

# **Kärnbränslecykelns slutsteg**

---

## **Använt kärnbränsle – KBS-3**

### **Program för forskning och utveckling**

---

**SKBF**

# Kärnbränslecykelns slutsteg

Använt kärnbränsle –KBS-3

**Program för forskning  
och utveckling**

**SKBF**

Svensk Kärbränsleförsörjning AB

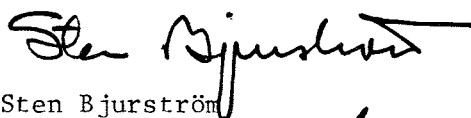
*POSTADRESS: SKBF/KBS, Box 5864, Stockholm, Telefon 08-67 95 40*

## FÖRORD

Syftet med detta program är att uppfylla det redovisningskrav, som anges i 6 § 2 i lagen om kärnteknisk verksamhet (1984:3). Det utgör, tillsammans med den i maj 1983 utgivna rapporten "Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle, KBS-3", underlag för ansökan om tillstånd för laddning av Forsmark 3 och Oskarshamn 3.

Stockholm i februari 1984

SVENSK KÄRNBRÄNSLEFÖRSÖRJNING AB



Sten Bjurström



Lars B Nilsson

# KAPITELINDELNING

1	Inledning	1
2	KBS-3 och FoU-insatsernas genomförande	7
3	Använt kärnbränsle	13
4	Anläggningar och utrustningar	15
5	Platsundersökningar	17
6	Bergets grundvattenrörelser	21
7	Grundvattnets och spricksystemens kemi	25
8	Berggrundens förändringar	29
9	Buffert och återfyllnadsmaterial	33
10	Kapsel och kapselkorrosion	37
11	Bränsle och bränsleupplösning	41
12	Radionuklidkemi i grundvattenmiljö	43
13	Nuklidspridning i närområdet	45
14	Nuklidspridning i berget	47
15	Spridning och exposition i biosfären	51
16	Stråldoser och hälsoeffekter	55
17	Säkerhetsmässiga principer	57
18	Platsspecifika data	59
19	Radiologisk säkerhet under drift	61
20	Det slutna förvarets säkerhet	63
21	Missöden och extrema händelser	67
22	Stripa-projektet	69
23	Internationellt samarbete	73
<u>Bilaga:</u>	Översiktlig sammanställning av planerade FoU-insatser	

# 1 INLEDNING

## 1.1 GÄLLANDE LAGSTIFTNING

I maj 1983 ingavs till regeringen ansökan om tillstånd att tillföra kärnämne till reaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3. Ansökan stöder sig på en rapport, som beskriver hur en säker hantering och slutlig förvaring av använt kärnbränsle kan åstadkommas. Rapporten är utarbetad inom SKBF och benämnd KBS-3.

En ny lag om kärnteknisk verksamhet (1984:3), antogs av riksdagen i januari 1984. Den gäller från 1984-02-01 och dess bestämmelser skall tillämpas vid regeringens prövning av tillståndsansökningarna för Forsmark 3 och Oskarshamn 3. I denna lag anges bl a:

"6 § Utöver tillstånd enligt 5 § krävs särskilt tillstånd av regeringen för att en kärnkraftsreaktor första gången skall få tillföras kärnämne så att en självunderhållande kärnreaktion kan ske.

Tillstånd lämnas endast om reaktorns innehavare har

1 visat att det för hantering och slutlig förvaring av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall som härrör från detta finns en metod som kan godtas med hänsyn till säkerhet och strålskydd, och

2 företett ett program för den forsknings- och utvecklingsverksamhet som behövs för att i reaktorn använt kärnbränsle och radioaktivt avfall som härrör från detta skall kunna hanteras och slutförvaras på ett säkert sätt."

Det krav på redovisning av en godtagbar metod, som ställs i den nya lagens 6 § 1 bedöms av sökandena vara uppfyllt genom KBS-3-rapporten (Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle, KBS-3, Stockholm 1983).

Det program för forsknings- och utvecklingsverksamhet, som krävs för tillstånd enligt 6 § 2 redovisas i denna rapport.

## 1.2 FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGSVERKSAMHETENS INNEHÅLL

Det forskningsprogram som avses i 6 § 2 omfattar således samtliga insatser av FoU-karaktär som föregår konstruktion och byggande av de anläggningar som ingår i slutförvarssystemet. Dessa insatser kan hänföras till tre områden

- 1 Fortsatt utveckling av slutförvarssystemet
  - Förvarssystem
    - \* Teoribildning och modellutveckling
    - \* Dataunderlag rörande systemets barriärer
    - \* Matematiska beräkningsmodeller för att belysa barriärernas funktion på lång sikt
    - \* Optimering genom jämförande funktions- och säkerhetsanalyser
  - Förläggingsplats
    - \* Teoribildning och modellutveckling
    - \* Mätmetoder och instrument
    - \* Platsspecifikt dataunderlag
    - \* Matematiska modeller för beräkning av grundvattenrörelser, nuklidspridning m m
    - \* Utvärdering av olika förläggingsalternativ.
- 2 Platsval
  - Slutlig utvärdering för platsval
  - Myndighetsbehandling och kompletterande insatser.
- 3 Utveckling av utrustningar och hanteringsmetoder
  - Underjordsarbeten
  - Inkapsling
  - Hanteringsutrustningar
  - Arbetarskydd
  - Kvalitetskontroll
  - Tillslutning och försegling
  - Långsiktigt informationsbevarande

I KBS-3 redovisas det kunskapsunderlag på vilket en bedömning av genomförbarheten av en säker slutförvaring har gjorts. Insatserna enligt 1 syftar till en breddning och fördjupning av underlaget för att möjliggöra jämförelser av den långsiktiga säkerheten vid varierande systemutformningar och olika förläggingsplatser. Dessa insatser kommer i huvudsak att genomföras fram till år 2000.

I säkerhetsanalysen i KBS-3 har flera för säkerheten gynnsamma omständigheter inte kunnat utnyttjas därför att tillgängliga kunskaper inte medger kvantifiering av vissa faktorer och förlopp.

Exempel härpå är att man helt bortsett från fördröjningseffekter i sprickzoner och kopparkapselns skyddseffekt efter ett punktgenombrott. De fortsatta FoU-insatserna enligt 1 kommer att inriktas på en optimal dimensionering av förvarssystemet. Härför krävs en breddning av underlaget för att bli täcka kunskapsluckor av ovan nämnt slag.

Insatserna enligt 2 syftar till att presentera underlaget för ett slutligt platsval kring år 2000.

Insatserna enligt 3 är främst av teknisk karaktär och bygger väsentligen på känd teknik. Några tekniska problem som skulle kunna äventyra systemets genomförbarhet föreligger inte och det är inte meningsfullt att under den närmaste tiden vidareutveckla och detaljstudera en tillverknings- och hanteringsteknik som förutses bli använd först om ca 35 år. Dessa insatser bedöms därför till sin huvuddel bli genomförda efter sekelskiftet. Dessutom torde det då bli möjligt att utnyttja kunnande och erfarenheter från andra länder som avser att påbörja deponeringen tidigare än Sverige.

Krav på redovisning av program för forsknings- och utvecklingsarbete ställs, förutom i den nya lagens 6 § 2, även i dess 12 §. Där avses emellertid en fortlöpande redovisning av ett "allsidigt" program, vilket innebär att det skall ta upp och värdera olika metoder och lösningar. Redovisning enligt 12§ skall ske vart tredje år med början 1986. Även om det här redovisade programmet endast hänför sig till lagens 6 § 2, dvs anknyter till ett förvarssystem enligt KBS-3, avser SKBF att initiera vissa studier avseende alternativa lösningar även under tiden fram till 1986. Flera av de här redovisade insatserna är också av sådan art att resultaten kan utnyttjas för olika principiella lösningar.

I den allmänna debatten talas ofta om att "största möjliga säkerhet" måste eftersträvas. En strikt tillämpning av en sådan målsättning skulle leda till att ett förvarssystem aldrig börjar byggas, då varje presenterad lösning alltid kan göras ännu säkrare antingen genom att man vidtar ytterligare åtgärder eller att man fortlöpande avvaktar en fortsatt teknisk-vetenskaplig utveckling. Liksom inom andra områden, där normer och föreskrifter krävs för att skydda människans miljö måste det vara samhällsorganen som i jämförelse med risker och säkerhetskrav inom andra verksamheter fastställer vilken säkerhetsnivå som skall krävas. SKBFs FoU-insatser bedöms kunna ge ett betydelsefullt underlag för de svenska myndigheternas arbete med normer och riktlinjer.

### 1.3 MÅLINRIKTNING OCH FLEXIBILITET

Här redovisat FoU-program är målinriktat mot att ge det detaljerade underlag som krävs för att praktiskt genomföra det slutför-

varssystem som beskrivs i KBS-3. Detta hindrar inte att programmet har inslag av vad som kan betecknas grundläggande forskning.

Tidsplanemässigt är denna rapport baserad på den övergripande plan med förutsedda utvärderings- och rapporteringstidpunkter, som visas på figur 2-2. Tidplanen bygger på gällande lagar och beslut rörande det svenska kärnkraftsprogrammet samt på de principer som anges i KBS-3 för hantering och slutförvaring, vilket bl a innebär en 40-årig mellanlagring i CLAB av det använda bränslet. Tidplanen används här som ett planeringsunderlag. För det reella genomförandet finns en betydande flexibilitet.

Byggandet av slutförvaret och tillhörande anläggningar skall enligt planen i figur 2-2 starta år 2010 och deponeringen påbörjas år 2020. Efter 2050 kan förvaret förslutas. Tiden fram till år 2010 kan därför användas för platsundersökningar, utformning av ett tekniskt och ekonomiskt optimerat förvarssystem, platsval och myndighetsbehandling av en tillståndsansökan.

För att FoU-verksamheten skall bli effektiv måste det finnas en sådan flexibilitet i den fortlöpande planeringen att programmet successivt kan anpassas till de resultat som uppnås såväl inom den egna verksamheten som internationellt. Detta innebär att SKBF, som har det direkta ansvaret för programmet, också har ansvar för att successivt anpassa programmet till kunskapsläget vid olika tidpunkter.

#### 1.4 RAPPORTENS INNEHÅLL OCH UPPLÄGGNING

Som tidigare nämnts omfattar det här presenterade FoU-programmet främst insatser, som har betydelse för genomförandet av ett system enligt de principer, som ligger till grund för KBS-3. Ett "allsidigt" program, där även andra principlösningar behandlas, skall i enlighet med 12§ i lagen om kärnteknisk verksamhet redovisas senare (1986).

Exempel på frågor som därför inte behandlas här utan helt hänförs till det allsidiga programmet är alternativa bränslecykelstrategier (upparbetning m m), andra kapsel- och buffertmaterial än koppar och bentonit, alternativa utformningar av slutförvaret (WP-cave, djupa borrhål etc) samt betydelsen av olika mellanförvaringstider i CLAB (påverkar temperaturen i slutförvaret).

Någon skarp gräns kan inte anges mellan vad som hör till detta program, som är knutet till KBS-3, och vad som hör till ett allsidigt program. Så länge man håller sig till deponering av använt bränsle i den svenska berggrunden kommer en mycket stor del av resultaten av här redovisade undersökningar att kunna tillämpas även på förvarssystem, som utformas på annat sätt. Det är också SKBFs avsikt att redan nu initiera vissa undersökningar med sikte på det allsidiga programmet.



När denna rapport skrivs (februari 1984) har endast en del av remissyttrandena över KBS-3 kommit in. De synpunkter på FoU-insatser, som där anges har inarbetats i programmet. Synpunkter i senare inkomna remissyttranden kommer att beaktas allteftersom de föreligger.

Den här lämnade redovisningen följer fr o m kapitel 3 kapitelindelningen i KBS-3-rapporten. Kapitel 2 innehåller en genomgång av hanteringsgången i det system som presenterats i KBS-3. Samma kapitel behandlar organisationen av FoU-planens genomförande och tidplaneringen. Rapporten avslutas med två kapitel rörande Stripa-projektet respektive internationellt samarbete. De viktigaste FoU-insatserna inom olika ämnesområden har översiktligt sammanställts i en bilaga i slutet av rapporten.

Frågorna kring kärnavfallet är inte enbart av teknisk och ekonomisk natur utan har också psykologiska och socio-politiska inslag. Dessa behandlas inte i detta program då de i första hand synes vara en angelägenhet för berörda myndigheter och politiska instanser. SKBF kommer att följa utvecklingen och medverka genom att lämna en saklig och öppen information om sin verksamhet.

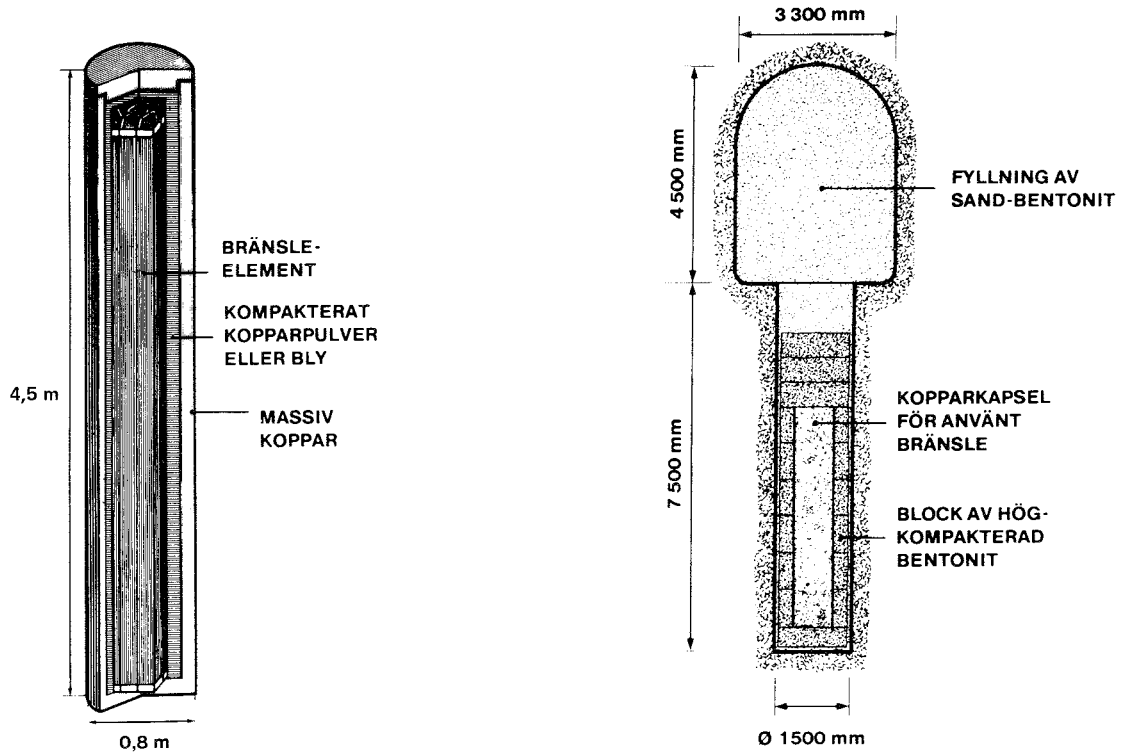
## 2 KBS-3 OCH FOU-INSATSERNAS GENOMFÖRANDE

### 2.1 HANTERINGSGÅNG I KBS-3

Redovisningen i KBS-3 anger de hanteringssteg i form av transporter, lagring och behandling, som ingår i ett system för slutförvaring av använt kärnbränsle.

