för tolkning av lakförsök, vilket också avspeglas i SKBs program för den kommande perioden. Även i detta fall gäller att betydelsen av fenomenet är svår att värdera utan tillgång till modeller som kan användas både för prediktion och för att förklara experimentella resultat.

SKI vill också framhålla vikten av att SKB studerar hur en korrosionsmodell för bränsle infogas i eller kopplas till den eller de modeller som kommer att användas för beskrivning av närområdet, och detta gäller då både utvecklingen av makrokemin och transporten av radionuklider. Av särskild betydelse i detta sammanhang är utbredningen av en redoxfront och hur detta beror på tillgång och fördelning av reduktionskapacitet i kapsel, buffert och omgivande berg.

## 5.2 Kapsel

Förutom huvudalternativet med kopparkapsel studerar SKB numera även stål som kapselmateriäl. Andra alternativ som varit föremål för mer översiktliga studier genom samordning och samarbete med andra länder är titan och keramer ( $Al_2O_3$ ). För programmet 1990-95 är det enligt SKB mest angeläget att studera korrosion, teknik för oförstörande provning samt brottmekanismer och fördelning i tiden av kapselbrott.

### Kopparkapsel

En kapsels livslängd ur korrosionssynpunkt bestäms inte bara av den kemiska miljön utan också av hur korrosionsangreppet är fördelat över den korroderande ytan. SKBs pågående studier av gropfrätning i koppar kommer att fortsättas bl a med utvärdering av arkeologiskt material. SKI välkomnar ytterligare studier av detta slag, särskilt sådana där materialet kan undersökas in situ. Utvärderingen av bronskanonen från regalskeppet Kronan har ju tidigare visat sig värdefull ur valideringsynpunkt.

SKI anser dock att korrosionsstudierna måste komplet-

teras med inhämtning av ytterligare kunskap om de förhållanden och mekanismer som miljömässigt kommer att styra korrosionshastigheten. Viktiga exempel på sådana frågor är de geokemiska förutsättningarna för korrosionsangrepp, inverkan av omgivande material (t ex lerbuffert) samt en eventuell bakteriell omvandling av sulfat till sulfid. Kunskap om dessa förhållanden och därmed sammanhängande osäkerheter är avgörande för bedömning av kapselns livslängd ur korrosionssynpunkt.

SKB avser också att fortsätta insatserna på att klarlägga koppars krypegenskaper. Det framgår inte klart av programmet hur stor vikt som SKB kommer att lägga vid dessa studier och överhuvudtaget av kapselns egenskaper under yttre mekaniska laster. Tidiga kapselbrott på grund av mekanisk deformation blir av allt att döma dominerande för riskbilden i en säkerhetsanalys med koppar som kapselmateriäl. SKI anser det därför väsentligt att SKB fullföljer de undersökningar som tidigare påbörjats och integrerar resultaten i en konsekvensbeskrivning såsom framgår i avsnitt 5.2.2 av FoU-rapporten. Tillsammans med den planerade experimentella och teoretiska utredningen av noggrannhet för kvalitetskontroll ger detta underlag för uppskattning av fördelning i tiden för kapselbrott, en faktor som visat sig vara av mycket stor betydelse i säkerhetsanalysen.

#### Stål som kapselmateriäl

I sin granskning av FoU-program 86 ställde sig statens kärnbränslenämnd avvisande till tanken på kapslar av s k korroderande material varmed främst avses kapslar av stål. SKB anser dock att stålkapslar inte kan avfärdas utan vidare och har fullföljt sitt tidigare program i detta avseende. Stålkapsel kommer också att ingå i SKB 91 för att studera konsekvenserna av tidiga kapselbrott. Emellertid kommer stål i fortsättningen att ses i första hand som ett alternativ till bly som utfyllande/bärande komponent i en kopparkapsel.

Korrosionsundersökningar av stål har koncentrerats till studier av gropfrätning. Enligt SKB tyder de erhållna resultaten på en livslängd av ca 1000 år med 100 mm väggtjocklek. I det planerade programmet kommer SKB främst att ägna sig åt kopplingen mellan korrosion och vätgasproduktion, t ex genom långtidsprovning av korrosionshastigheten under vätgasövertryck.

Enligt SKIs uppfattning kan vätgasproduktionen visa sig vara en avgörande faktor när det gäller bedömningen av om stål kan accepteras som kapselmateriäl. Det är dock inte tillräckligt att studera vätgasbildningen. SKB måste också på ett tidigt stadium kunna visa att bildad gas kan ledas bort från förvaret utan att detta inverkar på övriga barriärers funktion. SKI förutsätter



att detta utvärderas noggrant innan stål kommer ifråga som material i kapseln. En annan fråga som kan behöva belysas är i vad mån galvaniska effekter har någon betydelse, framförallt för korrosion av avfallsformen och därmed sammanhängande transportprocesser.

Såsom SKI påpekat i samband med granskningen av FoU 86 är det också av intresse att utreda hur kapslingsmaterial och dess korrosionsprodukter inverkar på kemin i systemet, t ex om lerbarriären kan komma att påverkas.

#### Övriga kapselmateriäl: Titan och keramer

SKB anger att forskningen på titan som kapslingsmaterial är avslutad. Resultaten hittills tycks också tyda på viss instabilitet hos det passiverande (korrosions-skyddande) oxidskiktet.

Främst till följd av de osäkerheter som råder beträffande förekomst av fördröjt brott har SKB kommit till slutsatsen att keramiska kapslar inte är intressanta för svenska förhållanden.

### 5.3 Buffert och återfyllning

I FoU-program 89 anges som målsättning att "kunna välja buffert- och återfyllningsmaterial vid 1990-talets mitt med angivande av egenskaper av betydelse för slutförvarsfunktionen". Målsättningen är otydligt formulerad vilket gör det svårt att bedöma ambitionsnivåerna för de olika forskningsinsatserna.

SKBs forskning har gett många väsentliga bidrag till kunskapen om buffert och återfyllnadsmaterial. Hit hör de under de gångna tre åren framtagna forskningsresultaten rörande bentonitförekomsten vid Hamra på Gotland, vilka indikerar att SKBs föreslagna buffertmaterial är långtidsstabil under de förhållanden som kan råda i ett slutförvar. Likaså ger den pågående forskningen en god bild av de förhållanden som styr omvandlingen av bentonitens huvudkomponent, montmorillonit, till andra mineral (beidellit, illit). Nuvarande kunskapsläge tyder på att eventuella mineralomvandlingar i buffertmaterialet torde kunna ske i så begränsad omfattning att deras betydelse för barriärfunktionen kan försummas i ett slutförvar.

SKBs fysikalisk/kemiska forskning kring bentonit/vatten system representerar i åtskilliga fall "the state of art". Detta gäller t ex insatserna rörande lermineralens mikrostrukturella arrangemang, vattnets organisationsgrad och växelverkan mellan lermineral och vattenfas. Dessa förhållanden är av betydelse för förståelse och modellbeskrivning av lerors transport- och svällningsegenskaper.

Det bör påpekas, att den kommersiella Na-bentonit som används i SKBs forskning i huvudsak kan betecknas som en Na-montmorillonit innehållande 20-25 % föroreningar (fältspat, kvarts, sulfid, organiskt kol mm). Den höga föroreningsgraden leder i vissa fall till att säkra slutsatser endast svårligen kan dras om det fysikaliska tillståndet hos vatten i kontakt med montmorillonit (t ex det interlamellära vattnets densitet). Inspektionen delar dock SKBs uppfattning att förekomsten av föroreningar i montmorilloniten i flertalet fall är av underordnad betydelse.

Inspektionen anser att SKBs forskning rörande bentonit/vatten-system är vetenskapligt värdefull, men att SKB inte bör satsa resurser på att driva denna längre än som motiveras av dess betydelse för bedömningen av säkerheten i ett slutförvar. Ett exempel på ett vetenskapligt intressant problem, som torde ha föga praktiskt värde, utgörs av den fortfarande öppna frågan om orienteringen av kisel tetraederna i vattenmättad montmorillonit.

En stor del av SKBs forskning utgörs av kortvariga försök i laboratorieskala. SKI vill i detta sammanhang peka på det välkända men svåra problemet att från sådana försök dra slutsatser om vad som kan ske i fältskala under långa tider. Svårigheten med att ur kortvariga försök dra slutsatser om förlopp under långa tider kan exemplifieras med SKBs studier av kiselutfällning i ett lera/kvarts-system vid 115 °C och 20 MPa tryck. Efter 70 dagar konstaterades att någon påvisbar utfällning av kisel inte ägt rum. Endast en förfinad analysteknik och/eller en kraftigt förlängning av försökets varaktighet skulle kunna ge svar på frågan om kiselutfällning är möjlig i ett långtidsperspektiv.

SKBs pågående bentonitforskning rörande reologi, vattenupptagning etc är omfattande och syftar till att ge en heltäckande bild av buffertmaterialens geotekniska egenskaper. Detta kräver utvecklandet av en reologi- och krypmodell för smektitleror. SKB hävdar att denna måste bygga på en förståelse av bl a organisationsgraden hos vattenfasen. SKI instämmer i detta men vill också påpeka att det dessutom behövs en ökad förståelse av vattenfasens nätverk av vätebindningar med avseende på andelarna brutna och intakta bindningar, fördelningen av vätebindningarna mellan vattenmolekyler etc.

Inspektionen konstaterar att merparten av SKBs laboratorieförsök utförs under oxiderande förhållanden. I de fall då redoxförhållandena kan förväntas inverka på försöksresultaten, bör försöken (t ex vissa diffusionsförsök) utföras vid sådana förhållanden som normalt förekommer i reducerande grundvatten på 500 m djup.

Det kan konstateras att det fortfarande är ofullstän-

dig utrett hur buffertmaterialets geotekniska och fysikalisk/kemiska egenskaper påverkas av variationer - naturliga eller andra - i grundvattnets sammansättning. Inspektionen förväntar sig att den fortsatta forskningen kommer att angripa dessa problem på ett systematiskt sätt.

## 6 BERGETS EGENSKAPER

### 6.1 Allmänt

SKB konstaterar att bergets roll i slutförvaret är att ge mekaniskt skydd, kemiskt stabil miljö samt långsam och stabil vattenomsättning. För att kunna tillgodoräkna sig de potentiellt stora tekniska fördelar som bergförvaring kan erbjuda är det nödvändigt att visa att de prediktioner som görs om bergets och grundvattenströmningens tillstånd och framtida utveckling är tillförlitliga.

SKI har tidigare, i samband med granskningen av KBS-3 och FoU-86 identifierat ett antal problem som behöver utredas vidare. SKI kommer dessutom att komplettera dessa synpunkter efter genomförandet av Projekt-90. Det är dock inte tillräckligt att SKB enbart utreder problem som identifierats av utomstående granskare. SKB måste övertygande kunna visa att den av SKB formulerade forskningsplanen behandlar samtliga centrala oupplösta frågor av vikt. Det är i detta sammanhang olyckligt att forskningsprogrammet delas upp i delar vars sammanhang ej tillräckligt förklaras och utreds.