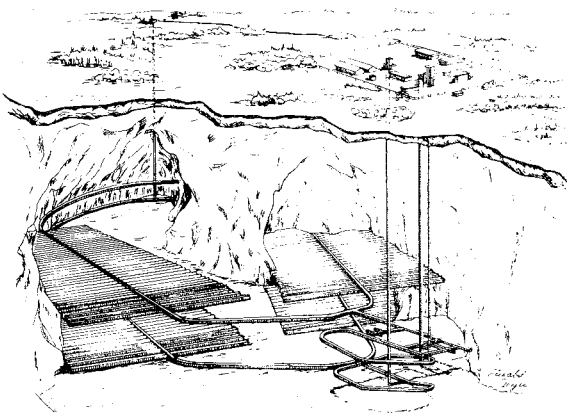
Den föreslagna hanteringsgången och huvuddragen i slutförvarets funktion är i korthet följande

- 1 Efter en tids lagring, minst sex månader, i kraftstationernas förvaringsbassänger transporteras bränslet till det centrala lagret för använt kärnbränsle, CLAB.
- 2 Bränslet förvaras i CLAB i vattenfyllda bassänger under en tid av cirka 40 år.
- 3 Efter lagringen i CLAB transporteras bränslet till en inkapslingsstation, som är belägen ovan jord i anslutning till slutförvaret. I inkapslingsstationen innesluts det använda bränslet i kopparkapslar.
- 4 Kopparkapslarna överförs till ett slutförvar nere i urberget. Förvaret utförs som ett system av tunnlar i vars golv förvaringshål borras. I förvaringshålerna omges kopparkapslarna med ett buffertmaterial, som består av block av högkomprimerad bentonit. Anläggningen förseglas genom att alla tunnlar och schakt fylls med en blandning av sand och bentonit.
- 5 Efter förseglingen börjar grundvattnet långsamt att tränga in i förvaret. Vid vatteninträngningen sväller bentoniten runt kapslarna och i återfyllningen i tunnlar och schakt.
- 6 När grundvattnet trängt igenom bufferten av bentonit kan i vattnet lösta ämnen diffundera genom de vattenfyllda porerna och nå kapselytan. Vissa av dessa ämnen kan angripa koppar och en ytterligt långsam nedbrytning av kapselmaterialet kan börja.

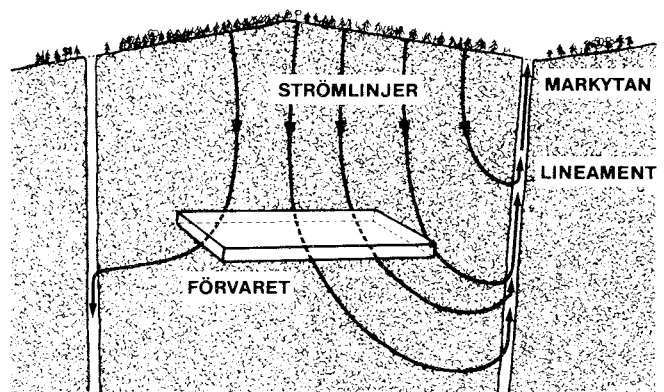


**BRÄNSLE INNESLUTET  
I KOPPARKAPSEL**

**DEPONERINGSHÅL  
MED KAPSEL**



**PRINCIPSKISS AV SLUTFÖRVAR**



**PRINCIPBILD AV FÖRVARETS  
FÖRLÄGGNING OCH AV  
GRUNDVATTENSTRÖMNINGEN**

- 7 Sedan en kapsel penetreras kan det använda bränslet långsamt börja lösas i vattnet. Utlösta ämnen sprids då genom diffusion genom bufferten och ut till omgivande berg.
- 8 Transporten i berggrunden kan ske i vattenförande sprickor och med olika hastighet för olika ämnen pga den fördröjning som sker genom sorption och indiffusion i mikrosprickor.
- 9 Efter mycket lång tid kan de radioaktiva ämnen som ännu inte avklingat nå biosfären och t ex via sjöar eller borrhålor, ge en dos till människan genom hennes intag av föda eller dricksvatten.

De moment som avses i punkterna 1 och 2, dvs lagringen i CLAB och transportsystemet, behandlas inte här, då de redan är under förverkligande och den detaljerade säkerhetsgranskningen pågår hos tillsynsmyndigheterna.

## 2.2 ORGANISATION AV FoU-ARBETET

De här beskrivna FoU-insatserna förutses komma att genomföras främst genom uppdrag från SKBF till forskningsinstitutioner, konsulter, industrier eller andra svenska och utländska grupper med erforderlig kompetens. Uppgiften för SKBFs egen personal är i första hand att initiera, planera och koordinera arbetet samt att sammanställa och dokumentera resultaten och att svara för den praktiska tillämpningen.

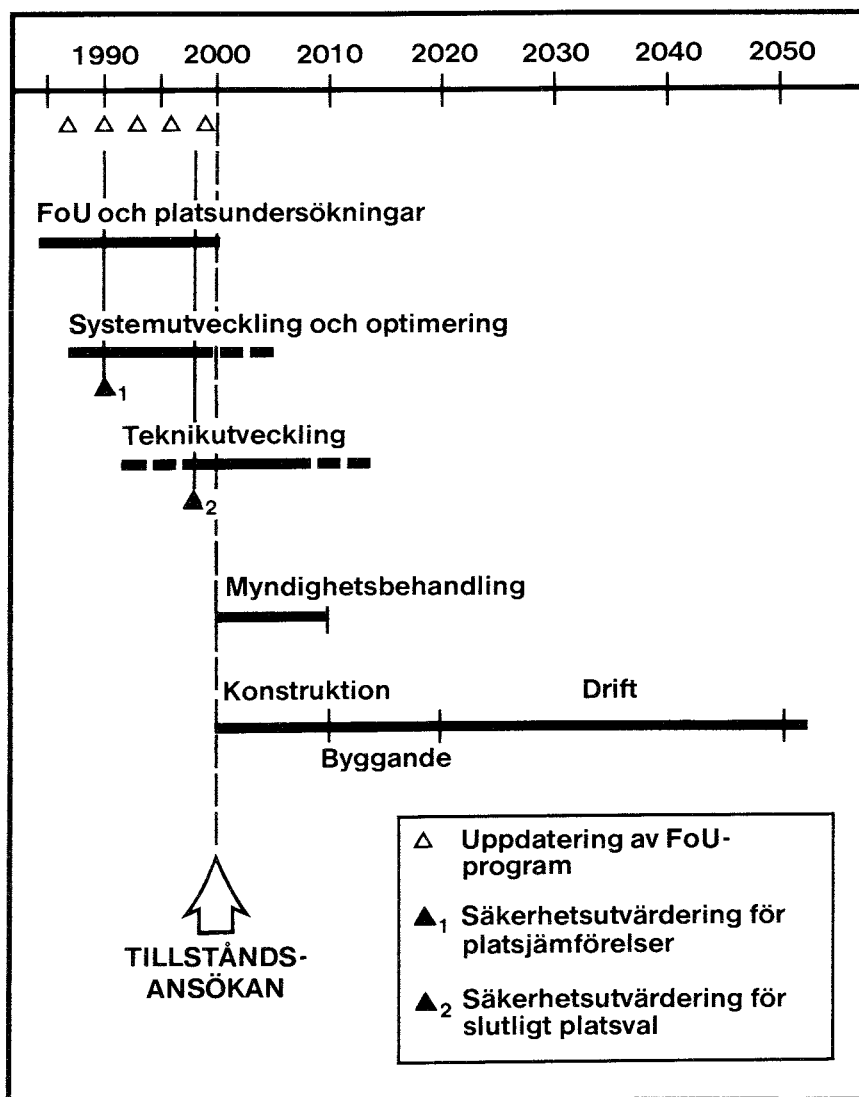
Ett viktigt och nödvändigt inslag i FoU-programmet utgör det informationsutbyte och de möjligheter till bilateralt samarbete som följer av de avtal som tecknats med motsvarande organisationer i andra länder. Se kapitel 23.

För att vetenskapligt pröva och diskutera forskningsresultaten kommer erhållna resultat att ges en omfattande internationell spridning, dels genom publicering i egna tekniska rapporter, dels genom publicering i vetenskapliga tidskrifter, deltagande i konferenser och genom en öppen och omfattande kontaktverksamhet.

I Sverige bedriver förutom SKBF även tillsynsmyndigheterna FoU-verksamhet inom området radioaktivt avfall. För att gränsområdet mellan dessa myndigheters och SKBFs ansvar för FoU-verksamhet skall bli bevakat bör fortlöpande samråd ske.

## 2.3. TIDPLANER

Basen för planering och uppläggning av FoU-insatserna utgörs av den övergripande tidplanen för förverkligande av ett slutförvarssystem. Den styr takten och tiden för olika insatser. Den ger



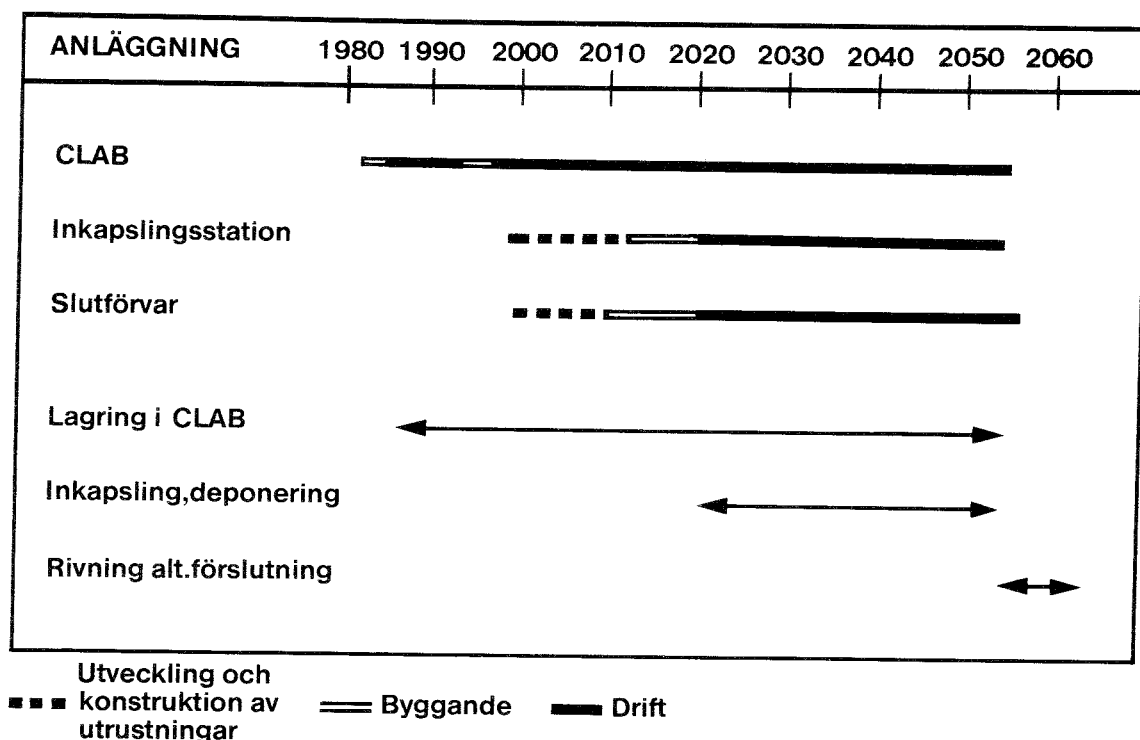
Figur 2-2. Övergripande tidplan

också måltidpunkterna för val mellan olika alternativ och slutligt platsval.

I figur 2-2 visas en övergripande tidplan för hela tiden fram till och med förslutningen av ett med kärnbränsle fyllt slutförvar.

Insatserna för att genomföra slutförvaringen av använt kärnbränsle måste innehålla följande moment

- Byggande och drift av ett mellanlager (CLAB)
- Platsstudier, rangordning av möjliga platser och val av förlägningsplats för slutförvar



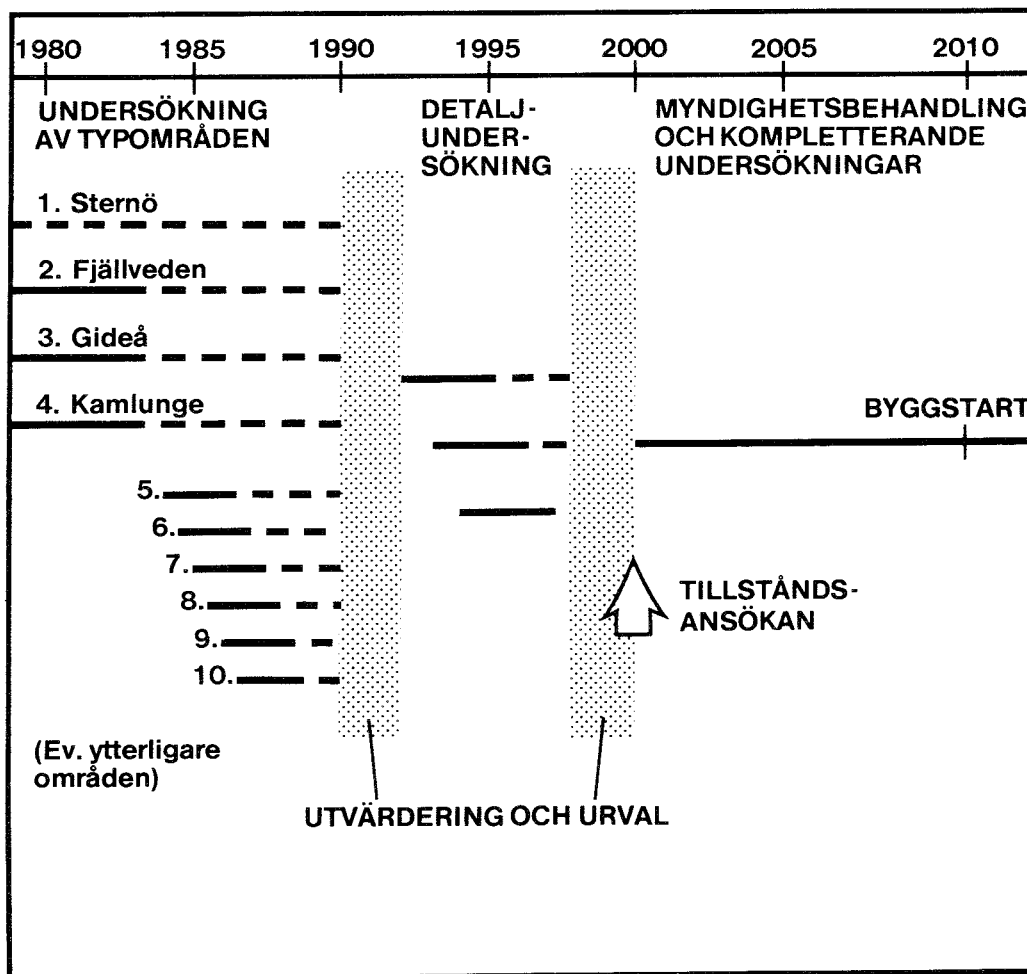
Figur 2-3. Tidplan för uppförande och drift av anläggningar

- Optimering av förvarssystemets tekniska utformning och anpassning till vald förlägningsplats
- Ansökan om lokaliseringstillstånd, säkerhetsredovisning och myndighetsgranskning
- Konstruktion och byggande
- Drift (inkapsling och deponering)
- Tillslutning av förvaret

CLAB kommer att tas i drift 1985. En andra utbyggnadsetapp förutses i mitten av 1990-talet.

För att deponering skall kunna påbörjas år 2020 måste anläggningar och system byggas upp under decenniet före. En tioårsperiod torde ge goda marginaler för detta. Tidplanen för uppförande och drift av de anläggningar och utrustningar som ingår i slutförvarssystemet visas i figur 2-3.

Planen förutsätter att en förlägningsplats är beslutad och godkänd av myndigheterna år 2010. För att ge myndigheterna och de politiskt ansvariga en väl tilltagen tid för att överväga och pröva platsvalet bör en lokaliseringsansökan inges omkring år 2000. Då måste också en systemoptimering vara genomförd så att ett till platsen anpassat system kan redovisas.



Figur 2-4. Tidplan för platsundersökningar

Platsstudierna och systemoptimeringen planeras bli genomförd i två steg motsvarande olika detaljeringsnivåer.

Första steget avslutas med en i början av 1990-talet genomförd jämförande bedömning av de då undersökta platserna. Nästa detaljeringsnivå genomförs under 1990-talet med kompletterande undersökningar av 2 à 3 utvalda platser samt studier av ett för varje plats optimerat förvarssystem.

Insatserna planeras så att en teknisk säkerhetsutvärdering kan göras under perioden 1995-2000. Under tiden 2000-2010 finns utrymme för att göra sådana kompletterande undersökningar som kan komma att krävas i samband med myndighetsbehandlingen.

I figur 2-4 visas en översiktlig tidplan för platsundersökningarna, successivt urval och myndighetsbehandling.

Uppläggningsen av platsundersökningarna diskuteras närmare i kapitel 5. Ett provschakt för FoU-ändamål kan bli aktuellt under första hälften av 90-talet.

## 3 ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE

### 3.1 BAKGRUND

Det använda kärnbränslet från de svenska reaktorerna skiljer sig något från reaktor till reaktor och är av olika konstruktion vid PWR- och BWR-reaktorer.

Bränslets aktivitetsinnehåll och resteffekt är nödvändiga ingångsparametrar vid analys av det slutna förvarets funktion. Resteffekten är t ex avgörande för hur mycket bränsle, som kan placeras i en kapsel. Aktivitetsinnehållet och resteffekten är huvudsakligen beroende av bränslets utbränning och i mindre grad av bränsletyp.

I ett tidigt planeringsskede görs prognoser av aktivitet och resteffekt baserade på förväntade driftdata och planerad bränsleutformning. När inkapslingsstationen tas i bruk skall detaljerad information om bränslets konstruktion och ingående material finnas tillgänglig. Vid denna tidpunkt skall även uppgifter om utbränningsgrad, aktivitetsinnehåll och resteffekt för varje bränsleelement, föreligga.

### 3.2 MÅL

Målet för insatser rörande kärnbränsle är begränsat till att säkerställa att en tillförlitlig databas finns tillgänglig. Detta genomförs, dels genom en uppföljning av ev planer på ändringar i bränsleutformning eller bränsleutnyttjande och en bedömning av vad dessa förändringar har för effekter på slutförvaringen, dels genom successiva prognoser av förväntade aktivitetsmängder och resteffekter.

### 3.3 BRÄNSLEUTFORMNING

Information om bränslets utformning inhämtas successivt från kraftföretagen allteftersom nya bränsletyper införs. Dokumenta-



tion över de enskilda bränsleelementen kommer att samlas i ett centralt dataregister, som även tillgodoser motsvarande behov i CLAB.

#### 3.4 BESTÄMNING AV UTBRÄNNINGSGRAD

Bränsleelementens utbränningsgrad beräknas av reaktorägarna med de hårdberäkningsprogram, som används för den dagliga uppföljningen av reaktordriften och bokförs elementvis. Beräkningsprogrammets noggrannhet har verifierats genom jämförelser med mätningar. Några utvecklingsinsatser från SKBFs sida torde inte erfordras.

#### 3.5 BESTÄMNING AV AKTIVITETSINNEHÅLL OCH RESTEFFEKT

Programmen för beräkning av bränslets aktivitetsinnehåll och värmeutveckling, ORIGEN 2 och BEGAFIP, är sedan länge väl etablerade och används även i andra sammanhang. De fortsatta insatserna inom SKBF förutses inskränka sig till allmän programvård, en regelbunden uppdatering av databaserna och eventuellt vissa nya verifikationsmätningar. Av intresse är därvid främst innehållet av långlivade radionuklider och bränslets resteffekt efter 30-40 års avsvälning.

## 4 ANLÄGGNINGAR OCH UTRUSTNINGAR

### 4.1 BAKGRUND

De anläggningar och utrustningar som ingår i systemet för hantering och slutförvaring av använt bränsle är

- Transportsystem
- Centralt lager för använt bränsle (CLAB)
- Inkapslingsstation
- Slutförvar

Transportsystemet och det centrala lagret för använt bränsle är under uppbyggnad och föremål för tillsynsmyndigheternas löpande detaljgranskning. Några FoU-insatser förutses inte för dessa delar av systemet.

### 4.2 MÅL

Målet för insatserna är att ta fram det tekniska underlag som krävs för utformning och byggande av inkapslingsstation och slutförvar. Insatserna är främst av typen teknikutveckling och konstruktion, varför de i huvudsak planeras bli genomförda under slutet av 1990-talet och senare.

### 4.3 INKAPSLINGSSTATION

Två alternativa metoder för inkapsling av det använda bränslet i tjockväggiga kopparkapslar är redovisade i KBS-3. Ett flertal studier av tänkbara kapselutföranden i olika material pågår fn i flera länder. Dessa arbeten följs av SKBF. Det "allsidiga" FoU-program, som skall presenteras 1986, kommer att inkludera studier även av andra kapselmateriäl än koppar. Innan man erhållit en överblick över olika kapselmateriäls användbarhet bedöms det inte motiverat att genomföra ett mer omfattande arbete för att tekniskt detaljutveckla kopparkapseln. Följande begränsade insatser planeras dock bli genomförda under de närmaste åren.

- Fortsatta studier av spännings- och deformationstillstånd vid olika belastningsfall. Bl a planeras mekaniska provningar av simulerade kopparkapslar under belastningsförhållanden, som motsvarar situationen om en avskärande bergrörelse inträffar över ett deponeringshål (se avsnitt 9.4).
- Vidareutveckling av teknologin för tillverkning av kapselkomponenter och för fogning vid kapseltillverkningen inkl metoder för kvalitetskontroll.
- Studier av tunnväggiga kapslar.
- Begränsade studier av kapslarnas hantering i inkapslingsstationen och i slutförvaret.

Planerade undersökningar avseende kopparns korrosion behandlas i kapitel 10.

#### 4.4 SLUTFÖRVAR FÖR ANVÄNT BRÄNSLE

Slutförvaret för använt kärnbränsle planeras bli utfört i ett utvalt bergparti i svensk berggrund under 2010-talet. Teknik att utföra schakt, tunnlar och borrhål finns idag men för att utföra deponeringshål i små utrymmen krävs utveckling av speciell utrustning. Det kan förutses att mer mekaniserade metoder för lossgöring och transport av berg kommer att utvecklas för andra ändamål. SKBF följer denna utveckling. Av speciellt intresse är sådana metoder som i möjligaste mån lämnar det omgivande berget opåverkat.

Inom SKBFs program förutses utvecklingsinsatser och praktiska prov inom bergteknologin bli genomförda under 1990-talet och senare bl a i anslutning till schaktsänkning på någon eller några utvalda platser. I samband därmed förutses också praktiska prov med metoder för att undersöka och kartlägga framförliggande bergmassa från schakt och tunnlar.

Teknik- och metodutveckling för återfyllnad, pluggning och bergtätning behandlas i kapitel 9.

## 5 PLATSUNDERSÖKNINGAR

### 5.1 BAKGRUND

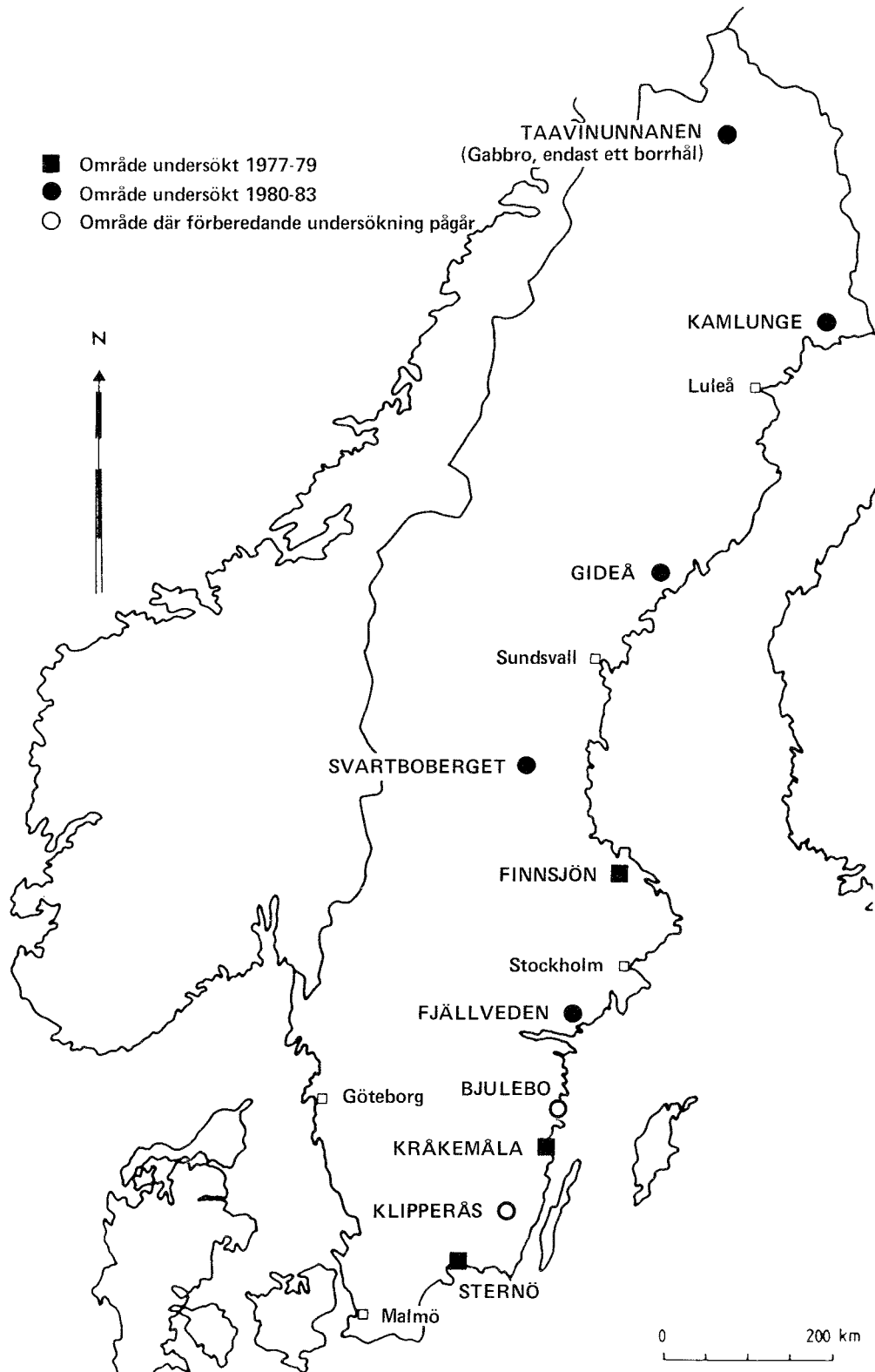
I en första etapp utfördes under 1977-79 geologiska undersökningar vid typområdena Finnsjön (Tierps kommun), Kråkemåla (Oskarshamns kommun) och Sternö (Karlshamns kommun). Resultaten har redovisats i anslutning till KBS-1 och KBS-2, 1977 respektive 1979. Senare har undersökningar genomförts vid typområdena Fjällveden (Nyköpings kommun), Gideå (Örnsköldsviks kommun), Kamlunge (Kalix kommun) och Svartboberget (Ovanåkers kommun). Resultaten har redovisats i anslutning till KBS-3, 1983. För närvarande pågår förberedande undersökningar vid Bjulebo (Västerviks kommun) och Klipperås (Emmaboda och Nybro kommuner). Läget av ovan nämnda typområden visas på figur 5-1.

Undersökningarna har visat att områdena vid Sternö, Gideå och Kamlunge och sannolikt också Fjällveden har de egenskaper som krävs för ett slutförvar enligt principerna i KBS-3.

För platsundersökningarna har utarbetats ett "standardprogram" som för varje plats har anpassats till lokala förhållanden. Programmet omfattar geologiska, geofysiska, hydrologiska och geokemiska undersökningar från markytan och i borrhål. Programmet revideras successivt med hänsyn till vunna erfarenheter och utvecklingen av nya metoder och instrument.

### 5.2 MÅL

Platsundersökningarnas mål är att - omkring sekelskiftet - på grundval av undersökningsresultat från ett flertal områden kunna föreslå och motivera en viss plats för lokalisering av ett slutförvar. Värdering och urval bör göras med beaktande av alla faktorer, som påverkar de olika platsernas lämplighet. Förutom geologiska förhållanden kan bl a transportförhållanden (geografiskt läge) och befolkningsbild liksom tänkbart alternativt utnyttjande av området vara av betydelse.



Figur 5-1. Platsundersökningar

### 5.3           UNDERSÖKNINGSPROGRAM

#### Allmänt

En översiktlig tidplan för platsundersökningarna visas på figur 2-4, kapitel 2. Under resterande del av 1980-talet förutses en eller två fullständiga områdesundersökningar bli genomförda varje år. Efter 1990 inriktas insatserna på mer detaljerade studier av de två eller tre områden, som uppvisar de bästa förutsättningarna.