De rent hydrogeologiska insatserna delas exempelvis upp på avsnitten 6.2 "Bergets grundvattenrörelser", 8 "Metod och instrumentutveckling", 9 "Underjordiskt berglaboratorium" och 10 "Stripa Projektet". Stripa och HRL förtjänar i och för sig att nämnas i separata avsnitt men de vetenskapliga insatser som utförs och planeras inom dessa projekt måste i ökad grad integreras med SKBs totala insatser inom området. Vidare försvårar presentationen förståelsen av sambandet mellan forskningsbehoven inom hydrologi och forskningsbehovet inom 7.3 "Kemisk transport och validering av transportmodeller". De betydande insatser som diskuteras inom avsnitt 6 för att beskriva "grundvattnets flödesvägar" är framförallt intressanta för "kemisk transport och validering av transportmodeller".

SKI delar helt SKBs synpunkt att det är av fundamental betydelse att förstå i vad mån tektoniska eller klimatologiska processer påverkar ett slutförvars funktion i kort- och långtidsperspektiv. Vidare gäller att förvarssystemet innefattande tunnlar, värmekällor, buffert och återfyllnad innebär stora lokala och eventuellt även regionala förändringar av bergets spänningstillstånd. Bergets spänningstillstånd reglerar uppkomsten av sprickor, rörelser längs sprickplan samt bergmassans permeabilitet. Förståelsen av hur dessa faktorer påverkar slutförvaret både i ett kort och ett långt perspektiv är av stor betydelse för att förvars-

systemets säkerhet ska kunna bedömas.

## 6.2 Undersökning av berg

SKB beskriver ett antal metoder för att observera bergets geohydrologiska egenskaper. SKI saknar dock en kvalificerad diskussion om vilka av bergets egenskaper som är mest väsentliga och en analys av möjligheterna att i dagens läge bestämma dessa egenskaper. Det är å ena sidan orimligt att i detalj bestämma bergets samtliga egenskaper men det är å andra sidan absolut nödvändigt att övertygande visa att för förvarssystemet avgörande egenskaper verkligen kan mätas. SKI återkommer till denna fråga i avsnitt 7 under diskussionen om "Validering av transportmodeller".

Inspektionen delar synpunkten framförd av SKB att undersökning i berg bör ske stegvis där de efterföljande stegen blir alltmer detaljerade. SKB presenterar olika skalor, regionalskala 1-10 km, ner till detaljskala dvs närområdet 0-10 m. SKI vill i detta sammanhang påpeka att för att få den nödvändiga kunskapen om struktur- och berggrundsgeologin behövs en väsentligt större region (>100 km) vägas in i analysen och utvärderingen av en bergmassa i vilket ett slutförvar ska placeras. Det är även väsentligt och ofta effektivt att utnyttja den sakkunskap och de data som finns dokumenterade i redan publicerad litteratur. En grundlig förståelse för de storskaliga geologiska sammanhangen bör enligt SKIs åsikt innebära att arbetet i mer detaljerade skalor kan utföras mer målinriktat och underlätta tolkningen och förståelsen av exempelvis grundvattenledarnas geometri och kemi. En förutsättning för att uppnå det positiva i detta förfarande är att undersökningarna utförs i rätt sekvens från stor skala mot lokalskala utan och att hoppa över mellanliggande steg.

Flacka s k subhorisontella zoner på större djup är med den undersökningsmetodik SKB använder sig av idag svåra att identifiera och karakterisera. God kunskap om den regionala geologin kan hjälpa till att identifiera förekomsten av denna typ av strukturer och på så sätt styra in en del av platskarakteriseringsprocessen mot att hitta och beskriva dessa zoner. Frekvensen av ytgående flacka zoner i en region kan ge en god känsla för hur subhorisontella zoner kan fördela sig i bergmassan i den lokala skalan.

SKB har inställningen att anpassningen av slutförvaret bör ske stegvis och med stora möjligheter till flexibilitet. SKI utgår ifrån att detta inte innebär att SKB sänker sin ambitionsnivå att karakterisera bergmassan. Möjligheten till överraskningar måste, även om de inte kan uteslutas, reduceras genom att utnyttja tillgänglig kunskap.

### Ytundersökningar

SKB hävdar att ytundersökningar har ett begränsat värde och att det idag är svårt, beroende på begränsad dokumentation, att generellt utvärdera vad ytundersökningar ger i förhållande till borrhål. SKIs åsikt är att ytundersökningar mycket väl fyller en funktion både i regional och lokal skala. Inspektionen delar inte SKBs syn att ytundersökningar normalt endast ger en god täckning av markytan och att det är svårt att utnyttja ytinformation till att upprätta tredimensionella beskrivningar. Platsundersökningarna borde kunna effektiviseras genom att bättre utnyttja tillgänglig kompetens inom berggrunds- och strukturgeologi där det finns erfarenhet från att analysera och tolka data i 2D till 3D.

Analysen av ytundersökningar genomförs oftast med tillgång till geofysikdata. Under arbetets gång upprättas prognoser (hypoteser) hur berggrunden ser ut på djupet. Prognosens riktighet värderas sedan med borrhål och tunnlar/schakt. Klassificeringen och beskrivningen av bergmassan är ett resultat av en kombination av olika undersökningsmetoder som var för sig inte alltid ger ett entydigt svar men som sammanvägt ger en allt säkrare bild. Utförs kartering av en bergmassa enligt väletablerad metodik och genom att man skaffar sig den nödvändiga insikten och förståelsen så ökas predikterbarheten väsentligt.

Att SKB ej kunnat beskriva bergartsfördelningen på djupet över södra Äspö trots ett stort antal borrhål återspeglar eventuellt brister i uppläggningsen av de geologiska undersökningarna inom området. En noggrann analys och tillvaratagande av all den kunskap som finns samlad om regionen borde ha indikerat att det fanns risker för bergartsvariationer speciellt med tanke på att det geologiska läget är ett randområde mellan olika magmor.

SKBs förslag att eventuellt utnyttja detaljgravimetri för att belysa bergartsvariationer i 3D kan enligt SKIs mening vara en möjlig metod att påvisa bergartsvariationer på djupet. Detta bör undersökas. Inspektionen vill framhålla att gravimetri endast indikerar att variationer finns, inte vilken bergartsfördelning det är. Metodiken kan således endast ge en indikation på var man bör sätta ett borrhål för att på effektivaste sätt beskriva bergmassan. Endast genom att kontrollera med borrhål kan geofysiska indikationer tolkas och kopplas till verkligheten.

SKB anser att blottlagda geologiska profiler (Äspö) är av stort värde. Inspektionen kan instämma i detta men vill understryka att det är viktigt för resultatet av analysen att detta sker i samverkan mellan samtliga

grupper som deltar i platsundersökningen. Först då kan man maximalt utnyttja kunskapen som t. ex. erhållits genom den punktinformation (blottningar) som insamlats i samband med ytgeologiska undersökningar och sätta detta i relation till den linjeinformation som fås genom profilen.

SKB har utnyttjat Lantmäteriverkets databas för att upprätta tektoniska tolkningar. SKB konstaterar dock att zoner kan ha mycket skilda karaktärer som inte kan upptäckas på kartor. SKI instämmer och vill påpeka att detta är ännu ett skäl till att tolkningar som utförs med hjälp av datasammanställningar i de flesta fallen måste bekräftas genom fältstudier.

Konduktiva subhorisontella zoner har identifierats i många olika sammanhang t. ex. vid typområdesundersökningar, URL, SFR, och Äspö. Den undersökningsteknik som används idag beskriver framförallt berggrundens brantstående strukturer. Flacka zoner blir därför ofta underrepresenterade vid platsundersökningar trots att de ofta har stor betydelse.

SKB föreslår ytlig reflexionsseismik som en tänkbar metod att påvisa flacka zoner. SKI instämmer i detta och erinrar om att detta påpekades av SKI i samband med granskningen av FoU 86.

SKB indikerar i nuvarande forskningsplan att SKB avser att pröva bättre utrustningar och ytterligare förfinade utvärderingsmetoderna. Detta för att i ett tidigt skede i undersökningarna få en beskrivning av de flacka zonernas frekvens och utbredning. Denna analys är tänkt att ske inom ramen för berglaboratoriet. Mer detaljerad information om dessa planer ges inte i FoU-planen.

Reflexionsseismiska undersökningar har redan utförts på platsen för berglaboratoriet på Äspö. Dessa undersökningar indikerar flacka horisontella zoner på ca 400 och 1100 m djup. Som för de flesta geofysiska mätmetoderna krävs en bekräftelse genom tex ett borrhål att den tolkning man utfört är riktig.

SKB har penetrerat 400 m indikationen med ett borrhål och bekräftat en flack zon. Den underliggande seismiska reflexen som ej nås av något borrhål är ännu kraftigare. Här ges däremot en annan tolkning dvs den seismiska indikationen har inget alls med en flack zon att göra. Detta bör visas. SKIs åsikt är att Äspö med sina indikationer på djupet utgör ett gott försöksobjekt att värdera och utveckla metodiken som SKB vill testa.

#### Undersökningar i borrhål

Det stora flertalet av SKBs hydrauliska mätningar avser

injektionstester i avmanchetterade borrhålssektioner. Dessa mätningar representerar punktvärden av den hydrauliska konduktiviteten i bergmassan. Vidare gäller att influensradien för dessa mätningar ej är klart definierad och dessutom beror på permeabilitetsfördelningen nära mätsektionen. Den kristallina berggrunden är mycket inhomogen varför punktinformation av detta slag är otillräcklig för att karakterisera bergets permeabilitetsfördelning. Det är därför av stort värde att SKB i Berglabsprojektet har börjat tillämpa mellanhålsmätningar i större skala. Ytterligare insatser både på mätsidan och för att utvärdera den komplicerade information som erhålls från mellanhålsmätningar är väsentliga.

Flera av de av SKB undersökta grundvattnen uppvisar en varierande salthalt och därmed varierande densitet. Tillämpligheten av begreppet hydraulisk tryckhöjd uttryckt i meter vattenpelare blir därmed odefinierad. De ur strömningssynpunkt adekvata tillståndsvariablerna i dessa fall är den rumsliga fördelningen av grundvattnets tryck (i Pascal) och densitet. Denna information måste kunna erhållas från de använda mätmetoderna och också redovisas på detta sätt.

Möjligheten att i borrhål mäta den naturliga omsättningen av grundvatten är av stor betydelse. SKI har i tidigare sammanhang framhållit värdet av den av SKB utvecklade utspädningssonden. Inspektionen ifrågasätter SKBs val att i berglaboratoriet använda en mindre noggrann metod med sämre upplösning än den framtagna utspädningssonden.

Mätningar med utspädningssond ger endast flödet (vattenomsättningen) i diskreta punkter varför en direkt korrelation mellan beräknade medelflöden och flöden uppmätta i ett borrhål inte kan förutses. Genom att göra flödesmätningar i flera punkter kan dock värdefull information för validering av grundvattenströmnings- och transportmodeller tas fram. Vidare gäller att vattenomsättningen i begränsade volymer är av stor betydelse för förhållandena i närområdet. SKI vill framhålla att det är viktigt att förstå vad olika metoder mäter och vad de inte mäter. SKB bör därför mer systematiskt undersöka denna fråga för olika mätmetoder och olika mätstrategier.