De detaljerade studierna kommer bl a att omfatta ett schakt ned till förvarsnivå och tunneldrivning på någon plats med syftet att verifiera tidigare borrhålmätningar och modellberäkningar.

Allteftersom kunskaperna ökar och undersökningsmetoder och instrument vidareutvecklas kommer standardprogrammet för platsundersökningarna liksom hittills att revideras. Här nedan anges några områden där sådana revideringar kan förutses.

#### Geologi

Platsundersökningar har hittills utförts inom områden med granitisk eller gnejsisk berggrund. I fortsättningen kommer även områden med annan berggrund, t ex gabbro, att undersökas. Data rörande gabbro föreligger f n endast från ett djupt borrhål (Taavinunnenen).

I de fortsatta platsundersökningarna kommer åtminstone ett borrhål att borraras till ca 1 000 m vertikalt djup.

En planerad studie av storregionala sprickzoner (lineament), se kapitel 8, förutses bli av värde för valet av framtida typområden.

I den takt nya och bättre metoder utvecklas för registrering av djupa sprickors vidd, längd och riktning, se kapitel 6, kommer de att införas i standardprogrammet.

#### Hydrologi

I det nuvarande standardprogrammet utnyttjas hammarborrhål med relativt stor diameter (110 mm) för grunda undersökningar och kärnborrhål med liten diameter (56 mm) för undersökningar på stora djup. Pågående teknikutveckling synes kunna möjliggöra borrarbning med större håldiameter till större djup till rimliga kostnader. Detta kan ge möjligheter att föra ner kraftigare pumpar till vattenförande zoner på stora djup och genomföra skinterferenstester, som kartlägger och kvantifierar de hydrauliska sambanden.

Mätningar av det piezometriska trycket i borrhål kan användas för att verifiera resultat från numeriska beräkningar av grundvattenförhållanden. För att göra relevanta jämförelser krävs mätningar över långa tidsperioder. Utrustning för sådan långtidsmätning i flera avgränsade sektioner har utvecklats och kommer att användas i standardprogrammet.

### Geofysik

Geofysiska mätningar har hittills utförts endast från markytan och i enskilda borrhål. Inom Stripa-projektet, kapitel 22, har ett flerårigt undersökningsprogram igångsatts, där man undersöker möjligheterna att registrera sprickzoners läge och karaktär i en större bergvolym genom sk mellanhålsmätningar baserade på radar, seismik och hydrauliska metoder.

Möjligheterna att detektera flackt liggande sprickzoner med hjälp av sk reflektionsseismik kommer att undersökas.

För att bättre kunna bestämma den hydrauliska sprickfrekvensen kommer en geofysisk mätmetodik benämnd "tube-wave" att studeras närmare.

### Geokemi

Ett mobilt fältlaboratorium för analys av grundvattenprover är nu under uppbyggnad och kommer att användas vid de geokemiska undersökningarna enligt standardprogrammet. Se vidare kapitel 7.

### Bergmekanik

Mätning av bergspänningar inom typområdena kommer i fortsättningen att ske antingen med hydraulisk uppspräckning eller med friborrningsmetoden. Bergspänningarnas storlek och riktning påverkar sprickgeometrin och därmed grundvattenförhållandena inom ett område och har även betydelse för orientering och utformning av ett eventuellt förvar.

Bestämning av bergmekaniska parametrar såsom E-modul, tryck- och draghållfasthet etc, som har betydelse för förvarets stabilitet, kommer att utföras rutinemässigt i borrhål och på borrhärnor från typområdena.

## 6 BERGETS GRUNDVATTENRÖRELSER

### 6.1 BAKGRUND

Radioaktiva ämnen i ett slutförvar kan efter ett kapselgenombrott spridas genom transport via grundvattnet. Kunskaper om grundvattenrörelser i berggrunden är därför av stor betydelse för bedömningen av hur en sådan spridning kan äga rum.

För att beskriva grundvattenrörelserna i berggrundens spricksystem används en modell, som gäller för strömning i porösa medier. Härigenom möjliggörs en beräkning av det storskaliga strömningsmönstret inom ett tänkt förvarsområde.

### 6.2 MÅL

Målet för den fortsatta forskningen rörande bergets grundvattenrörelser är att

- utveckla teorier och modeller som ger en mer detaljerad beskrivning av grundvattenrörelserna
- ta fram förbättrade ingångsdata till dessa modeller
- vidareutveckla instrument och metoder för mätning av ingångsdata
- verifiera modellerna genom storskaliga försök och observationer i naturen

Arbetet inom dessa områden är långsiktigt och torde komma att pågå kontinuerligt, åtminstone under det närmaste decenniet.

### 6.3 MODELLUTVECKLING

Den i KBS-3 använda modellen är en deterministisk modell som baseras på att bergmassan i ett storskaligt mönster behandlas som



ett poröst medium. Fortsatt utveckling av denna modell planeras. Närmast står studier av hur flödet kan påverkas av berggrundens utvidgning till följd av värmeutvecklingen i avfallet.

Alternativa modeller som baseras på diskret representation av enskilda vattenförande sprickor och/eller stokastisk representation av olika ingående parametrar kommer att studeras. Utveckling av sådana modeller till operativa verktyg bedöms komma att pågå under flera år.

#### 6.4 INGÅNGSDATA TILL BERÄKNINGSMODELLEN

Som tidigare nämnts har bergmassan betraktats som ett poröst medium i de hittills utförda modellberäkningarna. Utvecklingen av modeller baserade på diskret representation av enskilda sprickor fordrar också kännedom om den hydrauliska konduktivitetens variation längs enskilda sprickplan. Närmare studier härav kommer att initieras.

Effekten av en anisotrop hydraulisk konduktivitet har behandlats för typområdena Fjällveden och Gideå. Anisotropieffekterna orsakades här av en inhomogen berggrund. Andra orsaker, exempelvis berggrundens spänningstillstånd, kan också ge upphov till en anisotrop hydraulisk konduktivitet. Orsakerna till och verkan av en riktningsberoende konduktivitet kommer därför att ytterligare studeras.

Som ingångsdata till modellberäkningarna har i KBS-3 antagits geometriska medelvärden som avtar med tilltagande djup. Betydelsen av denna approximation och andra sätt att behandla dessa data kommer att studeras vidare.

#### 6.5 SPRICKZONSTUDIER

Observationer från platsundersökningarna pekar på stora variationer i vattenflöde och vattenhastighet i olika delar av en sprickzon. I KBS-3 förutsattes därför försiktigtvis att grundvatten, som passerat genom förvaret och når en sprickzon, får omedelbar kontakt med markytan och biosfären. Mycket talar dock för att det uppkrossade och vittrade berget i sprickzonerna skulle vara gynnsamt för de kemiska och fysikaliska fördröjningseffekter som påverkar radionuklidmigrationen.

En bättre förståelse av grundvattenströmningen i en sprickzon kräver kunskaper om zonernas egenskaper (konduktivitet, vidd, blockstorleksfördelning, kanalbildning) och deras variation inom en och samma zon och mellan olika sprickzoner. Ett omfattande program för studier av sprickzonernas egenskaper ur såväl hydraulisk som kemisk synpunkt är under utarbetande. Programmet spänner över minst 3 år.

## 6.6 METOD OCH INSTRUMENTUTVECKLING

Den hydrauliska konduktiviteten har hittills huvudsakligen bestämts genom vatteninjektion under konstant tryck med efterföljande tryckutjämnning. I berg med mycket låg konduktivitet är emellertid den sk influensradien vid dessa mätningar starkt begränsad. Ytterligare utveckling av mätmetodiken i "täta" bergpartier kommer därför att ingå i programmet. Avsikten är att, dels förfinas redan existerande metoder, dels ta fram instrument för alternativa metoder.

Metoder och instrument för att i borrhålen registrera sprickor och deras riktning kommer att vidareutvecklas. Kopplat till data från kärnkarteringen kommer detta att ge möjlighet till statistisk analys och utvärdering och därmed förbättrade ingångsdata till hydrologi och geosfärsspridningsmodellerna.

För att verifiera beräknade grundvattenflöden pågår utveckling av en sk utspädningssond med vilken man kan mäta grundvattenflödet direkt i ett borrhål. Spårämnesförsök in-situ är också en viktig metod som kommer att utnyttjas för att kontrollera modellernas överensstämmelse med verkligheten.

## 6.7 MODELLVERIFIKATION

Använda beräkningsmodeller ger bl a värden på den mängd grundvatten som bildas för att nå jämvikt i systemet.

Den verkliga grundvattenbildningen i berggrunden är dock fn inte tillräckligt känd för att kunna utnyttjas för säker verifikation inom enskilda undersökningsområden. Studier av den verkliga grundvattenbildningen kommer därför att fortsätta. I dessa studier kommer långa mätserier av det piezometriska trycket i borrhålen inom typområdena, att utnyttjas.

Åldersdatering av grundvatten i olika delar av ett område kan vara ett sätt att verifiera resultat från modellberäkningar, jfr avsnitt 7.5.

SKBF avser att delta i det av SKI planerade internationella samarbetsprojektet HYDROCOIN, där olika hydrologiska beräkningsmodeller jämförs och kontrolleras.

## 6.8 KLIMATEFFEKTER

I ett långsiktigt perspektiv kan nuvarande grundvattenförhållanden komma att förändras. Klimatologiska förändringar kan innebära en ökad eller minskad tillförsel av vatten till berggrunden. Även gradienterna kan komma att förändras. Sådana förändringar kan främst bli aktuella under framtida nedisningar. Dessa förhål-

landen kommer att studeras där framför allt grundvattenförhållandena vid en isfront samt isens bottentemperatur och dess betydelse kommer att belysas.

## 6.9 FÖRSVARETS INVERKAN PÅ GRUNDVATTENRÖRELSENA

Vid utsprängningen av schakt och tunnlar för ett slutförvar kommer de hydrauliska egenskaperna hos intilliggande berg att påverkas, dels genom uppspräckning vid håltagningen, dels genom de spänningsomlagringar som uppstår i berget. Betydelsen av dessa förändringar på grundvattenrörelserna i närområdet kring tunnlar och schakt kommer att studeras.

## 7 GRUNDVATTNETS OCH SPRICKSYSTEMENS KEMI

### 7.1 BAKGRUND

Korrosionen av kapseln, upplösningen av bränslet och transporten av upplösta ämnen i geosfären, beror främst på grundvattnets flöde och sammansättning. En förståelse av grundvattnets geokemiska utveckling både regionalt och lokalt ger underlag för en bedömning av tänkbara framtida variationer i grundvattnets sammansättning. Den kemiska analysen och geokemiska karakteriseringen av djupa grundvatten är således av stor vikt för bedömningen av ett områdes lämplighet ur förvarssynpunkt.

Mineralen i de vattenförande sprickorna påverkar grundvattnets sammansättning och är dessutom av primär betydelse för sorptionen och indiffusionen i bergmassan av frigjorda radionuklider.

Utländska specialister deltar i utvärderingen av grundvattenanalyserna. En viktig kanal för att ta tillvara internationell kompetens utgörs av den särskilda geokemigrupp som etablerats inom Stripa-projektet (kapitel 22).

Metoder för grundvattenanalys utvecklas framför allt i USA, Kanada, Schweiz och Finland. Detta arbete följs noga och erfarenheter såväl som instrument har utbytts. Vissa analyser har även utförts utomlands på härför specialiserade laboratorier t ex i USA (organiska ämnen) och i Västtyskland (stabila isotoper).

### 7.2 MÅL

Målet för de fortsatta insatserna är att fördjupa och bredda kunskaperna om grundvattnets och spricksystemens kemi för att erhålla underlag för noggrannare förutsägelser om barriärernas funktion inom olika undersökta områden.

Planerade insatser avser att

- utveckla utrustning för förbättrad och utökad analys av provtaget vatten direkt i fält
- ytterligare utreda redoxförhållandena i grundvattnet
- analysera halten och storleksfördelningen av partikulärt material i grundvattnet
- bestämma arten, fördelningen och åldern av sprickfyllnadsmineral och med kemiska modellberäkningar beskriva vattnets sammansättning i relation till mineralen
- undersöka möjligheten att utveckla metodik för att beskriva grundvattnets "historia".

### 7.3 PROVTAGNING OCH INSTRUMENTUTVECKLING

Redoxegenskaperna hos de djupa grundvattnen är av stor betydelse för spridningstakten hos radionuklider som frigjorts från ett slutförvar. Svårigheter att mäta redoxpotentialen hos ett grundvatten föreligger emellertid, då även spår av syreinblandning kan allvarligt störa mätningarna. Inom SKBFs program utvecklas nu en ny utrustning, där man undviker detta problem genom att utföra mätningen direkt i borrhålen, där vattenförande sektioner isoleras från omgivningen med gummimanschetter. Goda resultat har uppnåtts och utvecklingsarbetet fortsätter.

Ett mobilt kemilaboratorium som är under uppbyggnad kommer att göra det möjligt att mäta huvuddelen av grundvattnets kemiska innehåll direkt på platsen samt förbättra möjligheterna till provtagning av i vattnet lösta gaser. Härigenom blir det också möjligt att tidigt upptäcka och undvika en eventuell inblandning av annat vatten, vilket bl a är en förutsättning för en meningsfull utvärdering av åldersbestämmande parametrar.

### 7.4 GRUNDVATTNETS KEMI

Resultaten från grundvattenanalyserna kommer fortlöpande att sammanfattas och utvärderas för att ge en allmän bild av grundvattnets geokemiska utveckling på de djup och ihop med de mineral som är aktuella.

Vattnet på större djup skiljer sig ibland påtagligt från grundvattnet på högre liggande nivåer, bl a genom en betydligt högre kloridhalt. Detta anses bero på att vattenomsättningen på djupet varit extremt långsam. En utökad provtagning av vatten ned till 1 000 m och därunder kommer att ske och förväntas ge mer information om den kemiska utvecklingen av vattensammansättningen på de olika nivåerna i berget. Detta i sin tur kan ge information om de hydrauliska förhållandena i området.

Elektrokemiska redoxpotentialer och järnhalter erhålls i samband med grundvattenanalyserna. Dessa värden utvärderas och en jämförelse görs med andra redoxkänsliga grundvattenkomponenter såsom sulfid, uran och mangan.

Laboratorieexperiment som simulerar naturliga redoxförhållanden har visat sig vara mycket värdefulla för att bedöma relevansen i fältmätningarna. Denna typ av försök kommer att fortsätta att vara ett viktigt komplement till direkta mätningar.

Jämsides med fältmätningarna och laboratorieexperimenten söker man också förutsäga ett grundvattens framtida redoxegenskaper med modellberäkningar, där såväl vattnets som mineralens sammansättning ingår. Sådana kemiska modellberäkningar kan även användas för att beskriva pH-förhållanden och förklara halten i grundvattnet av ämnen som frigjorts ur mineralen. Metoder för detta har utvecklats framför allt i USA och Frankrike och experter därifrån har därför engagerats för fortsatta insatser.

Partikulärt material i naturliga grundvatten är av betydelse som potentiell bärare av radionuklider i form av sk pseudokolloider. Olika störningar gör det svårt att mäta dessa halter i grundvattnet. För att inte i fortsättningen behöva ansätta alltför höga partikelhalter skall förutsättningarna för partikelrörlighet och möjligheterna att analysera partiklar i djupa grundvatten utredas. Speciell provtagning i fält bör väsentligt underlättas i och med att det nya mobila fältlaboratoriet tas i bruk.

Analys av uran och uranisotopers förekomst i grundvatten ger en möjlighet att bedöma aktinidens löslighet i naturliga grundvattensystem. Detta berörs närmare i kapitel 12.

## 7.5 GRUNDVATTENDATERING

Tillförlitlig datering av ett grundvatten har visat sig vara svårare än man tidigare trott och för närvarande saknas tillförlitliga metoder att genomföra en detaljerad utvärdering av befintliga data. Inom detta område har en insats av mera grundläggande karaktär påbörjats, i samarbete med utländsk expertis på området. I samband därmed kommer ny teknik för analys av bl a  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$  och  $^{81}\text{Kr}$  att prövas. Hithörande frågor planeras även bli studerade inom Stripa-projektet, kapitel 22.

## 7.6 SPRICKFYLLNADSMINERAL

En beskrivning av arten och fördelningen av de sprickfyllande mineralerna i ett bergparti är viktig för att förstå grundvattnets sammansättning och kunna förutse sorptionen av frigjorda radionuklider i vattenförande sprickor. Det långsiktiga arbetet bör även kunna klarställa, i vilken mån sådana undersökningar kan ge besked om sprickornas ålder och tidigare vattenföring. Detta

skulle i så fall ge information om de förändringar i hydrogeologin som skett och möjligen kan förväntas. Undersökningar av detta slag pågår och kommer att fortsätta under de närmaste åren.

## 8 BERGGRUNDENS FÖRÄNDRINGAR

### 8.1 BAKGRUND

Den svenska berggrunden utgör generellt en mycket stabil struktur i jordskorpan. Dock kräver de långa tidsperspektiven att sannolikheten för bergrörelser och deras konsekvenser för förvaringen beaktas.

I de undersökta typområdena som redovisats i KBS-3 har förvaret placerats så att det omges av markerade sprickzoner. Modellstudier av en sprucken bergmassa ger vid handen att deformationer till följd av spänningsomlagringar inträffar längs redan befintliga sprickplan - svaghetszoner. Studier av unga förkastningsrörelser, som inträffat under senare delen av kvartärtiden (neotektonik), har delvis verifierat dessa modellstudier.

### 8.2 MÅL

Målet för den fortsatta forskningen rörande berggrundens förändringar är att ytterligare verifiera den kvalitativa modell av berggrundsrorelserna som förutsattes i säkerhetsanalysen för slutförvaret i KBS-3. De närmaste delmålen i detta arbete innefattar bl a att

- upprätta en karta över regionala tektoniska lineament inom stora delar av Sverige. Arbetet förutses allmänt ge underlag för en jämförelse avseende seismiska och tektoniska förhållanden inom olika regioner
- studera unga förkastningsrörelser (neotektonik) för att öka förståelsen av dessa zoners ursprung och samband med äldre sprickzoner
- med hjälp av modellstudier belysa de bergmekaniska effekterna av en spänningsomlagring kring ett slutförvar



- belysa berggrundens stabilitet och dess samband med geologiska strukturer på olika djup och på olika platser i landet.

### 8.3 REGIONALA STUDIER

För att få en bättre belysning av den svenska berggrundens regionala uppsprickning kommer en sammanställning i kartform att göras av regionala lineament. Sammanställningen kommer att grunda sig på tillgängliga satellitbilder, flygfoton, geofysiska kartor och övrig geologisk dokumentation.

### 8.4 NEOTEKTONISKA STUDIER

De stora rörelserna i den svenska berggrunden ägde rum för mer än 600 miljoner år sedan. Man känner dock till vissa lokala rörelser av sent datum, sannolikt i anslutning till den senaste inlandsisens avsmältning. Inledande studier av sådana rörelser i Norrbottens inland har visat att deformationerna i många fall ägt rum i äldre rörelsezoner. Det fortsatta arbetet inriktas på att vidga kunskaperna om dessa fenomen bl a för att klarlägga om sådana rörelser någonstans har inträffat i bergpartier som inte ingått i äldre sprickzoner.

### 8.5 MODELLSTUDIER

En utlösning av upplagrade spänningar i ett bergparti kommer att väsentligen resultera i deformationer i tidigare utbildade svaghetszoner. I syfte att närmare analysera dessa förhållanden kommer fortsatta bergmekaniska modellberäkningar att genomföras. Ingångsvärden tas fram i fält- och laboratorieundersökningar.

### 8.6 SEISMISK REGISTRERING

Genom samordnade seismologiska och geologiska studier kan en bättre belysning erhållas av sambandet mellan geologiska strukturer och jordskalv. Svenska jordskalv har under de senaste åren registrerats av Försvarets forskningsanstalt på uppdrag av SKI och NAK. För ändamålet har ett särskilt observationsnät byggts upp i södra Sverige. En diskuteras en utökning av nätet även till norra Sverige. På uppdrag av SKBF har Uppsala universitet med hjälp av mobila utrustningar studerat sk efterskalv på ett mer detaljerat sätt än vad som är möjligt med ett fast nät med dess relativt glest placerade observationspunkter.

Alla de forskningsinsatser, som behandlas i detta kapitel anknyter till varandra. SKBF avser därför ta upp diskussioner med SKI och NAK för att koordinera dessa forskningsinsatser till ett sammanhållet projekt inom SKBFs program.

## 8.7 STÖRRE FÖRVARSDJUP

I KBS-3 hävdas att man på ett djup av ca 500 m i utvalt svenskt urberg kan finna de geologiska, hydrologiska och geokemiska förhållanden, som behövs för ett säkert slutförvar. Det har emellertid gjorts gällande att man under ca 1 300 m djup kan förvänta sig väsentligt bättre förhållanden. Denna uppfattning grundar sig på seismiska observationer, som pekar på en markant och generell förbättring av bergkvaliteten omkring 1 300 m nivå. Denna hypotes kommer att prövas, dels genom seismiska mätningar, dels genom borrhning av djupa hål och mätningar och provtagning i dessa. För att underlätta borrhning och mätningar i hålen avses i en första etapp borrhning ske från botten av befintliga gruvor.

## 9 BUFFERT- OCH ÅTERFYLLNADSMATERIAL

### 9.1 BAKGRUND

Buffert i deponeringshål och återfyllning i tunnlar och schakt utgör konstgjorda barriärer i slutförvarssystemet.

Dessa barriärers främsta funktion är att hindra strömning av grundvatten och att skapa en kemisk och mekanisk skyddszon runt kapslarna. Det buffertmaterial, som närmare studerats i anslutning till KBS-3 utgörs av en naturlig natriumbentonit (Wyomingbentonit) som kompakteras till hög densitet i block, som sedan formas för att utfylla deponeringshålen. Högkompakterad bentonit utgör också tätningsmaterialet i pluggar i borrhål, tunnlar och schakt. Som övrig återfyllning i tunnlar och schakt används samma bentonittyp blandad med andra material.

Med hänsyn till temperaturberoendet hos bentonitens långtidsstabilitet har slutförvaret i KBS-3 utformats så att maximitemperaturen i bentoniten inte skall överstiga 80°C.

Studier har genomförts och pågår rörande bentonitens fysikalisk-kemiska beteende i slutförvarsmiljön liksom främst inom Stripa-projektet (kapitel 22), av metoder för utförande av återfyllning och tätpluggar.

Metoder för tätinjektering av relativt otätt berg (stora sprickvidder) finns tillgängliga. Däremot föreligger ett behov av att utveckla metoder för att täta berg, som har en relativt låg vattengenomsläpplighet (små sprickvidder).

### 9.2 MÅL

Målet för den fortsatta forskningen och utvecklingen rörande buffert och återfyllnadsmaterial är att

- mer i detalj karakterisera olika bentonittyper och deras omvandlingsprodukter samt ytterligare klarlägga deras långtidsstabilitet i förvarsmiljö
- utveckla en mekanisk modell för beräkning av spänningar och deformationer i systemet berg/buffert/kapsel under inverkan av bergrörelser
- utveckla metoder att utföra tätning av borrhål, tunnlar och schakt.

### 9.3 LÅNGTIDSSTABILITET

Maximitemperaturen hos bentoniten i slutförvaret har i KBS-3 begränsats till +80°C. För att utröna om högre temperaturer kan accepteras kommer ytterligare insatser att göras för att närmare karakterisera hur svällande leror påverkas av olika temperaturer. Studierna kommer att omfatta undersökningar av naturliga bentonitförekomster, laboratorieförsök och termodynamiska beräkningar.

### 9.4 MEKANISKA FÖRHÅLLANDEN I DEPONERINGSHÅL

Den mekaniska växelverkan mellan kapsel, buffertmaterial och berg vid smärre bergrörelser är bl a beroende av buffertmateriallets reologiska egenskaper och bergrörelsens storlek och hastighet. En beräkningsmodell baserad på en fysiskalisk modell av buffertmateriallets beteende och en elastisk-plastisk analys av kapseln kommer att tas fram. Buffertmateriallets reologiska egenskaper, viskositet och spännings/deformationssamband kommer att studeras i laboratorium.

Modellen verifieras genom mätningar av spänningar och deformationer i lera och deformationer i kapsel vid skjuvförsök i skalenlig geometri.

### 9.5 PLUGGNING OCH BERGTÄTNING

Inom Stripa-projektet, kapitel 22, pågår undersökningar avseende buffertmaterial, återfyllning och tätpluggning av borrhål, tunnlar och schakt.

Härutöver planeras inom de närmaste åren vissa praktiska studier av olika packningsmetoders effektivitet, särskilt med inriktning på att erhålla en hög packningsgrad även i en tunnels övre del.

På längre sikt kommer utvecklingsarbetet att inriktas på specialutrustningar för packning och kontrollåtgärder. En viss praktisk erfarenhet av sådan hantering kommer att erhållas i samband med

arbetena med det slutförvar för reaktoravfall (SFR) som nu är under byggnad. Inträngningen av högkompakterad bentonit i sprickor i omgivande berg och dess tätningseffekt kommer att studeras liksom beständigheten hos en sådan tätning. Observationer av naturliga förhållanden i sprickzoner med svällande leror i kontakt med grundvatten kommer att ingå i dessa studier.

Möjligheterna att täta lågpermeabelt berg genom injektering av olika material kommer att undersökas liksom dessa materials långtidsstabilitet.

## 10 KAPSEL OCH KAPSELKORROSION

### 10.1 BAKGRUND

I KBS-3 har koppar valts som material för inkapsling av använt bränsle. Koppar ger en mycket långvarig absolut isolering och studeras förutom av Sverige också i Finland, Kanada och Schweiz.

Som visas i KBS-3 är under de förutsedda deponeringsförhållandena, allmänkorrosionen hos koppar mycket liten. Genom fördjupade studier av lokal korrosion och inverkan av sulfat, oorganiskt reducerad till sulfid, förutses det kunna visas att en mindre kapseltjocklek är tillfyllest.

### 10.2 MÅL

Målet för den fortsatta forskningen rörande kopparkapseln är att ytterligare öka kunskaperna om kopparkapselns beständighet som underlag för slutligt val av kapseltjocklek och kapselutformning.

Planerade insatser avser

- att stärka underlaget för bedömning av gropfrätning i koppar och för bedömning av risker för spänningskorrosion
- att klarställa förutsättningarna för krypbrott vid mycket långsam deformering
- att utreda förutsättningarna för oorganisk sulfatkorrosion
- att utreda kopparmaterialets beteende vid de två alternativa inkapslingsmetoderna
- att klarställa inverkan av  $\alpha$ -radiolys på korrosionen av systemet koppar - bränsle.

- att klarställa den i KBS-3 inte utnyttjade barriäreffekten hos bly- respektive kopparfyllningen samt att närmare utreda kap-selgenombrottens fördelning i tiden.

### 10.3 KORROSION AV KOPPAR

De tidigare undersökningarna av gropfrätning på jordförlagd koppar har varit givande. Underlaget för bedömning av gropfrätningen kommer att utökas och framför allt kommer fyndplatsernas geokemi dokumenteras bättre.

Oorganisk korrosion av koppar orsakad av sulfat har bedömts som mycket osannolik. Insatser kommer emellertid att göras för att få underlag för en bedömning av maximala reaktionshastigheter hos tänkbara reaktioner.

Om det kompakterade kopparpulvret kring bränslestavarna skall kunna tillgodoräknas som korrosionsbarriär, måste inverkan av framför allt alfaradiolysen på koppars korrosion undersökas liksom effekten av galvanisk korrosion. När kopparbarriären till de yttersta bränslestavarna penetrerats, kommer korrosionsmiljön att förändras, så att den fortsatta korrosionen, som stegvis frilägger de övriga bränslestavarna försiggår under inverkan av radiolys och i kontakt med andra metaller. Experiment avseende detta förlopp planeras.

Undersökningar av kopparkorrosion bedrivs även av Ontario Hydro i Kanada. Resultaten kommer SKBF till del inom ramen för avtal och informationsutbyte med AECL. Dessa undersökningar avser främst sulfidkorrosion och inverkan av  $\gamma$ -radiolys.

### 10.4 KAPSLARNAS MATERIALEGENSKAPER

Koppars krypegenskaper vid långsamma deformationer är relativt dåligt kända. Det har ifrågasatts att eventuella kvarvarande porer i blyfyllningen (i alternativet blyfylld kopparkapsel) skulle kunna leda till långsam krypdeformation av kapseln. Detta kan motverkas genom att man utsätter kapseln för ett yttre övertryck efter tillverkningen. För att få en säkrare bedömning av fenomenet kommer bättre grunddata för krypegenskaperna tas fram.

För att tillgodoräkna sig den HIPade\* kopparen som korrosionsbarriär, måste det pulverframställda materialet vara väl karaktäriserat utifrån jämförelser med konventionellt framställt koppargods. Undersökningarna av HIP-framställd koppars egenskaper och me-

---

\* HIP = Het isostatisk pressning

tallografi och även utgångsmaterialets inverkan på kvaliteten kommer att fortsätta under de närmaste åren.

Även om resultaten från elektronstrålesvetsning av koppar varit goda, kvarstår en del problem. Orsakerna till de defekter som detekterats i svetsarna bör ytterligare klarläggas. Utöver detta krävs ytterligare utveckling för att avsluta svetsen defektfritt. Insatser inom dessa områden liksom för utveckling av oförstörande kontroll av fogar i såväl den svetsade som HIPade kapseln förutsättes pågå under de närmaste åren.