Borrhålsradar har visat sig vara mycket värdefull vid karakterisering av sprickgeometrier inom ca 100 m radie. Korrelationen mellan de hydrauliskt intressanta zonerna i berget och de zoner som detekterats i berget är väsentlig. Erfarenheterna ifrån Stripa tycks vara att korrelationen är god men erfarenheterna från andra platser tycks peka på ett mindre positivt resultat. Fortsatta analyser är således nödvändiga innan värdet av radarmätningar kan fastställas.



Borrhålsseismik har testats inom Stripa-projektet och visat sig vara ett värdefullt komplement till andra borrhålsundersökningar. SKB har haft svårigheter i att utföra den tomografiska analysen i stor skala (1000 m). Resultaten är mer lovande i 200 m skalan. Fortsatta analyser av metoden är således nödvändiga innan den kan användas under byggskedet av berglaboratoriet.

#### Undersökningar i tunnlar och schakt

SKB anger att undersökningar enbart från ytan ej ger tillräcklig information för att karakterisera en plats. SKB anser vidare att (sid 50) "vad avser grundvattenrörelser ger borrhålen punktinformation medan tunnlar ger möjlighet till mer detaljerad analys av hur grundvattnet är geometriskt fördelat". SKI anser att SKBs påståenden härvid behöver nyanseras. Tunnlars ytor är trots allt begränsade samtidigt som tunneln utgör en kraftig och ibland önskad störning av de naturliga strömningsförhållandena i berget (se diskussion om termo-hydro-mekaniska effekter nedan). Det är möjligt att mer skulle vinnas på att ytterligare utveckla mätningar i borrhål, framförallt flerhålsmätningar, och mindre satsas på dyrbar tunneldrivning. SKI anser att denna fråga bör studeras ytterligare.

Detaljundersökning och utbyggnad av ett slutförvar medför att tunnlar och schakt konstrueras. Man bör utnyttja dessa tunnlar och schakt för att göra observationer. SKB är medveten om att problemet med hur tunneln påverkar den naturliga spännings- och strömningssituationen i berget behöver belysas ytterligare. SKI vill understryka betydelsen av detta för förståelsen av observationernas betydelse för säkerhetsanalysen.

Resultaten från spår försöken i Stripa har visat att det är nödvändigt att noga karakterisera försöksområdet. För närvarande sammanställer SKB data ifrån olika undermarksprojekt för att visa att grundvattnets uppträdande utanför en tunnel motsvarar vad som kan karteras i form av inläckage till tunneln. Inspektionen håller med SKB om att dessa datas relevans för att tolka grundvattnets rörelser under naturliga förhållanden är mycket osäker.

SKI anser att SKB bör ytterligare analysera hur olika metoder för att driva tunnlar och slutligen ett helt förvar påverkar grundvattenströmningen lokalt och regionalt. SKB bör exempelvis i berglaboratoriet under kontrollerade former utreda för- och nackdelar med tunnelutsprängning och fullortsborrning. Vilka tekniker är lämpliga och hur påverkas genom val av dessa möjligheterna att i ett senare skede karakterisera och bestämma parametrar av betydelse för analysen av ett

förvars funktion och säkerhet?

### 6.3 Bergets grundvattenrörelser

#### Begreppsmodeller och validering

Idag utnyttjas ett flertal olika begreppsmodeller för att beskriva grundvattnets rörelse i berget. Dessa modeller kännetecknas av en mycket varierande komplexitet. De grundläggande hydrodynamiska samband som bestämmer grundvattenströmningen är väl kända. Problemet med att formulera en adekvat modell gäller framför allt:

- i) osäkerheten i den rumsliga strukturen av bergets vattenförande områden, dels generiskt dels plats-specifikt
- ii) överförenklade samband (t.ex. försummade kopplingar mellan kemi, flöde, temperatur och bergmekanik)
- iii) osäkerheten om idag uppmätta förhållanden och parametrar kommer att förändras i ett långtidsperspektiv.

Den oklarhet som idag råder beträffande vilka begreppsmodeller som är adekvata visar att behovet av modellvalidering är mycket stort. Inom det komplexa området grundvattenrörelser och transport i berget saknas mycket kunskap. Det kan dock mycket väl tänkas att endast ett fåtal frågeställningar är av central betydelse. Det är därför nödvändigt att SKB tillämpar och redovisar en strategi för validering som är motiverad med säkerhetsanalysens krav. SKI håller därför med om att det är viktigt att definiera vilka typer av validering som är av mest betydelse för den långsiktiga säkerheten för ett förvar och att viktiga svar på denna fråga kan erhållas genom att genomföra systematiska funktions- och säkerhetsanalyser.

SKB anger att validering bland annat innehåller en systematisk jämförelse mellan prediktion och utfall och en bedömning om överensstämmelsen varit god. SKI instämmer i att dessa moment ingår i en validering men vill samtidigt poängtera att inte ens en perfekt överensstämmelse mellan prediktion och utfall är ett tillräckligt villkor för validering. Validering kan aldrig enbart vara en fråga om att jämföra modellutfall med mätta värden. En allsidig bedömning om modellen korrekt beskriver de centrala frågeställningarna måste göras. En synnerligen väsentlig fråga att besvara är därför om de genomförda fältförsök som analyseras vid validering verkligen innehåller information som är av betydelse för modellens prediktioner av grundvattenförhållanden som är väsentliga för förvarsfunktionerna.

Ett exempel på tillämpligheten av ovanstående resonemang är SKBs konstaterande att tryckobservationer ej är tillräckligt innehållsrika för att tjäna som lämpligt datamaterial för kalibrering eller validering medan flödesmätningar bör ge ett bättre (mer adekvat) underlag. Vid beskrivningen av en valideringsstrategi är det därför väsentligt att utreda både vad som kan valideras och vad som inte kan valideras vid ett visst försök och med en viss modell.

#### Utveckling av begreppsmodeller

SKB studerar ett stort antal modeller för att beskriva den rumsliga strukturen av bergets vattenförande områden:

- ekvivalent poröst medium
- stokastisk kontinuum
- diskreta nätverksmodeller
- ekvivalent diskontinuum
- strömrörsmodeller

Den modell som hittills mest utnyttjats för att beskriva grundvattenströmningen är ett relativt homogent poröst medium genomkorsat av ett antal större sprickzoner. SKB konstaterar att denna modell är tillämplig endast beträffande medelflödet över stora bergvolymen. SKI håller med om att det är rimligt att anta att medelflödet i regional skala kan beräknas med en porös medie-modell men vill samtidigt poängtera att inte ens denna begränsning med säkerhet är tillräcklig. Antas hypoteser som storskaliga kanaler eller en s.k. fraktal beskrivning finns det inte någon skala där bergmassan kan beskrivas som ett poröst medium.

SKI har vid tidigare granskning påpekat att betydelsen av olika randvillkor samt betydelsen av olika metoder att medelvärdesbilda konduktivitetsvärden och anisotropi behöver belysas. SKB har genomfört insatser inom detta område inom HYDROCOIN och genom att utveckla en speciell sensitivitetsmodul till beräkningsprogrammet GWHRT-S. SKI anser att de av SKB utförda insatserna behöver föras vidare och stöder därför SKBs planer på att installera en modul för sensitivitetsanalys till det mer generella programmet NAMMU. SKI vill dock poängtera att resultatet av en matematisk sensitivitetsanalys fortfarande beror på valet av ingångsparametrar. En mer manuellt styrd parametervariation är därför ett väsentligt komplement.

En annan modell som diskuterats är ett s.k. stokastisk kontinuum. SKB (och vid en oberoende studie även SKI) har genom analyser av konduktivitetsvärden uppmätta för SKBs typområden visat att bergmassan vad avser hydraulisk konduktivitet har en finit korrelationsstruktur.

SKB har i andra studier visat att detta förhållande i sig ger upphov till hydrauliskt definerade stråk (kanaler) även över relativt stora avstånd.

Det kan konstateras att de hittills genomförda undersökningarna visar att permeabilitetsfördelningen i bergmassan har stor betydelse för strömningsvägarna även för stora avstånd. Det hittills genomförda arbetet ger stöd för uppfattningen att den ojämna flödesfördelning som observeras på tunnelväggar fortsätter som storskaliga kanaler även inne i bergmassan. Enligt FoU-planen kommer SKB att genomföra beräkningar med stokastiskt kontinuum för Berglab och SKB 91. SKI anser det rimligt att SKB fortsätter med insatser för att karakterisera bergmassans korrelationsstruktur och att SKB tar hänsyn till de preliminära resultaten i kommande säkerhetsanalyser.

Det måste poängteras att variogram endast är ett av flera tänkbara verktyg för att beskriva konduktivitetens rumsliga korrelation. Det är otillräckligt att enbart basera en skattning av korrelationsstrukturen hos starkt heterogena medier på de punktvärden som erhålls från injektiontester i borrhålssektioner. En (statistisk) tolkning av mellanshålsförsök samt ansatser med olika statistiska grundmodeller är nödvändigt.

Diskreta nätverksmodeller har utnyttjats för att tolka ett antal fältförsök. De genomförda studierna visar att diskreta nätverk kan vara en möjlighet att beskriva permeabilitetsfördelningen i bergmassan.

Under perioden 1990-95 avser SKB bland annat att utveckla nätverkskoden NAPSAC genom att koppla denna till NAMMU för automatisk randvillkorsgenerering. Vidare avser man att utveckla NAPSAC för att även kunna hantera nuklidtransport (dock utan att ange några detaljer). SKI vill framförallt framhålla vikten av att nätverksmodeller också appliceras på transportproblem och där tjäna som ett värdefullt instrument för att utvärdera sorption, dispersion och utspädning. Resultatet av detta arbete måste också integreras i SKBs kommande säkerhetsanalyser.

SKI vill dock framhålla att den största insatsen i modellarbetet bör inriktas mot validering. SKB planerar valideringsinsatser med vattenströmning i berg inom det s.k. SCV-projektet i Stripa samt i blockskala i Berglab. SKI anser att dessa insatser inte borde begränsas till enbart vattenströmning utan också transport. SKI förutsätter vidare att SKB fortsätter att aktivt medverka i INTRAVAL projektet genom att bidra med analys med nätverksmodeller för de testfall inom INTRAVAL där dessa kan anses vara adekvata.

I KBS-3 beräknades nuklidtransporten i berget i endimensionella strömrör. Strömrörsmodellen är en starkt förenklad modell av verkligheten men erbjuder tack vare sin enkla uppbyggnad stora möjligheter att genomföra en stor mängd transportberäkningar. Strömrörsmodellen behöver inte nödvändigtvis ses som en faktisk beskrivning av enskilda grundvattenvägar i berget utan kan också ses som en förenklad och samlad beskrivning av bergets transportegenskaper. Det innebär att strömrörsmodellens applicerbarhet delvis kan studeras teoretiskt genom att jämföra denna med andra mer komplicerade modeller.

Att direkt applicera strömrörsmodeller på i fältförsök identifierade strömvägar, som bland annat planeras i Berglabsprojektet kan å andra sidan vara mindre givande. Erfarenheterna från liknande analyser från Finnsjön visar att det är stor risk att de resulterande modellparametrarna kommer att variera kraftigt för olika identifierade enskilda strömvägar.

#### Applikation på pågående försök - validering

SKB genomför och planerar försök i Finnsjön, Stripa och Berglab. Dessa försök utnyttjas bland annat för att pröva möjligheten att validera modeller för grundvattenströmning och transport. SKI vill framhålla att dessa aktiviteter är av stor betydelse och att det därför är nödvändigt att SKB utformar sitt experimentella program så att kritiska frågeställningar kan komma att besvaras.