## 11 BRÄNSLE OCH BRÄNSLEUPPLÖSNING

### 11.1 BAKGRUND

För att analysera de långsiktiga förloppen i ett slutförvar för använt bränsle krävs kunskaper om de faktorer och processer som bestämmer upplösningen av i bränslet ingående radioaktiva ämnen. En detaljerad kunskap härom saknas för närvarande, varför man i KBS-3 för flertalet ämnen förutsatt att de upplöses i en takt, som motsvarar deras maximala löslighet. Detta antagande är troligen mycket konservativt.

Sedan ett par år tillbaka har inom detta område ett omfattande informellt informationsutbyte ägt rum mellan SKBF, Battelle PNL, USA och AECL, Kanada. Man har funnit, att de lakförsök som utförts på olika håll, trots att olika metoder och bränsle med olika förhistoria använts, i stort lett till samstämmiga resultat. Avsikten är att nu inleda ett mer konkret samarbete mellan de tre parterna.

Med hänsyn till de olika laboratoriernas kompetens och resurser har en fördelning gjorts av forskningsuppgifterna mellan Battelle PNL, AECL och SKBF. Uppföljningen av arbetet sker på årliga "Spent Fuel Workshops", som arrangeras på initiativ av SKBF.

### 11.2 MÅL

Målet för arbetet är en förbättrad kvantifiering av det fenomen som är av betydelse för bränslets upplösning. På basis härav utarbetas modeller för beräkning av de långsiktiga förloppen. I ett första skede koncentreras insatserna till följande områden:

- Löslighetsbegränsningar
- Upplösningskinetik
- Kolloidbildning
- Inverkan av radiolys

### 11.3 LÖSLIGHETSBEGRÄNSNINGAR/UPPLÖSNINGSKINETIK

Den i KBS-3 använda modellen för bränsleupplösning är baserad på löslighetsbegränsningar av radionuklider under reducerande och oxiderande förhållanden. De löslighetsgränser, som härletts ur lakförsöken har i allmänhet visat sig vara lägre än de, som finns redovisade i litteraturen. Utökade studier av löslighetsgränsen respektive upplösningskinetiken kommer därför att genomföras.

För att rätt tolka lakresultaten, är det väsentligt att utgångsmaterialet, dvs det utbrända bränslet, är väl karaktäriserat med avseende på fördelningen av fissionsprodukter och aktinider i matrisen. Närmast står en utvärdering av tillgängliga instrument för dessa undersökningar.

Hittills har de svenska lakförsöken genomförts med BWR-bränsle. Lakexperiment med PWR-bränsle skall också genomföras.

Undersökningar av växelverkan mellan bränsle och kompakterad bentonit kommer att genomföras de närmaste åren.

### 11.4 KOLLOIDBILDNING

Kolloidbildning kommer att ägnas speciell uppmärksamhet vid undersökningarna i USA och Kanada. Några egna insatser planeras därför inte för närvarande utöver de mätningar av den kolloidala fraktionen i laklösningarna som görs rutinmässigt.

### 11.5 ALFARADIOLYS/REDUCERANDE FÖRHÅLLANDEN

Förståelsen av alfaradiolysens inverkan på bränslelakningen behöver fördjupas. Alfaradiolysen kan ge upphov till lokalt oxiderande miljö, som kan påverka bränslets upplösning i vatten. Försök med upplösning av utbränt bränsle under realistiska redoxförhållanden kommer därför att genomföras för att ge underlag för en utvärdering av alfaradiolysens betydelse.

### 11.6 LÅNGTIDSFÖRSÖK

Inom programmet förutses ett större försök, där använt bränsle lakas med reducerande grundvatten under realistiska förhållanden, dvs i närvaro av kapselmateriäl, bentonit och bergmaterial för att simulera närområdesmiljön. Utvecklingen av mätmetoder och försöksarrangemang kräver dock en relativt lång planeringstid. Erforderligt underlag från pågående och planerade arbeten väntas ej vara tillgängligt förrän 1986. En lämplig försökslängd bedöms därefter vara 5 à 10 år.

## 12 RADIONUKLIDKEMI I GRUNDVATTENMILJÖ

### 12.1 BAKGRUND

Radionuklidernas kemi och då framför allt aktinidernas kemi i såväl den ostörda grundvattenmiljön som i det påverkade närområdet behöver studeras ytterligare för att man i större detalj skall kunna förutsäga hur dessa ämnen kommer att bete sig om de frigörs från bränslematrisen sedan kapseln penetrerats.

Mycket är redan känt om den grundläggande aktinidkemin. Vissa luckor finns, men framförallt är den kvantitativa informationen om jämviktskonstanter ofullständig. Jämviktsdata kan utnyttjas bl a för att verifiera föreslagna kemiska modeller, t ex för lösligheten av uran i grundvatten. Osäkerheter i den använda databasen försvårar eller omöjliggör en sådan verifikation. Detta innebär i sin tur att man tvingas lägga in stora marginaler i säkerhetsanalysen.

Sorptionen av radionuklider på mineralytor har bestämts genom ett mycket stort antal direkta mätningar. Betydelsen av radionuklidernas kemiska form i grundvattnet har utretts men de grundläggande ytsorptionsmekanismerna har hitintills inte kunnat beskrivas. Utvecklingen i framför allt USA har emellertid nu hunnit så långt att detta förefaller möjligt.

Arbetet att ta fram grundläggande konstanter och funktioner blir av relativt långsiktig karaktär.

### 12.2 MÅL

Målet för den fortsatta forskningen är att fördjupa kunskaper och bredda dataunderlaget beträffande radionuklidkemin i grundvattenmiljön för att kunna göra noggrannare analyser av spridningen i närområdet och i geosfären.

### 12.3 LÖSLIGHET OCH KOMPLEXBILDNING

Många undersökningar av löslighet och komplexbildning för främst aktiniderna och teknetium pågår på olika håll i världen. En viktig del av arbetet blir att ur dessa data evaluera lösningskemiska konstanter giltiga för svenska grundvatten.

Förhållandevis lite har hittills gjorts för att bestämma de fasta faser som begränsar lösligheten. Dessa förväntas ge betydligt lägre teoretiska värden för aktinidernas löslighet än de rena oxiderna. Studier kommer att initieras inom detta område.

Redoxstillståndet hos aktiniderna har mycket stor inverkan på löslighet och speciering i grundvatten. Vattnets redoxegenskaper definieras främst av Fe(II)/Fe(III) systemet. Växelverkan mellan aktinidernas och järnets redoxsystem kommer att studeras ytterligare.

Kemiska jämviktsmodeller kan användas för att beskriva aktinidernas kemi i grundvatten. Kompetens inom detta område finns framför allt i USA. Samarbetet med specialister därifrån kommer därför att fortsätta.

### 12.4 KOLLOIDER OCH ORGANISKA KOMPLEX

De kolloider, som aktiniderna kan tänkas bilda vid övermättnad, har inte sådana stabilitets- eller transportegenskaper att de utgör något problem. Däremot kan såväl pseudokolloider (radionuklider sorberade på naturliga partiklar) som humus- och fulvosyrakomplex ge en snabbare transport i geosfären än normalt för en andel av de radioaktiva ämnen. Dessa förhållanden kommer att undersökas närmare och det är därvid angeläget att såväl teoretiskt som experimentellt undersöka aggregatens stabilitet och transportegenskaper.

### 12.5 RADIONUKLIDSORPTION PÅ MINERALYTOR

Sorption av radionuklider på mineralytor åstadkommer en kvarhållning och fördröjning av frigjorda radionuklider i geosfären. Omfattningen och betydelsen av detta har bestämts genom ett mycket stort antal försök med mineral och upplösta radionuklider. Ytterligare sådana försök kommer att göras där inverkan av temperatur, halt och komplexbildare undersöks. Ett större intresse kommer framöver att ägnas åt förståelsen av de ingående elementära processerna, t ex mekanismerna för växelverkan med mineralytan.

## 13 NUKLIDSPRIDNING I NÄROMRÅDET

### 13.1 BAKGRUND

Till närområdet hänförs, förutom själva kapseln och bufferten, även de första metrarna av utvalt gott berg.

Den redovisning som ges i KBS-3 av spridningsförloppet i närområdet bygger på en teoretisk modell som beskriver de kemiska fenomenen i närzonen till kapseln och de transportprocesser som bestämmer kapselkorrosionen och uttransporten av radionuklider till geosfären. Kännedom om de hydrogeologiska förhållandena i närområdet utgör en viktig förutsättning för dessa transportberäkningar.

Radiolysen är en viktig faktor som får stor betydelse om grundvattnet tränger in i kapseln. De reaktioner som då kan ske påverkar den kemiska miljön i närområdet.

### 13.2 MÅL

Målet för den fortsatta forskningen är att uppnå en ökad detaljeringsgrad i beskrivningen av de hydrologiska och kemiska förhållandena i närområdet genom

- vidareutveckling av modellerna
- verifierande försök kring viktiga fenomen såsom radiolys och utfällning.

### 13.3 RADIOLYS

Beräkningar har visat att radiolys utanför en oskadd kapsel knappast är av betydelse ens vid mycket tunna kapslar ned till någon cm koppar. Om däremot vatten kommer i direkt kontakt med det använda bränslet kan alfaradiolysen ge påtagliga effekter. Radiolyskinetiska beräkningar har genomförts och detta arbete kommer

att fortsätta med variationer av förutsättningarna. Radiolysmodellen kommer att utvecklas vidare.

För att verifiera beräkningarna planeras laboratorieförsök avseende effekterna av alfaradiolys.

Alfaradiolysförsök, som skall simulera slutförvaring av högaktivt avfall, genomförs dessutom vid AECL och liknande försök planeras även vid Batelle PNL. Detta arbete kommer att följas upp och en del av beräkningsarbetet genomförs i samarbete.

#### 13.4 KEMISKA REAKTIONER I NÄROMRÅDET

Den förhöjda temperaturens potentiella inverkan på mineral-grundvattenjämvikter i närområdet simuleras med geokemiska modellberäkningar som utförs på uppdrag av SKBF vid Louis Pasteur-universitetet i Strasbourg. Vad man här framför allt vill komma åt är huruvida temperaturinducerade mineralomvandlingar eller mineralupplösningar kan tänkas påverka grundvattenflödet i närområdet.

Reaktioner mellan frigjorda alfaradiolysprodukter och omgivande mineral har behandlats i KBS-3-redovisningen. Ytterligare studier kommer att genomföras för att mera i detalj klargöra vad som sker då oxiderande radiolysprodukter kommer i kontakt med de omgivande järn(II)haltiga mineralerna och därvid reduceras. Detta förutses ge en bättre bild av utvecklingen av och utseendet på den sk redoxfronten.

Utfällning av redoxkänsliga radionuklider och framför allt medfällning med uran är bestämmande för frigörelsen av dessa ämnen ur närområdet. Ett fortsatt experimentellt arbete med systemet uran-neptunium-plutonium-vatten planeras.

Korrosionsprodukternas växelverkan med radionukliderna, och deras effekt på diffusiviteten i buffertmaterialet kring kapslarna kommer att ytterligare studeras.

#### 13.5 TRANSPORTMODELLER FÖR NÄROMRÅDET

Baserat på de resultat som erhålls i härovan beskrivna undersökningar kommer modellbeskrivningen av närområdet att justeras och detaljeras.

Transporten i bufferten kommer att kopplas till transporten i berget, för att underlätta modellhanteringen av sönderfallskedjor.

## 14 NUKLIDSPRIDNING I BERGET

### 14.1 BAKGRUND

Spridningen av radioaktiva ämnen i berggrunden via grundvattnet är en komplicerad kemisk-fysikalisk process. De analyser som genomförts i KBS-3 baseras på en omfattande forskning såväl i Sverige som i utlandet. Forskningen avser såväl grundläggande data som utvecklingen av analytiska modeller.

Vid modelleringen av komplexa processer tvingas man alltid till förenklande antaganden. I KBS-3 använda modeller är för vissa fenomen väl dokumenterade och ger en godtagbart realistisk beskrivning. För andra fenomen, såsom utfällning och komplexbildning, är underlaget ofullständigt och man har tvingats till starkt förenklade antaganden i försiktig riktning.

### 14.2 MÅL

Målet för den fortsatta forskningen är att uppnå en fördjupad förståelse för de kemisk-fysikaliska processerna som underlag för mer realistiska modellbeskrivningar av nuklidspridningen i berget.

### 14.3 FJÄRRZONSMIGRATION

I de hydrogeologiska undersökningarna och migrationsberäkningarna i KBS-3, har man delat in radionuklidtransporten i två delar, dels en långsam migration från närområdet genom relativt gott berg fram till en sprickzon, dels en mycket snabb transport i sprickzonen där ingen fördröjning antagits ske.

Fördröjningen av radionuklider genom sorption i sprickzoner kommer att utvärderas genom modellstudier. Hydrogeologiska undersökningar av sådana zoner kommer att ge förutsättningarna för dessa beräkningar, se avsnitt 6.5.

Dispersion i strömningsriktningen kan i vissa fall leda till snabbare ankomst och därmed högre utsläppshalter av radionuklider, som eljest skulle ha hunnit avklinga. Betydelsen av detta förhållande kommer att studeras vidare. Utveckling och verifiering av migrationsmodeller är en viktig del i det fortsatta arbetet. Egna och andras in-situ försök och observationer i naturen kommer därför att sammanställas och jämföras, jfr 14.5 och 14.6.

#### 14.4 SORPTION, UTFÄLLNING OCH INDIFFUSION

Sorption på mineralytor och indiffusion i bergmatrisen är de viktigaste mekanismerna för nuklidfördröjningen i geosfären. Ett relativt stort experimentellt material föreligger redan. Kompletterande undersökningar av inverkan av temperatur, halt och komplexbildare på ytsorption och inverkan av tryck på indiffusion pågår. Irreversibla sorptionsprocesser som utfällningar och mineraliseringar kommer att studeras. Försök i kolonner och urborrade sprickor utgör viktiga mellansteg till försök i större skala in situ, t ex i Stripa. Laboratieförsök med urborrade provbitar har genomförts för att bestämma bergets diffusionsegenskaper. Arbetet här kommer att utvidgas till att även innefatta material från krosszonerna. Forskning rörande sorption av radionuklider på mineralytor har även berörts i avsnitt 12.5.

#### 14.5 IN-SITU-FÖRSÖK

Genom in-situ-försök vill man få bekräftat att de på laboratieförsök baserade antaganden och modeller, som används för att beskriva radionuklidmigrationen i berg, verkligen gäller i naturlig miljö.

In-situförsök med sorberande ämnen är svåra att genomföra på ett meningsfullt sätt då sorptionen för de flesta ämnena av intresse, medför orimligt långa observationstider. Lågsorberande ämnen som strontium och möjligen cesium kan dock användas. Då det är svårt att i detalj följa och tolka sådana försök är det viktigt att välja ett utförande med relativt korta migrationsavstånd och talrika kontrollmöjligheter.

Stripa gruva erbjuder goda förutsättningar för migrationsförsök in-situ. Borrhål i valfri riktning ut från tunnlarna till närliggande spricksystem kan utnyttjas. De migrationsförsök som planeras inom Stripa-projektet anges i kapitel 22.