I FoU-planen diskuteras möjligheten att utnyttja modeller som verktyg i experimentplanering. SKB avser vidare att ca 1992 genomföra en samlad utvärdering av hittills genomförda försök och modelleringar för att planera nya försök. SKI vill starkt instämna i nyttan av dessa insatser men vill samtidigt poängtera att SKB måste ha en tidplan för de kommande platsundersökningarna som tillåter att resultaten av experimentplaneringen kan utnyttjas.

SKB indikerar en avsikt att dels genomföra ytterligare spår-försök vid Finnsjön och dels analysera försöksresultaten med en porös medie-modell. SKI anser det viktigt att genomföra de planerade försöken och framförallt att det stora datamaterialet från försöken ges en samlad tolkning där även eventuella osäkerheter diskuteras. Det framstår till exempel som en onödig inskränkning att man avser enbart studera densitetsoberoende strömning trots att zonen innehåller ett gränsskikt mellan salt och sött vatten. SKB understryker i andra sammanhang den stora betydelsen av sådana gränsskikt.

Inom ramen för Stripa-projektet genomför idag SKB det

s.k. SVC-programmet, där flera observationsmetoder, inkluderande radarmätningar, hydraulikmätningar, saltinjektering och spår försök ingår. Försöksdata analyseras stegvis med olika modellansatser. En integrerad tolkning av all information planeras. SKI följer SCV-projektet med starkt intresse och vill framhålla att erfarenheterna från detta projekt måste tas till vara vid planeringen av kommande försök i t.ex. Berglab.

Inom Berglabs-projektet planerar SKB en serie olika försök. Bland annat diskuteras ett storskaligt spår försök under byggskedet, ett blockskaligt spår försök under driftskedet samt att i tunnlarna dokumentera bergarter, sprickighet, vatteninflödets läge och storlek. Speciella sidotunnlar kommer att utsprängas om "berg påträffas som kräver stora insatser av tätning och förstärkning". Man avser vidare att följa gränsen mellan sött och salt vatten, studera transport av lösta ämnen i en stor volym av berget, erhålla underlag för validering, följa förändringar i redoxförhållanden, följa förändringarna i sprickmineral, fastställa redoxkinetik samt utveckla och pröva metodiker för detaljerade grundvattenkemiska undersökningar på kandidatplatser. Som en del av analysen av dessa data planeras prediktioner av tryck- och olika flödesmätningar i olika skalor (regional, anläggning, block och detaljskala). Prediktionerna före byggnadsskedet jämförs mot uppmätta värden.

SKI vill påpeka att de föreslagna insatserna kan komma att bli mycket omfattande både på mätsidan och modelleringssidan. Det är bland annat nödvändigt att hydrogeologiska data analyseras integrerat med de geologiska och grundvattenkemiska undersökningarna samt att resultaten sätts samman i kvalitativa och kvantitativa modeller. För att SKB ska göra en riktig prioritering av dessa insatser bör en värdering av valideringsnyttan jämfört med kraven från säkerhetsanalysen göras. Det är tänkbart att ett fåtal väl kontrollerade försök av den typ som SKB idag genomför i Finnsjön och Stripa (SCV) ger betydligt mer information än de insatser som planeras i Berglab.

SKB avser att illustrera betydelsen av osäkra platsspecifika data genom att genomföra en osäkerhetsanalys i SKB 91. SKI anser att osäkerhetsanalysen är viktig men vill samtidigt varna för att dra alltför långtgående slutsatser från sådana studier. Det stora antalet osäkra variabler och modeller som är aktuella gör att en osäkerhetsanalys enbart baserad på variationer av parametrar och modeller kommer att resultera i ett orealistiskt antal beräkningar. Antalet beräkningar måste därför reduceras. Det finns då en stor risk att inte alla relevanta variationer studeras. En möjlighet är att utnyttja s.k. probabilistisk modellering men

resultaten av en sådan beror starkt på det antagna (oftast okända) statistiska beroendet mellan modeller och parametrar. Antas alla parametrar vara statistiskt oberoende kan resultatet från analysen starkt skilja sig från om några parametrar antas vara statistiskt beroende.

#### Densitetsberoende strömning

SKB kontakterar att de hittills gjorda antagandena om densitetsberoende strömning kan vara en för stor förenkling. SKI håller med om att betydelsen av densitetseffekter bör studeras vidare bland annat genom simulering. SKI ställer sig dock tveksamt till påståendet (sid 52) att "beräkningsresultat kan i allmänhet styrkas med --- observation". Ett sådant påståendes giltighet bör i stället utvärderas med en serie beräkningar med olika modeller och ansatser för att på detta sätt ge underlag för att bedöma kvaliteten hos en uppnådd överensstämmelse mellan modellresultat och observation.

En fråga av fundamental betydelse för kustnära områden är i vilken utsträckning det salina vattnet i berget står i hydraulisk kontakt med havet. Om den hydrauliska kontakten är väl utvecklad, kommer gränsskiktet mellan salt och sött vatten, och därmed strömningsförhållandena kring ett slutförvar, att förändras vid förändringar av havsytans nivå. Den transienta strömningsituation som uppstår i detta läge kan visa sig vara mycket komplicerad och kan tänkas fortgå under lång tid innan ett jämviktstillstånd inträder.

Sprickzonstudien har visat betydelsen av salt grundvattnet och speciellt i kombination med sprickzoner. Det är angeläget att SKB intensifierar arbetet med densitetsberoende strömning, speciellt om SKB i säkerhetsanalysen kommer att hävda att salt grundvatten är stagnant.

#### Sprickzoners lägen och egenskaper

Flacka zoner, sk subhorisontella zoner, har stor betydelse för tex den storskaliga flödesfördelningen i bergmassan och därmed för analysen och funktionen av ett förvar. Enligt SKI är det därför viktigt att ha en god kontroll och kunskap om flacka strukturer även på djupet. Flacka zoner är ofta randvillkorsättande för modeller för grundvattenströmningen runt ett förvar. Inspektionen instämmer i SKBs åsikt att existensen av flacka zoner på djupet medför krav på undersökningar till större djup, vilket enligt SKI i vissa fall kan innebära djup ner till 1500 m och mer.

Inspektionen vill också i detta sammanhang poängtera att det förutom säkra metoder för att fastlägga zonernas antal och läge även krävs detaljerade un-

dersökningar av de större sprickzonernas strömnings- och transportegenskaper för att erhålla en adekvat platskaraktärisering.

SKB avser att studera betydelsen av subhorisontella zoner inom SKB 91 dock utan att precisera vilken metodik som kommer att användas. Inspektionen stöder tanken att illustrera betydelsen av olika processer och tillhörande osäkerheter inom ramen för en samlad säkerhetsanalys.

SKB konstaterar att sprickzonsprojektet i Finnsjön har visat att egenskaperna hos sprickzoner kan ha stor (avgörande) betydelse för\*\*p1240\*\*skaliga flödesfördelningen i bergmassan, speciellt om grundvattnet har varierande densitet. SKI anser att den av SKB påbörjade forskningen inom detta område måste fortsättas dels på modellsidan för att illustrera betydelsen av olika datatolkningar och dels på observationssidan för att undersöka generaliteten i de resultat som erhållits från arbetet med den subhorisontella sprickzonen i Finnsjön. Speciellt bör insatser på att beskriva den rumsliga variationen av egenskaper i sprickzonerna diskuteras.

SKI konstaterar vidare att sprickzonstudien tycks peka på att någon större fördröjning inte kan påräknas i större sprickzoner. Intill dess att denna fråga utretts vidare, bland annat med motsvarande analyser av andra större sprickzoner, måste större, ej i detalj undersökta, sprickzoner betraktas som en del av biosfären i säkerhetsanalysen.

#### Störzon och andra termo-hydro-mekaniska effekter

SKB studerar de spänningsomlagringar och permeabilitetsförändringar som uppkommer i den "störda zonen" runt tunnlar i bergrum. SKI vill betona vikten av dessa undersökningar eftersom förekomsten av en störd zon bland annat skulle kunna äventyra förslutningen av förvaret. Erfarenheter från Stripa och URL avses att utnyttjas för att genomföra nya försök i Berglab. Inverkan av "störda zonen" på förvarets säkerhet avses att studeras inom SKB 91. SKB anger dock inga detaljer i hur denna utvärdering kommer att utföras.

Förvarssystemet innefattande tunnlar, värmekällor, buffert och återfyllnad innebär stora lokala och eventuellt även regionala förändringar av bergets spänningstillstånd. Bergets spänningstillstånd reglerar uppkomsten av sprickor, rörelser längs sprickplan samt bergmassans permeabilitet. Dessa faktorer är av central betydelse för funktionen hos ett slutförvar varför SKI anser att SKB borde öka sina insatser på detta område och inte bara begränsa insatserna till den "störda zonen".



Forskningsinsatser behövs för att förbättra modellbeskrivningen och beräkningsmöjligheterna för de komplicerade kopplingarna mellan värme, spänningstillstånd, stabilitet och grundvattenströmning. Vidare kommer stora experimentella resurser att krävas för att få underlag till att validera dessa modeller. SKI anser att SKB idag har alltför låg beredskap inom detta område.

### Gastransport

SKB diskuterar möjligheten att som ett alternativ studera stålkapslar och konstaterar att för detta fall kommer att krävas beräkningar och modeller för vätgasproduktion och transport genom buffertmaterial och berg. SKB ger dock mycket lite information om hur dessa processer avses att modelleras. SKI vill i detta sammanhang poängtera att gastransport genom en delvis vattenmättad buffert och närzon är ett komplicerat fysikaliskt/kemiskt problem som delvis beror på fysikaliska egenskaper hos buffert och berg som hittills studerats i mycket liten omfattning och vars långtidsegenskaper är relativt okända.

SKI noterar också att förekomsten av geogas i jordskorpan kan ha betydelse för förvarets funktion. SKB bör klargöra hur man avser att behandla denna fråga.

### 6.4 Bergets stabilitet

SKI delar helt SKBs synpunkt att det är av fundamental betydelse att förstå i vad mån tektoniska eller klimatologiska processer påverkar ett slutförvars funktion i kort och långtidsperspektiv. Däremot är det enligt inspektionens åsikt för tidigt att hävda att framtida rörelser företrädesvis eller uteslutande sker längs större sprickzoner av hög ålder. Ytterligare studier såväl fältinsatser som på modelleringsidan bör göras av SKB för att visa att detta är fallet.

### Tektoniska processer

SKB diskuterar den regionala bergspänningsfördelningen i jordskorpan och anger mekanismer för dess uppkomst. SKB hävdar även att risken för att ett nytt spänningstillstånd skulle uppstå under livstiden av ett förvar som osannolik. Inspektionen kan instämma i SKBs resonemang vad gäller plattrörelser, men vill framhålla att framtida istider och därmed ändrade belastningsförhållanden mycket väl kan påverka spänningsförhållanden lokalt (se avsnitt klimatologiska processer). Man får således under en viss tid överlagring av olika spänningstillstånd vars effekter på exempelvis grundvattenströmningen, jordskalv etc bör analyseras plats specifikt.

Pågående landhöjning är en effekt av istider. SKB konstaterar att oregelbundenheter finns i landhöjningsdata. SKI anser att SKB bör utreda ytterligare effekterna av vertikalrörelser och horisontalrörelser. Inspektionen delar SKBs åsikt att för att beskriva möjliga framtida rörelsezoner är en ordentlig tektonisk beskrivning av ett framtida förvarsområde nödvändig. SKI vill i detta sammanhang återigen understryka vikten av att även inkludera den regionala tektoniska bilden.

#### Klimatologiska processer

Inspektionen kan konstatera att i tidsperspektivet 1 miljon år kommer klimatförändringar att ske. Tillstånd i klimatet som kan vara av intresse att analysera närmare ur slutförvarssynpunkt är istider, varmetider och till dessa knutna processer som t ex permafrost och havsnivåförändringar och dess påverkan på t ex nederbörd, erosion och grundvattenströmning etc. Beträffande istider så vet man att idag rådande förhållanden kring ett tänkt slutförvar troligen kommer att förändras. Frågan är om det är en permanent förändring eller endast temporär och hur förvaret och dess omgivning på valt förvarsdjup påverkas direkt och indirekt. Förändringar som sker måste enligt SKIs mening analyseras på ett bättre sätt och konsekvensanalys av hur klimatförändringar kan påverka säkerheten måste kunna utföras som ett led i säkerhetsanalysen av ett avfallsförvar.

SKB räknar i FoU-program 89 upp ett antal frågeställningar som man delvis tillsammans med TVO, Finland, vill analysera och belysa. Av redovisningen framgår inga specifika planer hur man ämnar gå tillväga eller hur SKB ämnar ta hand om framtagna resultat. Inspektionen efterlyser här en klar plan med målinriktade insatser.

SKI utgår ifrån att SKB kommer att följa och aktivt delta i det projekt som initierats på nordisk nivå med syftet att belysa och analysera just klimatförändringar och specifikt istider och dessas påverkan på slutförvar. Inom ramen för detta projekt studeras bla med hjälp av modeller glaciationens inverkan på omgivningen och påverkan på närområdet för olika förvarsdjup.

Inom SKIs Projekt-90 behandlas även olika typer av scenarier, bla permafrostens tänkbara effekter på ett slutförvar.

SKBs arbete på modellsidan beträffande bergmassa och påverkan av istid har fört kunskapen framåt inom detta område. SKI anser att detta är ett viktigt område med utvecklingspotential. Det framgår dock inte av SKBs

redovisning om eller hur man ämnar gå vidare. Detta bör enligt SKI konkretiseras och analyseras.

#### Förvarets inverkan på mekanisk beständighet

SKB behandlar frågan om värmeutvecklingen från bränslet kan ge bestående mekaniska förändringar. I FoU-89 redovisas de svårigheter SKB haft att belysa denna fråga och vilka problem som återstår att lösa. SKI understödjer SKBs ambition att vidare analysera problemställningen och avaktar de resultat som SKB tar fram. Det är en viktig fråga som måste ges ett tillfredställande svar. SKI har inom ramen för Projekt-90 initierat en studie som berör denna problematik.

Utbyggnaden av ett slutförvar medför lokala förändringar av berget. Frågan om förvarsutbyggnaden kan fungera som en brottsanvisning för framtida rörelser nämns av SKB endast i förbigående. Detta är en viktig fråga att analysera. SKI utgår ifrån att detta kommer att utföras av SKB senast inför valet av koncept och förvarsutformning dvs inom närmaste 6 års period.

#### Postglaciala rörelser

SKB har sedan FoU-86 programmet genomfört ett forskningsprogram om de förmodade postglaciala förkastningarna i Lansjärvområdet. SKI framförde i samband med sin granskning av FoU-program 86 och den föreslagna Lansjärvstudien att målet bör vara att förklara de mekanismer som har orsakat de i dag observerbara språnghöjderna. Omfattningen av eventuella yngre sprickbildningar kan inte enligt SKIs mening klarläggas med mindre än att en undersökningsmetodik tas fram som gör det möjligt att identifiera neotektoniska fenomen även inom områden som inte uppvisar så tydliga spår som i Lansjärv. Detta har ännu inte gjorts.

SKB sammanfattar sina resultat ifrån Lansjärvstudien i form av allmänna slutsatser för projektet. SKB konstaterar att det inte varit möjligt att besvara alla frågeställningar till fullo. Vissa kompletterande undersökningar planeras därför under 1990.

Underlagsrapporten till Lansjärvsstudien och dess allmänna slutsatser är under tryckning. SKI har således inte haft möjlighet att ta ställning till vilka slutsatser materialet tillåter. Inspektionen avvaktar den detaljerade rapporten och kan senare återkomma till SKB med eventuella synpunkter. SKI förutsätter dock att resultaten som framkommit i denna studie vägs in i SKBs fortsatta arbete i platskaraktäriseringsprocessen.

SKB avser att genomföra en fördjupad tektonisk analys av området kring det underjordiska berglaboratoriet, där bla erfarenheter ifrån Lansjärvsstudien ska

inkluderas. Av FoU-program 89 framgår inte klart vilka steg SKB ämnar utföra. Detta bör preciseras ytterligare innan SKI kan ge kommentarer.

Inspektionen vill avslutningsvis som ett exempel visa på betydelsen av att ha god geologisk kunskap om det regionala mönstret och om subhorisontella zoner på djupet. SKB redovisar att man utfört numerisk grundvattenmodellering av översiktlig karaktär med syftet att belysa vilken betydelse sprickzoners orientering har på grundvattenförhållanden. SKB har dock inte fått något entydigt svar på frågan vad det låga grundvattentrycket i borrhålen i Lansjärv kan bero på. En tolkning, som SKB inte kan utesluta, är att det beror på ytterligare flacka zoner på djupet. Detta visar ännu en gång vikten av en god platskaraktisering.

#### Erfarenheter av jordskalv

SKB driver för närvarande ett projekt med syftet att sammanställa seismiska händelser där undermarksanläggningar, gruvor och borrhål påverkats. Speciellt intressant är att undersöka om man haft geohydrologiska, grundvattenkemiska eller mekaniska förändringar. För mekaniska förändringar finns en stor databank, däremot saknas data för de två övriga områdena. Det är viktigt att SKB går vidare och utvärderar de få observationer som visat att några jordskalvshändelser ökat inflödet till vissa berganläggningar med 40-300 %. Det finns även i litteraturen beskrivet att jordskalv orsakat en temporär pumpeffekt med väsentligt ökade flöden som följd längs vissa aktiva förkastningar. Frågan bör utredas ytterligare.

## 7 KEMI

### 7.1 Grundvattenkemi och geokemi

I FoU-program 89 nämns att SKBs geokemiska undersökningar bl a syftar till att etablera en tillräcklig kunskap om de kemiska egenskaper hos grundvatten och mineral som bestämmer kapselupplösning, buffertstabilitet, bränsleupplösning och radio-nuklidmigration.

För att få kunskap om grundvatten samlar SKB grundvattenprover från olika platser och analyserar dessa m a p saltinnehåll, pH och Eh. Gjorda undersökningar visar på förekomst av grovt sett två olika typer av vatten, salt och sött. Allt djupt grundvatten har i SKBs undersökningar visat sig vara reducerande och ett empiriskt samband mellan Eh och pH har kunnat anges. I flera fall har grundvatten kunnat åldersbestämmas. Inspektionen anser att SKB har goda möjligheter att med nuvarande teknik göra noggranna analyser av grundvatten m a p elektrolyt- och gasinnehåll, pH och Eh. Det är dock viktigt att dessa analyser integreras med omfattande berg- och sprickmineralanalyser, bestämningar av sprickvidder och tillgängliga ytor för sorption etc, så att en kemisk helhetsbild av berg/grundvatten-systemet kan erhållas.

SKBs geokemiska analyser av sprickfyllnadsmineralens kemiska egenskaper ger en uppfattning om stabiliteten i dagens grundvattenkemi. Jämvikten mellan grundvatten och mineral under naturliga förhållanden undersöks dessutom med hjälp av jämviktsmodellering, främst med programmen PHREEQE och EQ3/6. SKI vill i detta sammanhang peka på det välkända faktum att någon jämvikt inte nödvändigtvis måste råda mellan grundvatten och omgivande berg. I det fall då t ex grundvatten rinner i en bergspricka innehållande flera mineral, varierar ofta vattnets sammansättning längs sprickan utan att nå någon slutlig sammansättning eller ett slutligt jämviktstillstånd. Inspektionen hoppas att SKBs fortsatta forskning kan förklara betydelsen av icke-jämvikt mellan grundvatten och sprickfyllnadsmineral, t ex för migration av radionuklider.

### 7.2 Radionuklidkemi

Detta avsnitt av SKBs FoU-program omfattar de kemiska och fysikalisk-kemiska betingelser som bestämmer radionuklidernas rörlighet i när- och fjärrområdet av ett slutförvar. Programmet kan delas in i följande delområden: termodynamik, inverkan av organiska komplex, kolloider och mikrober, växelverkan med berg och återfyllnadsmaterial, samt radiolys.

### Termodynamiska data och jämviktsstudier

Kunskap om radionuklidens löslighet och speciering är grundläggande för beräkning av deras transport och spridning från förvaret. I sin tur kan dessa transportparametrar beräknas med kemiska jämviktsmodeller som baseras på användandet av termodynamiska data. Tillgång på fullständiga och konsistenta databaser med hög grad av kvalitetsäkring är därvid nödvändig.

SKB har länge varit engagerat i framtagandet av databaser, både genom stöd till internationella projekt som syftar till kritisk granskning och sammanställning av databaser och genom experimentell framtagning av nya eller bättre data. Det senare arbetet har ägt rum främst på KTH, men även i samarbete med CEA och Ispra.

SKI anser att SKBs program på detta område fyller högt ställda krav och välkomnar särskilt de fortsatta studierna av aktinidens komplexbildning (och lösligheter) med fosfat. Teknetiums lösningskemi måste fortfarande betraktas som dåligt känd och även här tycks SKB ha ambitionen att ta fram bättre underlag. De planerade studierna av urans och plutoniums hydrolys med vätskeextraktion kan bli ett värdefullt tillskott till den experimentella metodiken och ge information som är svår att ta fram med andra tekniker.

Inspektionen vill dock påminna om att arbetet med att ta fram goda termodynamiska data tar lång tid och är förknippad med stora experimentella svårigheter för många radionuklider. Det ställs därför krav på koncentration av insatserna till de system som är av mer avgörande betydelse för säkerhetsanalysen, något som SKB hittills synes ha lyckats ganska väl med. Vissa frågor behöver kanske dock lyftas fram mer än vad som framgår av SKBs FoU-program, t ex kontroll av att tillräckligt med data finns för högre temperaturer och för jämvikter i uranyl/silikat-systemet.

### Organiska komplex, kolloider och mikrober

SKBs insatser på dessa områden har hittills varit koncentrerade på att analysera förekomsten av och egenskaper hos komplexbildare (humus och fulvosyror), kolloider och mikrober i djupa grundvatten. Detta är förståeligt, med tanke på de experimentella svårigheterna. Inspektionen anser dock att SKB nu även bör göra en värdering av betydelsen av dessa fenomen. Därvid är det nödvändigt att bl a utveckla såväl begreppsmässiga som numeriska modeller för användning i säkerhetsanalysen. I avsaknad av sådana modeller är det svårt både att se vilka experimentella data som är av värde för kommande beräkningar och att värdera betydelsen av vunnen kunskap. Denna brist är gemensam för alla

program på området, inklusive det omfattande program som bedrivs av EG, och där SKB deltar.