#### 14.6 NATURLIGA ANALOGIER

Den "naturliga reaktorn" i Oklo i Gabon har stort intresse genom att man där kan följa ett förlopp, som är likartat med utläckage och spridning av radionuklider från ett slutförvar ut i det omgi-



vande berget. Ett stort internationellt arbete har redan genomförts. En studie av Oklofenomenet ur radiolyssynpunkt har utförts i USA för SKBFs räkning. Fortsatt utvärdering av Oklo-materialet ingår i SKBFs program.

SKBF bidrar tillsammans med USA och Schweiz till studier av Morro do Ferro - en koncentrerad toriummineralisering i Brasilien. Morro do Ferro används för närvarande främst som en naturlig analogi till spridningen av radionuklider i biosfären, men det fortsatta arbetet inriktas även på att finna anknytningar till geosfärsspridningsproblematiken.

Internationellt pågår ett flertal studier av liknande slag. Som exempel kan nämnas undersökningar av uranmineraliseringar i USA, Kanada och Australien. För att stimulera ett internationellt samarbete inom detta område har SKBF tagit initiativ till ett internationellt expertmöte under hösten 1984.

## 15 SPRIDNING OCH EXPOSITION I BIOSFÄREN

### 15.1 BAKGRUND

Kunskap om hur radioaktiva ämnen sprids i biosfären är en förutsättning för beräkning av dosbelastningen från utsläpp av radionuklider. Spridningsberäkningarna i KBS-3 har genomförts med en modell benämnd BIOPATH och baserats på data som karakteriserar biosfärens olika delar och hur de växelverkar.

Biosfären är emellertid föränderlig i en tidsskala som är väsentligt kortare än den fördröjning och den utspridning i tiden av aktivitetsutsläpp som erhålles med de föreslagna tekniska och naturliga barriärerna.

Detta skapar en ofrånkomlig grundläggande osäkerhet i dosberäkningarna. Behovet av förbättringar i dataunderlag och modeller bör ses i relation till denna osäkerhet. Man kan också ställa frågan om dosberäkningar i mycket långa tidsperspektiv överhuvud taget är meningsfulla.

De dosberäkningar, som redovisas i KBS-3 för olika tänkbara fall, visar att ett slutförvar för använt kärnbränsle även på mycket lång sikt ( $10^6$  år och mera) endast har en mycket liten och lokal påverkan på människans miljö.

### 15.2 MÅL

Målet för den fortsatta forskningen rörande biosfärsspridningen är att

- söka kvantifiera de osäkerheter som införs i beräkningarna genom att biosfären är föränderlig i de aktuella tidsperspektiven
- förbättra dataunderlag och modeller inom de gränser som är meningsfulla med hänsyn till ovan nämnda osäkerhet

- relatera förvarets påverkan på omgivningen till den naturliga radiologiska påverkan som härrör från den svenska berggrunden
- verifiera modellerna för biosfärsspridningen genom studier av naturliga och/eller av människan förorsakade analoga spridningsprocesser.

### 15.3 OSÄKERHET

De långa transporttiderna genom geosfären medför att eventuella konsekvenser för människan av ett slutförvar för radioaktivt avfall ger sig tillkänna först efter mycket långa tider, troligen längre än den tid människan existerat som art.

Förändringar av betydelse för säkerhetsbedömningen sker i olika tidsskalor:

Tidsskala	Exempel på tänkbara förändringar
$10^2$ år	Recipientförändringar som igenväxning av sjöar etc
$10^4$ år	Klimatiska förändringar som istider etc
$10^6$ år	Evolutionsanknutna förändringar som uppkomst av nya arter etc
$10^8$ år	Geologiska förändringar som bergskedjebildning etc

Analyser av spännvidden av möjliga förändringar och deras karaktär är av betydelse för att kunna bedöma säkerhetsanalysens resultat och vilka fortsatta insatser som är meningsfulla. Dessa analyser bör inriktas på förändringar inom tidsskalan  $10^2$  -  $10^4$  år då effekter av recipientförändringar och klimatiska förändringar dominerar bilden.

En studie kommer att genomföras för att systematiskt belysa recipienternas naturliga åldrande (exempelvis sjöar som växer igen, havsvikar som grundas upp) och hur parametrar av vikt för dosbelastningen förändras. Hänsyn kommer också att tas till effekter av människans påverkan (utdikning, torvtäkt och dylikt).

Klimatiska förändringar som påverkar grundvattenströmningen har diskuterats i avsnitt 6.8. En genomgång av biosfärdata skall göras för att identifiera kritiska spridningsvägar under de olika klimatiska förhållanden som medger bofast befolkning.

Evolutionära förändringar utanför den spännvidd som återspeglas av de nuvarande ekosystemen på jorden bedöms inte kunna studeras på ett meningsfullt sätt idag.

Forskningsinsatserna styrs i hög grad av hur framtida normer för acceptabel säkerhet kommer att utformas.

#### 15.4 DATA OCH MODELLER

De fortsatta insatserna för uppbyggnaden av databasen kommer främst att knytas till de isotoper och recipienter som dominerar riskbilden samt till områden där påtagliga reduktioner i nuvarande osäkerhet kan förväntas. Den internationella verksamheten kommer att bevakas.

SKBF kommer att fortsätta att stödja en fortsatt utveckling av biosfärmodeller.

#### 15.5 NATURLIGA RADIOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

I anslutning till de geologiska undersökningarna av möjliga förläggningsplatser (se kapitel 5) kommer en kartläggning av de naturliga radiologiska förhållandena i grundvatten, ytvatten, sediment, jord och biota att genomföras. Syftet är att för varje plats ha en av människan oberoende jämförelsebas för radiologisk påverkan inom området.

#### 15.6 VERIFIERING AV MODELLER

Försök till verifikation av spridningsberäkningar i geosfär och biosfär kommer att göras genom studier av naturliga analogier. Sådana större insatser bör främst genomföras i internationellt samarbete. Ett sådant exempel där SKBF deltar är studierna kring Morro do Ferro, en toriummineralisering i Brasilien. Ytavrinning, grundvatten och mineral studeras för att kartlägga spridningen av torium i biosfären (jfr avsnitt 14.6).

Det omfattande grundmaterial rörande tungmetallers rörlighet i svenska jordar och sjöar som tagits fram av Naturvårdsverket och Sveriges Lantbruksuniversitet kommer att utnyttjas i de fortsatta studierna liksom data från uranprospektering.

## 16 STRÅLDOSER OCH HÄLSOEFFEKTER

### 16.1 BAKGRUND

Med kända koncentrationer av radionuklider i biosfären och känd naturanvändning kan doser till befolkningen beräknas. Detta görs med hjälp av modeller för hur olika ämnen sprids i kroppen efter intag eller inhalation samt data om den strålning de olika isotoperna utsänder och hur den påverkar olika organ. Dessa modeller och data har sammanfattats i olika internationellt accepterade rekommendationer. Ett huvudansvar för de nationella insatserna ligger hos Statens Strålskyddsinstitut.

### 16.2 SKBFS INSATSER

Frågorna om beräkning av stråldoser och bedömning av med dem sammanhängande hälsoeffekter bearbetas och utvärderas på mycket bred bas av flera nationella och internationella grupper. Rekommendationer utfärdas av den internationella strålskyddskommissionen (ICRP). Att följa detta arbete och speciellt dess tillämpningar på avfallshantering och avfallsförvaring blir en viktig uppgift också i fortsättningen.

SKBFs egna insatser inom området förutses bli mycket begränsade och inskränker sig till bevaknings- och sammanställningsuppdrag rörande nuklider som ur slutförvarssynpunkt är av betydelse.

## 17 SÄKERHETSMÄSSIGA PRINCIPER

### 17.1 BAKGRUND

Kriterier och normer avseende slutförvaringens säkerhet är en fråga för myndigheterna. Några, internationellt accepterade, detaljerade kriterier finns ännu inte. Ett omfattande arbete för att utarbeta rekommendationer pågår dock internationellt.

En utgångspunkt för en kriterieformulering som diskuterats har varit att ett slutförvar även under mycket långa tider inte skall förändra de av naturen givna radioaktiva förhållandena i omgivningen i väsentlig grad. Ett sådant acceptanskriterium är i stort oberoende av ekologiska förändringar.

### 17.2 SKBFS INSATSER

SKBF kommer aktivt att medverka till att skapa det underlag som myndigheterna behöver för att formulera acceptansnormer för slutförvarsanläggningar. Utländsk utveckling av normer kommer att följas och SKBF är beredd att medverka i det internationella arbetet främst inom IAEA och OECD/NEA.

## 18 PLATSSPECIFIKA DATA

### 18.1 BAKGRUND

De geologiska platsundersökningarna för slutförvaring av radioaktivt avfall ger en stor mängd data och observationer knutna till varje plats. Denna information ligger till grund för den geologiska utvärderingen och används i säkerhetsanalysens modellberäkningar.

Planerade insatser för platsundersökningar har behandlats i kapitel 5. Här behandlas planerna för hur de data som tas fram vid platsundersökningarna skall lagras och bearbetas.

### 18.2 MÅL

Målet är att upprätta ett centralt databassystem för platsspecifika data. Denna databas skall möjliggöra och underlätta lagring, sammanställning, bearbetning och utvärdering av den omfattande information som erhålls vid platsundersökningarna.

### 18.3 UPPBYGGNAD AV ETT DATABASSYSTEM

Platsundersökningarna genererar stora datamängder, såväl mätdata som bearbetade och härledda data. Åtskilliga personer använder dessa data och databasen måste hållas aktuell över en lång tidsperiod. Mätmetoderna ändras över tiden, uppsättningen av parametrar varierar mellan områden och ibland mellan borrhål och nya typer av bearbetningar kommer fram efter hand. Betydande krav ställs därför på flexibiliteten hos ett databassystem.

En utredning om ett till SKBF knutet centralt databassystem har gjorts under hösten 1983. Det har resulterat i en preliminär kravspecifikation och en plan för att anskaffa och ta i drift ett sådant system. Systemet förutses vara i funktion i början av 1985.

## 19            RADIOLOGISK SÄKERHET UNDER DRIFT

Före deponeringen i slutförvaret kommer bränslet att hanteras, förflyttas och behandlas i ett flertal steg. Dessa arbeten måste planeras med hänsyn till personalens och omgivningens radiologiska säkerhet. Den utformning av anläggningar och system som erfordras för strålskydd och säkerhet är till största delen utprovad och testad inom andra delar av kärnkraftverksamheten.

De problem som är knutna till den radiologiska säkerheten och övervakningen under driftperioden är av den art att de kommer att närmare studeras i samband med detaljkonstruktionen av anläggningarna, dvs efter år 2000.

Metoder för analys av den radiologiska driftsäkerheten har inom kärnkraftverksamheten utvecklats så att de idag rutinmässigt kan tillämpas för tillåtlighetsprövningar. Samma metoder kan utnyttjas för inkapslingsprocessen och hanteringen i slutförvaret.



## 20 DET SLUTNA FÖRVARETS SÄKERHET

### 20.1 BAKGRUND

Vid byggandet av en slutförvarsanläggning måste en förläggningsplats väljas med hänsyn till en tänkt utformning av förvarssystemet. Därefter sker en slutlig dimensionering och optimering av den totala anläggningen med hänsyn till de platsspecifika förhållandena som föreligger och samhällets krav på säkerhet.

Ett grundläggande krav är att förvarets framtida funktion under olika omgivningsförhållanden kan prognoseras. I urvalsprocessen kan skillnader mellan olika tänkbara förläggningsplatser genom systemanalyser omräknas till skillnader i förvarsfunktion och säkerhet. Skillnader i de naturliga förutsättningarna kan också kompenseras genom tekniska åtgärder.

De tekniska skyddsbarriärernas funktion och relativa betydelse för säkerheten klarläggs genom funktionsanalyser under optimeringsskedet. Fortsatta utvecklingsinsatser kan styras genom analyser av barriärfunktionernas känslighet för ingångsparametrarnas osäkerhet (sensivitets- eller variationsanalyser) eller genom kostnadsanalyser av olika systemlösningar.

Säkerhetsanalyserna måste slutligen klargöra det totala systemets funktion med avseende på den radiologiska säkerheten på en viss plats.

Samtliga analyser görs med hjälp av matematiska modeller som simulerar olika former av fysikalisk-kemisk påverkan från omgivningen eller mellan förvarets olika delar.

Utvecklingen av datorbaserade analysmetoder har gett förbättrade möjligheter att ur stora datamängder sälla ut väsentlig information.

Denna utveckling möjliggör också tillämpning av en probabilistisk analysteknik i sådana fall där fenomenens natur eller prognosperiodens längd inte lämpar sig för deterministiska analyser.

De matematiska modellerna var för sig och insatserna för att utveckla dem har behandlats i tidigare kapitel. Här behandlas de övergripande insatser som måste genomföras för att samordna modellerna i integrerade analysserier fram till kompletta säkerhetsanalyser. Definitionen av möjliga utgångsförutsättningar för analyserna (scenariodefinition) diskuteras i avsnitt 20.6 och i kapitel 21.

## 20.2 MÅL

Målet är att utveckla ett datorbaserat system för funktions- och säkerhetsanalyser av slutförvaring av radioaktivt avfall

Systemet skall kunna hantera ingångsparametrar av både deterministisk och probabilistisk natur och innehålla rutiner för osäkerhetsanalyser och sensitivitetsanalyser.

Systemet skall utnyttja modellmoduler som beskriver förändringar i komponenter eller delar av förvaret och skall kunna anpassas till olika analysomfattningar.

Ovanstående kräver en samtidig utveckling av modeller av olika komplexitet för att simulera förändringar i komponenter eller delsystem samt uppbyggnad av probabilistiska databaser.

## 20.3 UTVECKLING AV ANALYSSYSTEM

En utveckling av probabilistiska analysystem anpassade till de speciella förhållanden, som föreligger vid slutförvaring av radioaktivt avfall har pågått utomlands. SKBF planerar att första halvåret 1984 inhämta denna kunskap. Hittills syns AECL i Kanada ha hunnit längst i denna utveckling med ett system betecknat SYVAC.

Insatserna kommer att anpassas till tidplanerna för platsval. För att möjliggöra en rangordning av de studerade förläggningsplatsalternativen före utgången av 1989 förutses följande grova tidplan.

1984      Inhämtning av utländska erfarenheter  
            Hemtagning av SYVAC 2

            Kravspecifikation för ett till den svenska situationen anpassat system samt testning av SYVAC 2 mot svenska förhållanden

1985-86    Utveckling av modeller av olika komplexitetsnivå för fenomen i närzon, geosfär, biosfär och för dosberäkningar

            Uppbyggnad av platsspecifika, probabilistiska geodatabaser

Utveckling av databaser för scenariodefinition  
Sensitivitetsanalyser  
Osäkerhetsanalyser

1987-89 Drifftagning av analyssystemet  
Verifikationsinsatser  
Optimering av förvarsutformning  
Platsutvärderingar  
Komplettering av databaser

1989-92 Jämförande analyser av möjliga förläggingsplatser.