SKI vill i detta sammanhanget påminna om att inspektionen påbörjat utveckling av en modell för nuklidtransport med kolloider. Mycket talar för att kolloidtransport i normalfallet är av underordnad betydelse. Däremot kan det inte uteslutas att den kan ha viss betydelse vid skeenden som ger upphov till avsevärt högre koncentration av partiklar i djupa grundvattnet än den vi kan iaktta idag.

### Sorption och diffusion

SKBs kommande program för undersökning av radionuklidens sorption är knapphändigt beskrivet. Med kännedom om tidigare och pågående verksamheter tycks dock SKBs insatser vara tillräckliga. SKI ser därvid arbetet med att ta fram mer avancerade submodeller som särskilt lovande. Den ökade förståelse som därigenom kan erhållas kommer att vara av stor betydelse både för planering och tolkning av experiment i olika skalor, och för att på ett korrekt sätt kunna utnyttja platsspecifik information i säkerhetsanalysen.

Relativt stor plats ägnas i FoU 89 åt diffusivitet och andra transportegenskaper i betong och bentonit med tillsats av retarderande material, s k getters. Det är svårt att värdera betydelsen av dessa insatser utan fastare angivelser av hur, och om, dessa material kommer till användning i ett slutförvar. SKI vill framhålla att teoribildningen för diffusion i porösa material såsom bentonit och betong fortfarande har brister, särskilt om man vill kunna prediktera denna egenskap med hänsyn till långtidsförändringar. Å andra sidan måste behovet av insatser på detta område i viss mån vägas mot den roll dessa processer kommer att få vid en bedömning slutförvarets totala funktion.

### Radiolys

Radiolys, särskilt alfaradiolys, vid ytan av frilagt bränsle ger upphov till oxiderande ämnen, vilket är av betydelse både för upplösning av bränslematrisen och för bildandet av en front mellan oxiderande och reducerande miljö i närområdet. Upplösning av bränslematrisen har redan kommenterats i avsnitt 5.1 och SKBs program omfattar synbarligen endast denna aspekt på konsekvensen av radiolys.

I sin genomgång av kunskapsläget redogör dock SKB för experiment som skulle tyda på att endast en del av det tvåvärda järnet i bentonit är tillgängligt som reduktionsmedel för radiolytiskt producerade oxidanter. SKI har från sina preliminära beräkningar inom Projekt-90 bekräftat att denna egenskap hos bentonit spelar en

inte oväsentlig roll vid frigörelsen av vissa radionuklider.

Inspektionen vill därmed göra SKB uppmärksam på att redoxkapaciteten hos material i närområdet kan behöva utredas med tillförlitligare metoder än de som hittills kommit till användning.

### 7.3 Kemisk transport - validering av transportmodeller

#### Allmänt

SKBs redovisning av kunskapsläget på området transportprocesser är mycket kortfattad. Denna knapphändiga redovisning förklaras delvis av att de betydande insatser som SKB planerar för att beskriva "grundvattnets flödesvägar" och som framförallt är intressanta för "kemisk transport och validering av transportmodeller" diskuteras i avsnitt 6. Uppdelningen på detta sätt försvårar möjligheten att utvärdera SKBs samlade insatser i området.

En väsentlig del av säkerhetsanalysen för ett slutförvar är beräkningar av transporten av radionuklider i geosfären. Geosfärens transportegenskaper beror på ett flertal samverkande processer av vilka främst märks advektion (grundvattnets flöde och flödesvägar), dispersion (fördelningen av grundvattnets strömningsvägar), sorption på sprickmineral samt matris-diffusion kombinerad med sorption i bergmatrisen.

I nuvarande kunskapsläge gäller att geosfärens potentiella förmåga att kvarhålla eller väsentligt fördröja transport av radionuklider är mycket stor. Kunskapen om den verkligt tillgängliga effekten av de olika transportprocesserna är dock behäftad med mycket stor osäkerhet. Om transporten sker i ett fåtal kanaler med högt flöde, med liten kontaktyta mot berget och de berg och sprickmineral som har kontakt med det strömmande vattnet har liten kapacitet för sorption kommer geosfärens barriärfunktion att väsentligt försvagas. De metoder och fältförsök som hittills har genomförts har inte övertygande kunnat visa att berget har gynsamma transportegenskaper.

SKB har idag ett betydande undersökningsprogram i fält. SKI ställer dock frågan om dessa resurser utnyttjas på ett optimalt sätt. För att bestämma bergets transportegenskaper och för att erhålla data för modellvalidering krävs systematiskt genomförda spår försök i ett flertal skalor och miljöer. De spår försök som SKB idag genomför i Finnsjön och Stripa tycks i och för sig vara av god klass men är i detta sammanhang klart otillräckliga. SKB borde överväga om inte de betydande insatser som idag investeras i rena hydrogeologiska försök borde kunna användas bättre.



### Naturliga analogier

SKB tar upp användning av naturliga analogier för validering på två ställen i FoU 89, dels i kap 7 och dels separat i kap 11. SKI har valt att sammanföra sina kommentarer i detta avsnitt.

Flera större studier av analogier pågår runt om världen och de flesta också i internationellt samarbete: Alligator Rivers (Australien), Pocos de Caldas (Brasilien), Cigar Lake (Kanada) och Oklo (Gabon). Projektet i Pocos de Caldas leds av SKB, och SKB följer utvärderingen av Alligator Rivers genom sitt deltagande i INTRAVAL. SKB har också för avsikt att delta i Cigar Lake.

Detta stora intresse för naturliga analogier är en naturlig följd av flera potentiellt stora möjligheter som erbjuds genom studier av detta slag, bl a:

- utvärdering av resultatet av en eller flera samverkande processer som pågått under lång tid och som också är av betydelsen för säkerheten hos ett slutförvar;
- identifiering av fenomen av betydelse;
- acceptans för en säker slutförvaring i bredare grupper i samhället.

Arbetet i Pocos de Caldas har förutom SKB finansierats av UKDoE, USDoE och NAGRA. Fältarbetena avslutades 1989 och projektet har nu gått in i en utvärderingsfas. Följande delprojekt har ingått:

- studier av radionuklidtransport i sprickigt berg under reducerande och oxiderande betingelser (validering av processer vid redoxfront);
- studier av kolloidtransport;
- undersökning av mekanismen för hydrotermalt betingad transport av radionuklider.

Medan Pocos de Caldas i första hand är lämpad för studier av vissa enskilda fenomen av betydelse för funktionsanalysen ger analogin i Cigar Lake, liksom för övrigt också Alligator Rivers, möjlighet till en mer integrerad validering. Detta beror bl a på likheter mellan analogin och ett slutförvar i både liten och stor skala och på att den synbarligen är mer väldefinierad i tid och rum.

SKI har skaffat sig inblick i de möjligheter till validering som ges av naturliga analogier dels genom INTRAVAL och dels genom eget deltagande i Alligator Rivers. Erfarenheterna hittills tyder på att det i allmänhet är lättare att göra detaljerade studier av enskilda och väl lokaliserade fenomen än att kunna utnyttja en analogi för att validera transportmodeller i större skala. Denna svårighet är bl a förknippad med osäkerheter liknande de som måste beaktas vid en säkerhetsanalys, t ex vad gäller flödesvägar i sprickigt berg och eventuell matrisdiffusion. Till detta kommer osäkerheter beträffande tidförloppet och begynnelsevillkoren.

Inspektionen anser därför visserligen att naturliga analogier har en stor potentiell betydelse, men att det kommer att ta lång tid att utnyttja dessa möjligheter i full utsträckning. Det kommer dessutom att krävas studier av flera analogier för att uppnå målen. En fullständig integrerad analys av en och samma analogi är trots detta ett mål att sträva efter, då man genom just den integrerade analysen borde få goda möjligheter belysa till vilken grad det är möjligt att validera ett totalt system för säkerhetsanalys.

Mot denna bakgrund skulle SKI anse det värdefullt om det aviserade deltagandet i Cigar Lake kom till stånd, och särskilt om detta i så fall innebar ett fullt utnyttjande av analogins möjligheter genom en integrerad analys.

## 8 METOD OCH INSTRUMENTUTVECKLING

### 8.1 Allmänt

SKB har lagt ner stort arbete på en utveckling av instrument och metoder för bestämning av geologiska, hydrogeologiska och kemiska parameterar på stort djup. För att kunna validera modellerna i säkerhetsanalysen och för att kunna erhålla platsspecifika data är detta arbete av stor betydelse. Flera viktiga parametrar har inte kunnat mätas med konventionella förundersökningsmetoder. SKBs insatser på egen metod- och instrumentutveckling är därför ett nödvändigt inslag i forskningsprogrammet. Metodernas tillämplighet i SKBs geovetenskapliga forskning har till vissa delar redan givits på andra ställen i detta gransknings-PM. I det följande kommenteras främst metoderna i sig själva.

### 8.2 Ytundersökningar

SKB har valt att inte kommentera värdet av geologisk fältkartering i detta avsnitt. SKI vill i detta sammanhang endast påminna om de synpunkter som redan givits om behovet av geologisk kompetens vid platskarakteriseringen.

SKB ämnar vidareutveckla seismik- och radarmetoden även för markmätningar. Även vad gäller flyg- och markgeofysik har utveckling skett i och med att tex bildbehandlingstekniken utvecklats. SKI delar helt SKBs synpunkt att här finns en stor utvecklingspotential som enligt inspektionens åsikt SKB bör ta tillvara.

### 8.3 Undersökningar i borrhål

#### Kärnbortteknik

SKBs utveckling av en modifierad kärnbortningsteknik som ska förhindra eller åtminstone reducera inträngningen av borrhåx och spolvatten i bergets sprickor med hjälp av sk teleskopborrhål är enligt SKIs åsikt av värde för att kontrollera och minimera störningar på efterföljande mätningar i borrhålen. SKI saknar dock underlag som visar att metoden har avsedd effekt. Utvärdering av försöken med omvänd spolning kan visa att detta eventuellt är en bättre metod. Inspektionen avvaktar SKBs utvärdering.

Introduktionen av automatisk registrering av borrhåxjunkning, spoltryck etc kan tillföra information som idag lätt går förlorad.

### Borrhålnkartering

SKB har tagit fram ett datoriserat karteringsinstrument som bla underlättar statistisk bearbetning. Exempelvis kan nämnas korrelationer mellan sprickmineral och sprickriktningar. Behovet av kartläggning av sprickorientering har påpekats av SKI sedan KBS-3 granskningen. SKI ser med tillfredsställelse att SKB nu i FoU-program 89 satsar på utveckling av metodik.

I dag har SKB tillgång till borrhåls-TV och televiwer för att kartera borrhål. Begränsningen i djup är för närvarande 500 meter men med sikte att utnyttja metoden ner till 1000 meter, vilket enligt SKI är ett minimum. SKI kan inte ur forskningsprogrammet utläsa hur långt SKB kommit. Inspektionen förutsätter att metodiken är fullt utvecklad inom en nära framtid för att SKB skall kunna utnyttja den till fullo i berglaboratoriet. Det framgår inte heller av FoU-program 89 vilken metod SKB ämnar satsa på.

### Borrhålsradar

Borrhålsradar har visat sig vara mycket värdefull vid karakterisering av sprickgeometrier inom ca 100 m radie. Utvecklingen av antenner med riktningsverkan måste bedömas som mycket värdefull eftersom det hittills har varit komplicerat att bedöma den absoluta riktningen av de detekterade planen.

Försöken i Stripa med injektering av saltvatten i sprickzoner för att påvisa vilka delar av sprickzonen som är vattenförande har varit framgångsrika. Detta är positivt men reser frågan om metodikens räckvidd och upplösning i fallet att SKB väljer en förvarsposition i salt grundvattenmiljö. Metodikens begränsningar i olika grundvattenmiljöer bör utredas ytterligare.

### Vattenkemiska mätningar i borrhål

Svårigheterna med kemisk analys av grundvatten ligger framför allt på provtagningsidan. Risken är stor att vattnet kontamineras t ex genom att det blandas med spolvatten och/eller grundvatten från högre nivåer. Den kemiska sammansättningen kan också ändras då vattnet under provtagningen kommer i kontakt med syrgas, vilket kan leda till ändrade redoxförhållanden och utfällning av fasta faser. Om gaser finns lösta i grundvattnet, så avgår dessa helt eller delvis då vattnet pumpas upp till ytan.

För att komma till rätta med problemen med vattenkemiska borrhålsmätningar, har SKB utvecklat ett avancerat mobilt fältlaboratorium som medger noggranna analyser av elektrolyt- och gasinnehåll, pH och Eh. Inspektionen vill framhålla vikten av att vattenanalyserna görs med

anknytning till omfattande sprick- och bergmineralanalyser. En god områdesspecifik kunskap är nödvändig för att tolka och analysera sprickfyllnadsminerals uppträdande och ålder samt rådande grundvattenkemi. Det är först när vattenanalysdata kan korreleras med relevanta sprick- och bergmineraldata och detaljerad kunskap finns om geologi och hydrogeologi, som förutsättningarna finns för att få en helhetsbild av berg/grundvattensystemet.

### Spårförsök

Spårförsök är av avgörande betydelse för att bestämma bergets transportegenskaper. Den av SKB utvecklade metodiken för spårförsök som genomförts i Finnsjön tycks vara av hög kvalitet. Inspektionen anser dock att SKB borde lägga ner mer resurser på att utveckla spårförsöksmetodik för olika skalor, specier och strömningssituationer.

För närvarande genomför SKB ett kvalitativt spårförsök där en teknik att optiskt registrera spårämnesgenombrott i tunnlar med UV-ljus provas. SKI anser att försöken verkar lovande men vill poängtera att metodikens begränsningar måste utredas ordentligt innan den kan användas i praktiken.

### Bergspänningsmätningar

Bergets spänningstillstånd är en viktig parameter, exempelvis bergspänningarnas inverkan på de geohydrologiska parametrarna. Problemet med omfördelningen av spänningar kring tunnlar och sammanhängande skinzonseffekt har redan behandlats i föregående avsnitt. SKI delar helt SKBs åsikt att existensen av skinzoner kan ha stor betydelse för säkerhetsanalysen och de kräver således ytterligare studier.

Det existerar i stort sett två principmetoder för bestämning av bergspänningar i borrhål. Dessa är överborrning och hydraulisk spräckning som båda har sina för- och nackdelar. SKB bör enligt SKI fortsättningsvis använda sig av bägge metoderna för att ytterligare utreda metodernas användbarhet. Det är väsentligt att SKB utvecklar en hög kompetens inom området. De erfarenheter SKB haft via sitt samarbetsavtal med AECL har visat att utvärderingen av spänningsmätningar inte är trivial. Fortsatt arbete inom detta område borde med fördel kunna utföras i berglaboratoriet, vilket även har indikerats av SKB.

### Positionsmätning i borrhål

SKBs begränsade förstudier med teknik att märka borrhål på bestämda djup för att senare med varje använd mätmetod kunna kalibrera djupmätningar är enligt SKI

ett viktigt steg att förbättra möjligheterna att utföra exempelvis statistiska korrelationsstudier där olika mätresultat ska jämföras med varandra. Metodiken eller alternativ bör utvecklas vidare och ges en hög prioritet.

#### 8.4 Observationer i och från tunnlår

Problemet med hydrauliska mätningar från tunnlår har berörts i ett tidigare avsnitt. SKI ställer sig något tveksam till att SKB verkligen kan utnyttja tunnelobservationer till den grad som indikerats i föreliggande forskningsprogram. Inspektionen kommer att följa utvecklingen inom detta område fortlöpande för att själv kunna värdera de resultat och mätningar som tas fram exempelvis i berglaboratoriet.

Det är viktigt att genomföra tunnelkartering. Karteringen ger underlag för bla dimensioneringen av förstärkningar men ger även information som kan utnyttjas för att karakterisera bergmassan i tunnelns omgivning.

Metodik existerar som tillåter att prognoser görs utifrån punkt- och linjeinformation av geologin till en 3 D bild av en större bergplint. Metoderna kräver ytterligare utveckling. Framförallt gäller dock att karteringen måste genomföras konsekvent och med en kvalitetsnivå som överensstämmer med de metoder som senare planeras att utnyttjas. Det är därför viktigt att ambitionsnivån och behovet av kartering fastläggs relativt tidigt.

SKI instämmer i SKBs åsikt att för att en kartering ska bli väl genomförd under besvärliga förhållanden under eventuell tidspress så krävs mycket god samplanering med bergarbetena. SKB bör tex i samband med byggandet av berglaboratoriet vara mycket observant på att det verkligen ges tillfälle till att tunnelkartering utförs på rätt sätt och att ambitionsnivån inte anpassas till byggandet istället för att samla in nödvändig kunskap som berglaboratoriet är avsett för.

## 9 UNDERJORDISKT BERGLABORATORIUM

### 9.1 Allmänna synpunkter

SKI följer SKBs arbete med projekt berglaboratorium med intresse. Detaljsynpunkter på programmet har givits och ges fortlöpande av SKI till SKB.

Inspektionen ger i samband med denna granskning av FoU 89 endast ett antal allmänna synpunkter på projektupp-läggning och tidplaner. Vissa detaljsynpunkter på aktiviteter lämpliga att knyta till berglaboratoriet har nämnts i föregående avsnitt av detta gransknings PM. SKI kommer att fortlöpande lämna kommentarer och detaljsynpunkter direkt till SKB under projektets gång.

SKI vill framhålla berglaboratoriets betydelse för ett framgångsrikt slutförvarsprogram. Ur inspektionens synpunkt är två aspekter av särskild betydelse - modellvalidering och platskaraktisering.

Fortfarande återstår stora insatser för att utveckla och validera modeller för säkerhetsanalysen. Ett nytt berglaboratorium på ett tänkt förvarsdjup ger unika möjligheter för valideringsexperiment i olika skalor, förutsatt att det görs på rätt sätt. Samtidigt kan man konstatera att vad som görs i berglaboratoriet måste göras "rätt" inom en övergripande valideringsstrategi. Om man å andra sidan inte lyckas ta till vara berglaboratoriets möjligheter i detta sammanhang skulle detta kunna medföra avsevärda förseningar i slutförvarsprogrammet.

Berglaboratoriet ger också stora möjligheter att utveckla och testa metoder för platskaraktisering och dessutom koppla dessa till säkerhetsanalysens behov. Även under genomförandet av platsundersökningar finns kopplingar mellan fältarbete och säkerhetsanalys. Dessa bör ske i samverkan och interaktivt och det är angeläget att denna möjlighet tas till vara optimalt under första hälften av 1990-talet.

Inspektionen har förståelse för att SKB har behov av en referensanläggning för att i större skala pröva utformningen av slutförvarssystemet. SKI vill å andra sidan påpeka att de föreslagna insatserna kan komma att bli mycket omfattande, både på mätsidan och modelleringssidan. Det är bla annat nödvändigt att hydrogeologiska data analyseras och integreras med de geologiska och grundvattenkemiska undersökningarna, samt att dessa resultat sätts samman i kvalitativa och kvantitativa modeller.

För att SKB ska göra en riktig prioritering av dessa insatser bör en värdering av valideringsnyttan jämfört med kraven från säkerhetsanalysen göras. Det kan vara tänkbart att ett fåtal väl kontrollerade försök av den typ som SKB idag genomför i Finnsjön och Stripa (SCV) ger betydligt mer information än de insatser som planeras i berglaboratoriet. SKB bör analysera detta och ta fram en klar strategisk beskrivning av berglaboratoriets funktioner på olika nivåer.

## 9.2 Lokalisering

Beträffande lokaliseringen av berglaboratoriet har SKI yttrat sig i i brev till SKN. SKI vill här endast understryka att det visat sig att geologin och den tektoniska bilden av Äspö är relativt komplicerad och varierande. Detta ställer höga krav på detaljeringsgraden för platskaraktiseringen. Vissa enskilda försök kommer sannolikt att kräva större omsorg i själva detaljplaneringen och framtagandet av parametrar än vad fallet skulle ha varit med en mer homogen bergmassa.

Bergartstypen "Äspödiorit" på större djup än 300 m är inte typisk för denna region som i normala fall helt domineras av Smålandsgranit. En nackdel med att förlägga berglaboratoriet i Äspödioriten kan vara att de specifika data och resultat som tas fram med denna placering av anläggningen i Äspödiorit endast blir representativ mycket lokalt. Detta gäller även om viss information erhålls i samband med utsprängningen av tunnel och spiral ner till och på anläggningsdjupet. Tolkningen av de planerade storskaliga experimenten kan därigenom försvåras och eventuellt omintetgöras. SKI anser att SKB bör väga in och analysera detta ytterligare innan beslut tas för den exakta placeringen av berglaboratoriet.

## 9.3 Datainsamling

Berglaboratoriet är tänkt att anläggas på ca 500 m djup där försök av intresse för förvarsutformning och säkerhetsanalys ska utföras. Inspektionen vill i detta sammanhang erinra om SKIs granskning av FoU-program 86. I detta dokument framfördes att SKB bör ta fram ett program som allsidigt belyser de faktorer som är av säkerhetsmässig betydelse för val av förvarsdjup.

Förlägningsdjupet av berglaboratoriet bör väljas så att det ger upplysningar om förhållanden på det djup där ett slutförvar kan komma att placeras. Detaljundersökningar innan anläggningsarbetena påbörjas (förundersökningsskedet) bör dessutom omfatta de djup som överhuvudtaget kan bli aktuella för ett slutförvar. Detta behövs för att säkerställa att berglaboratoriet även i framtiden, om krav på djupare förvarsplacering ställs, kan utnyttjas för de mål som SKB ställt upp för



berglaboratoriet.

SKI kan konstatera att det i dag saknas en tillräcklig analys av val av förvarsdjup. Detta innebär att det råder en viss osäkerhet om vissa av de mål som satts upp för berglaboratoriet verkligen i slutändan kan uppfyllas. Vissa av de undersökningar som SKB ämnar utföra på 500 m nivån är endast representativa för detta djup och kan troligtvis inte utnyttjas om ett förläggningsdjup av exempelvis 1000 m väljs i en framtid.

I avaktan på en fullständig analys av förvarsdjupets betydelse ur säkerhetssynpunkt bör SKB tillse att förundersökningsetappens datainsamling tillåter att berglaboratoriet i ett senare skede kan utvidgas till att omfatta flera nivåer på större djup än föreslagna 500 m. Inspektionen anser att det inte räcker att SKB indikerat en möjlighet att utöka berglaboratoriet till större djup om detta påkallas av erhållna forskningsresultat eftersom projektets nuvarande tidplan knappast ger rum för en sådan förändring.

#### 9.4 Tidplan

För att en stor del av etappmålen med FoU verksamheten i berglaboratoriet skall kunna uppfyllas förutsätter SKB att alla väsentliga data är insamlade innan tunnel/schakt drivning påbörjas. En orsak är att utsprängningen av anläggningen med nödvändighet innebär att den naturliga grundvattensituationen förändras, dvs systemet man är intresserad av störs i sådan grad att det inte är möjligt att komplettera i efterhand med data som kan behövas.

I förundersökningsskedet ingår ett långtidspumptest i kombination med ett radiellt konvergerande spår försök. Försöken föregås av en prediktiv modellering och avslutas med en utvärdering. Mellan utvärderingsfasen av förundersökningsetappen och byggstart finns avsatt ca 3 månader.

Inspektionen vill understryka att den avsatta tiden mellan utvärdering av förundersökningsetappen och byggstart måste bli tillräckligt lång så att SKB inte riskerar att styras av tidplaner för bygget istället för huvudsyftet nämligen det vetenskapliga kunskapsinhämtandet.

Tid måste avsättas för den nödvändiga återkopplingen mellan beräkningar och utvärdering. För komplicerade beräkningar krävs i regel flera "misslyckade försök" innan man har lyckats formulera hur de mest intressanta beräkningarna skall genomföras. Detta påpekande gäller generellt samtliga tidplaner inom projektet.

### 9.5 Redovisning och "peer review"

De experiment som kommer att utföras i berglaboratoriet kommer att tilldra sig stort internationellt intresse. Det är därför väsentligt att all dokumentation skrivs på engelska. Detta möjliggör enligt SKIs åsikt att programmet utsätts för den nödvändiga kritiska vetenskapliga granskningen ("peer review") som måste till för att optimal information ska kunna erhållas ur de genomförda experimenten samt att rätt experiment utförs.

SKI noterar med tillfredsställelse att SKB ämnar utnyttja någon typ av "peer review" i sitt program för berglaboratoriet. Internationellt sammansatta grupper knutna till Stripa projektet och INTRAVAL har nämnts i sammanhanget.

Erfarenheterna från berglaboratoriet avses ha en avgörande betydelse i den kommande platsvalsprocessen. Det är därför nödvändigt att data och information som tas fram inom ramen för detta projekt blir lätt tillgängliga för en oberoende granskning.

Byggandet av berglaboratoriet samt tillhörande forskningsprogram kommer att kräva stora resurser. SKI utgår ifrån att SKB kan ställa tillräckliga medel till förfogande för berglaboratoriet liksom för övrig FoU-verksamhet. Det är självklart så att vissa experiment torde kunna ge betydligt mer i utbyte om de inte genomförs i berglaboratoriet utan i någon för dessa experiment mer lämplig miljö.

Inspektionen anser det viktigt att SKB utför och presenterar återkommande analyser som kan tjäna som underlag för dess ställningstagande hur resursfördelningen ska ske mellan berglabsanknuten och övrig verksamhet.

## 10 STRIPA-PROJEKTET

Det internationella Stripa-projektet närmar sig sitt slut 1991. Det finns idag inga planer att fortsätta med ytterligare en ny fas.

Stripa-projektet har enligt SKIs åsikt haft stor betydelse för att utveckla ny kunskap inom viktiga områden för analysen av ett framtida förvars funktion och säkerhet. Resurserna har lagts på några väl definierade specifika problemkomplex, vilket förhindrat att insatserna blir alltför splittrade. Kvalitet på resultaten har eftersträvats istället för kvantitet. Genom att uppnådda resultat granskas kontinuerligt och fortsatta forskningsinsatser diskuteras bla vid TSG-möten så har projektet uppnått en hög vetenskaplig standard. Enligt inspektionen bör stora delar av Stripa projektets uppläggnings och organisation kunna tjäna som en mall för hur arbetet vid berglaboratoriet bör organiseras. Det är viktigt att SKB verkligen väger in och tar hand om de erfarenheter och den kunskap som erhållits inom Stripa-projektet nu när berglaboratoriet ska ta över dess roll.

## 11 NATURLIGA ANALOGIER

SKI behandlar naturliga analogier i avsnitt 7 i samband med frågan om validering av transportmodeller.

## 12 BIOSFÄRSSTUDIER

Statens strålskyddsinstitut är den myndighet som ansvarar för bedömningar av radioaktiva ämnens spridning i biosfären och de strålskyddsmässiga aspekterna av detta. SKI kommenterar därför inte närmare de av SKB planerade forskningsinsatserna inom biosfärsområdet. Inspektionen vill emellertid här anföra några principiella synpunkter som har anknytning till scenarie- och kriterieutveckling.

Förändringarna i biosfären är genom olika processer mycket snabbare och mycket svårare att förutsäga än förloppen i geosfären. Detta innebär att biosfären delvis måste behandlas på ett annat sätt i säkerhetsanalysen än förvarets närområde och geosfären vilket också måste återspeglas i scenarie- och kriterieutveckling.

SKB diskuterar i FoU-programmet meningsfullheten av att göra dosuppskattningar för sådana tidsperspektiv att klimatförändringar och glaciation måste tas med i bilden. Frågan om hur biosfärsanalyser skall genomföras är, som SKB också påpekar, starkt knuten till valet av acceptanskriterier. Utvecklingen på detta område under de senaste åren har återspeglat insikten om att doser baserade på absoluta förutsägelser av biosfärens utveckling inte kan beräknas för mer än korta tidsrymder. Osäkerheterna ökar med tiden m.a.p. det mänskliga samhällets och ekosystemets utveckling (hundraårsperspektiv) och storskaliga klimatförändringar (tusentals eller tiotusentals år). Det är fråga om gradvis ökande osäkerhet snarare än någon bestämd tidpunkt vid vilken systemet övergår från att vara förutsägbart till att vara oförutsägbart. Samtidigt som denna osäkerhet om biosfärens utveckling ökar är de geologiska förhållandena relativt stabila även i miljonårsperspektiv.

Det finns mot denna bakgrund, och mot bakgrund av den kriterieutveckling som pågår, enligt SKIs uppfattning ingen grundval för att begränsa biosfärsanalyserna till en viss bestämd tidpunkt. Fortsatt arbete med scenarieutveckling bör i stället enligt SKIs uppfattning kunna resultera i ett antal biosfärsscenarioer som tillsammans ger en sådan spännvidd att möjliga långsiktiga förlopp i biosfären täcks in. Därmed tillåts anspråken på att förutsäga biosfären successivt minska med tiden.

Den här antydda utvecklingen av kriterier och scenarier minskar inte vikten av SKBs forskning kring processer i biosfären som kan vara av betydelse för radionuklidernas transportvägar och upptag i biologiska system. Kunskaper om dessa processer kommer att behövas för att analysera de scenarier som tas fram.

### 13 RIVNING AV KÄRNKRAFTVERK

När ett kärnkraftverk tas ur drift är det radioaktivt kontaminerat. Målet för rivningsarbetet efter det att verket tagits ur drift är att området efter viss tid skall återställas så att det kan användas utan radiologiska begränsningar. Enligt SKB finns huvuddelen av den teknik som behöver användas vid rivningen redan tillgänglig. Vissa studier har dock genomförts och andra planeras för att förbättra underlaget för planering av rivningsarbetet. Ett exempel är studien av det genomförda ånggeneratorbytet i Ringhals 2.

SKB följer projekt av betydelse i utlandet. Så gäller för ett särskilt program för informations- och erfarenhetsutbyte mellan olika nedläggningsprojekt inom OECD/NEA. Även inom EG och inom IAEA pågår arbeten som behandlar rivningsfrågor.

Tidplanen för att genomföra nödvändigt FoU-arbete är nära förknippad med tidplanen för rivning av kärnkraftverken. SKB anger att inget rivningsarbete kommer att påbörjas förrän tidigast år 2010 då samtliga kärnkraftverk enligt de svenska planerna skall vara avstängda.

Några år innan den planerade rivningstidpunkten måste nödvändigt underlag vad beträffar rivningsmetoder, klassning av avfall, transporter mm finnas tillgängligt. SKB framhåller att eftersom så mycket utvecklingsarbete görs utomlands så är det inte motiverat att starta några separata svenska arbeten under den kommande sexårsperioden.

Vissa insatser t ex beträffande teknik för rivning av det biologiska skyddet, metoder för aktivitetsmätning, dekontaminering för ~~pl060X~~ friklamningar SKB dock bör påbörjas relativt tidigt. Under de närmaste åren kommer huvuddelen av insatserna att koncentreras kring möjligheterna att ta hand om en hel reaktortank.

Inför rivningen av kärnkraftverken måste även slutförvaret för rivningsavfallet stå färdigt. Slutförvaringen skall ske i SFR efter utbyggnad av anläggningen. För detta fordras särskilt regeringstillstånd.

SKB framhåller också att myndigheterna bör ta ansvar för att klargöra vissa administrativa frågeställningar, t ex vilken form av tillstånd som behövs och vilken redovisning som myndigheterna kommer att kräva.

SKI har inga invändningar mot den planering för rivningen av kärnkraftverken som SKB har redovisat eller på inriktningen av det FoU-program som redovisats.

SKI bedriver visst eget FoU-arbete för att ge myndigheten det kunskapsunderlag som behövs inför kommande beslut. Ett exempel är ett projekt om kategorisering av rivningsavfall. SKI följer också det arbete som SKB bedriver och även det internationella arbetet.

SKI kommer att överväga de frågor om tillstånd mm som SKB har aktualiserat och ta nödvändiga initiativ.

#### 14 INTERNATIONELLT SAMARBETE

SKB redovisar ett omfattande internationellt arbete med olika internationella organ såsom IAEA och OECD/NEA liksom med ett stort antal länder med vilka SKB träffat samarbetsavtal. SKB nämner också de av SKI initierade internationella samarbetsprojekten HYDROCOIN (modelljämförelse för hydrologimodeller) samt INTRAVAL (validering av transportmodeller).

SKI instämmer med SKBs uppfattning att ett internationellt samarbete i många fall är ett effektivt sätt att följa och ta till vara resultat från den forskning och utveckling som sker i andra länder. Vissa frågeställningar, t ex validering av säkerhetsanalytiska modeller, är dessutom av den arten att internationellt samarbete är nödvändigt. SKI vill betona betydelsen av att Sverige fortsätter att spela en framträdande roll i internationella sammanhang. En förutsättning för detta och för att samarbetet skall ge önskvärda effekter i form av kunskapsutveckling i Sverige är att det svenska programmet inom vissa områden kan fortsätta vara ledande så att Sverige förblir en intressant samarbetspartner.