## 20.4 UTVECKLING AV DATABASER

Av ovanstående tidplan framgår att probabilistiska databaser, som dessutom är platsspecifika vad gäller geodata, måste utvecklas under perioden 1985-1989, dvs parallellt med de pågående geologiska platsundersökningarna. En utökning av databaserna erhålls därefter vid de detaljerade undersökningarna under 1990-talet. Jämför avsnitt 2.3.

## 20.5 UTVECKLING AV MODELLER

Utvecklingen av olika typer av matematiska modeller behandlas under respektive kapitel. Av tidplanen framgår att en utvecklingsetapp måste vara avslutad 1987 för att möjliggöra rangordningen mellan olika förläggingsplatser under perioden 1990-1992.

Nästa utvecklingssteg planläggs på motsvarande sätt till den slutliga platsvärderingen som förutses kunna göras före år 2000.

## 20.6 SCENARIOANALYS

Förvarets funktion påverkas dels av dess inre egenskaper definierade av avfallets karaktär, i förvaret befintliga ämnen och berggrundens miljö, dels av externa förhållanden som klimat, havsytans läge och jordskalv. En uppsättning förhållanden, som kan ligga till grund för en analys av förvarets funktion, benämns här ett scenario.

Scenarioval och scenarioanalys har ofta diskuterats internationellt för att om möjligt skapa en samsyn vad gäller vilka av alla teoretiskt tänkbara alternativ, som bör behandlas och vilka urvalsprinciper som kan ligga till grund för att utesluta andra.

I KBS-3 har redovisningen knutits till ett centralt scenario som motsvarar ett relativt oföränderligt tillstånd i omgivningen.

Därefter redovisas ett antal alternativa scenarios som belyser effekten av att någon naturlig eller tillverkad barriär blir radikalt förändrad.

För att genomföra en optimeringsstudie krävs en samlad överblick över ett totalt spektrum av tänkbara scenarios. Vidare måste också sannolikheterna för att olika scenarios inträffar uppskattas. Detta ger underlag för en balanserad bedömning av de funktionskrav som skall ställas på olika barriärer. Genom att definiera omgivningsparametrarnas värden som sannolikhetsfördelningar kan scenarios av olika sannolikhetsgrad erhållas.

Under den närmaste 5-årsperioden kommer SKBF att göra en genomgång av tänkbara scenarios. Avsikten är att söka fastställa sannolikheten för att ett scenario inträffar samtidigt som parametrar av betydelse för förvarets funktion kvantifieras. Av vikt här är att söka identifiera hur olika parametrar är kopplade till varandra.

## 20.7 ÖVRIGT

Vissa översiktliga men platsspecifika studier rörande andra effekter av slutförvaringen än radiologisk påverkan på människan bör genomföras i ett skede före ansökan om lokaliseringstillstånd.

## 21 MISSÖDEN OCH EXTREMA HÄNDELSE

Scenarios karakteriserade av extrema händelser (som meteoritnedslag eller bombnedslag) kommer att analyseras deterministiskt.

De scenarios som behandlas i KBS-3 kapitel 21 är

- Berggrunds rörelser
- Kriticitet i slutförvaret
- Krigshandlingar och sabotage
- Inträngning i förvaret

Studier avseende berggrunds rörelser behandlas i kapitel 8.

Risken för kriticitet bedöms som försvinnande liten och möjliga konsekvenser är små. Inga ytterligare insatser planeras utom för det fall att framtida systemförändringar kommer att påverka förutsättningarna.

Frågorna kring krigshandlingar, sabotage och inträngning i förvaret synes inte vara lämpade för systematiska kvantitativa analyser eftersom resultatet blir helt beroende av de subjektiva antaganden som görs. Analyserna får här närmast karaktären av exempel som beskriver konsekvenser under tänkbara förutsättningar.

## 22 STRIPA PROJEKTET

### 22.1 BAKGRUND

Ett avtal träffades i slutet av 1976 med ägaren av Stripa gruva i Bergslagen om att gruvan skulle ställas till SKBFs förfogande för fältförsök i en realistisk slutförvarsmiljö. I anslutning till malmförekomsterna, som var i det närmaste utbrutna, finns en granitkropp, som kom att utgöra världens första underjordiska laboratorium för forskning beträffande slutförvaring av radioaktivt avfall i granitiskt berg. Arbetena i Stripa innefattar forskning och metodutveckling, verifiering av laboratorieresultat samt demonstration av vissa moment i avfallshanteringen. Förekomsten av malmförande berg gör att Stripa gruva inte är aktuell för slutförvaring av radioaktivt avfall.

För att bl a belysa effekterna av en förhöjd temperatur från simulerade avfallsbehållare samt för att närmare studera grundvattenförhållandena i berget utfördes under åren 1977 - 1980 ett internationellt uppmärksammat samarbete i Stripa mellan US Department of Energy (genom Lawrence Berkeley Laboratory, LBL) och SKBF.

Ett bredare internationellt samarbete i form av ett fristående OECD/NEA projekt påbörjades 1980 då Finland, Frankrike, Japan, Kanada, Schweiz, Sverige och USA överenskom om en gemensamt finansierad forskningsverksamhet i Stripa. Senare har även Storbritannien anslutit sig till projektet. Avtalet om Stripa-projektet sträcker sig fram till 1986, och projektledningen åvilar SKBF.

Ett stort antal forskare från medlemsländerna med en bred teknisk och vetenskaplig kompetens medverkar vid de regelbundet återkommande möten där försökens utförande och resultat diskuteras.

Nedan redovisas i korthet de olika undersökningar som pågår och som är planerade.

## 22.2 FORSKNINGSPROGRAM 1980-1986

I Stripa-projektet ingår ett antal delprojekt med olika tidsramar och budget. Forskningen berör följande områden

- detektering av sprickzoner
- grundvattenförhållanden och transportmekanismer
- bentonitlera som tätnings- och återfyllnadsmaterial

Publicering av erhållna resultat sker kontinuerligt i en särskild rapportserie. En sammanfattning av resultaten från en första fas av Stripa-projektet kommer att ske under 1984. Ett internationellt symposium där försöken och resultaten presenteras och diskuteras är planerad till försommaren 1985.

### Detektering av sprickzoner

Syftet med undersökningarna är att utveckla geofysiska och hydrauliska instrument och tolkningsmetoder för att kunna bestämma läge och karaktär av sprickzoner.

Undersökningarna görs dels i enskilda borrhål, dels i flera borrhål, sk mellanhålsmätningar. Vid mellanhålsmätningar skickas en signal från en sändare i ett borrhål till en mottagare i ett annat borrhål. Den mottagna signalen ger information om sprickmönstret i mellanliggande bergmassa. Genom att utföra ett stort antal mätningar i olika lägen längs borrhålen kan förekommande sprickzoner kartläggas.

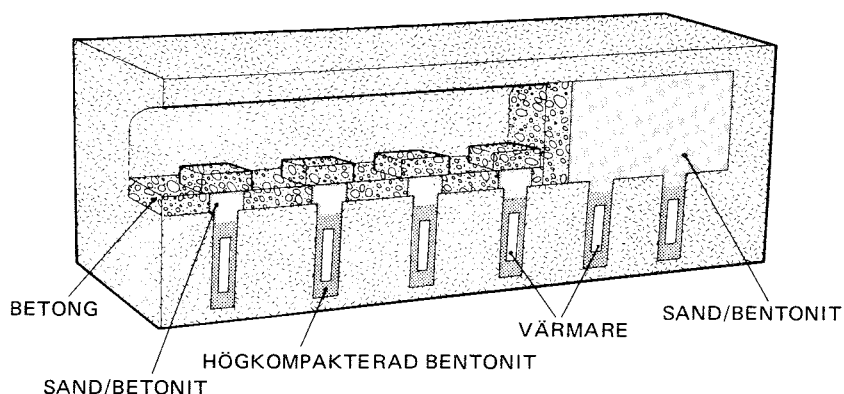
Inom projektet utvecklas instrument och tolkningsmetoder för elektromagnetiska (radar), seismiska och hydrauliska undersökningar. Vid de elektromagnetiska och hydrauliska mätningarna används ett avstånd i 100 meters skala mellan sändare och mottagare, medan de seismiska mätningarna testas på avstånd upp till 1 000 meter.

### Grundvattenförhållanden och transportmekanismer

Undersökningarna syftar till att ta fram metoder för bestämning av grundvattnets kemiska sammansättning och dess "historia" samt till att belysa transportmekanismerna för radioaktiva ämnen i bergets spricksystem.

I Stripa har vattenprover tagits från olika djup ner till 1 200 meter under markytan. Preliminära data tyder på att vattnet är ett blandvatten med olika ursprung och ålder. En åldersbestämning av grundvattnet utan kunskap om de hydrogeologiska och hydrogeokemiska förhållandena är därför inte möjlig.

Den fortsatta forskningen syftar till att närmare belysa dessa problem. För att bestämma den hydrauliska konduktiviteten, dvs



Figur 22-1. Buffertförsök i Stripa

berggrundens förmåga att släppa igenom vatten, finns olika metoder. En jämförelse och en bedömning av ett flertal olika metoder och under olika förhållanden har utförts i Stripa.

För att närmare belysa de transportmekanismer som bestämmer radionuklidernas spridning med grundvatten har ett försök med icke aktiva spårämnen utförts i Stripa. Både sk vattentrogna och sorberande spårämnen har injicerats i en enskild spricka. Avståndet mellan injiceringspunkt och provtagningshål var begränsad till ca 5 m. Friborrning av kärnor kring injiceringspunkten har gett besked om de sorberande ämnenas spridning. Försöket har också varit en förberedelse för ett storskaligt tredimensionellt spår-försök, där transportmekanismen kommer att undersökas i en större bergmassa. Avståndet mellan injiceringspunkter och provtagningsytor uppgår i detta fall till ca 50 meter och försöket kommer att pågå under ett par år.

#### Bentonitlera som tätnings- och återfyllnadsmaterial

I det sk buffertförsöket i Stripa har 6 st deponeringshål med en diameter av 0,75 meter och ett djup av ca 3,5 m borrats, se figur 22-1. Deponeringshålen har försetts med simulerade avfallsbehållare i form av elektriska värmare omgivna av högkompakterad bentonit. Huvudsyftet med undersökningen är att verifiera laboratorieresultat beträffande funktionen hos högkompakterad bentonit runt kapslarna och en blandning av sand och bentonit som återfyllning i tunnlarna under realistiska förhållanden. Försöket påbörjades under 1980 och beräknas vara avslutat och avrapporterat i början av 1985. Temperaturer, vattenupptagning samt svälltryck registreras och jämförs med beräknade data.



En försöksserie avseende tätning av borrhål, tunnlar och schakt med pluggar av högkompakterad bentonit har påbörjats i Stripa. Försöken kommer att pågå under ett par år.

### 22.3 ÖVRIGT

Förutom för de undersökningar, som ingår i Stripa-projektet har försöksstationen utnyttjats för undersökningar som ingår i SKBFs eget program samt i ett program för undersökningar av avfallsglas, som bedrivs gemensamt av Japan, Sverige och Schweiz. Även om något definierat program för hur Stripa-gruvan skall utnyttjas efter 1986 saknas, synes det angeläget att de möjligheter den erbjuder till försök i en realistisk miljö bibehålls fram till dess att det blir aktuellt att utföra provschakt ner till förvarsnivån på något av de undersökta typområdena.

## 23 INTERNATIONELLT SAMARBETE

### 23.1 BAKGRUND

Det internationella samarbetet och informationsutbytet inom kärnavfallsområdet är omfattande och sker i olika former och på olika nivåer:

- inom internationella organisationer, främst IAEA, OECD/NEA och ICRP
- direkt mellan länder genom bilaterala avtal
- genom internationella symposier och konferenser
- genom personliga kontakter mellan experter

Det internationella samarbetet är av stor vikt, dels genom att tillgängliga resurser och kunskaper därigenom kan utnyttjas mera effektivt, dels genom att metoder och resultat i forsknings- och utvecklingsarbetet blir föremål för kritik och diskussion från olika utgångspunkter. Det är också en förutsättning för att nå fram till internationellt accepterade regler och kriterier inom kärnavfallsområdet.

SKBF följer och deltar aktivt i det internationella samarbetet.

### 23.2 INTERNATIONELLA ORGAN

Arbetet inom IAEA och OECD/NEA bedrivs främst genom konferenser, symposier, tekniska kommittéer och expertgrupper. Resultaten publiceras i olika rapportserier. SKBF har intresse av att medverka och ge bidrag inom sitt ansvarsområde.

Från svensk sida deltar också SKI, SSI och NAK i IAEAs och OECD/NEAs arbete. Verksamheten har nu sådan omfattning att ingen av de svenska organisationerna ensam kan täcka hela fältet. En löpande samordning och arbetsfördelning ifråga om de svenska insatserna är därför angelägen.

### 23.3 SKBFS SAMARBETSAVTAL MED UTLÄNDSKA ORGANISATIONER

SKBF träffade under 1980 bilaterala avtal med DOE, USA; AECL, Kanada och NAGRA, Schweiz om informationsutbyte på området forskning och utveckling beträffande radioaktivt avfall. Ett liknande avtal förutses inom kort bli träffat med CEA, Frankrike. Avtalen gäller i fem år.

De olika avtalen är inte identiskt lika men de täcker alla informationsutbyte och samarbete inom områden, som rör hantering, behandling, lagring och slutförvaring av radioaktivt avfall.

Utbyte av aktuell information (rapporter) samt resultat och metoder avseende forskning och utveckling är en viktig del i avtalen. Anordnande av gemensamma seminarier och besök av specialister vid andra partens anläggningar är andra exempel på vad som ryms inom avtalens ram.

Vid utbyte av personal under längre tid eller för mera omfattande direkt projektsamarbete sluts särskilda avtal inom det allmänna avtalets ram.

Regelbundet, med ca ett års intervall, växelvis i respektive land, sker allmänna genomgångar av parternas avfallsprogram och planer samt diskuteras möjligheterna till närmare samverkan inom specifika områden.

Informationsutbyte, utan skriftliga avtal, förekommer också med EGs grupp för kärnavfallsfrågor samt med finska, tyska och japanska organisationer.

## **BILAGA**

Översiktlig sammanställning  
av planerade FoU-insatser

ÄMNESOMRÅDE	MÅL	KOMMENTARER OCH EXEMPEL PÅ PLANERADE INSATSER
ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE, ANLÄGGNINGAR OCH UTRUSTNINGAR	Framtagning av dimensionerings- och konstruktionsunderlag (Kapitel 3, 4)	<p>Insatserna under 1980-talet blir begränsade.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Studier av spännings- och deformationstillstånd hos kopparkapslar vid olika belastningsfall.</li> <li>* Studier av teknik för kapselkomponenttillverkning, fogning och kvalitetskontroll.</li> <li>* Uppföljning av teknik för skonsam utsprängning av bergutrymmen.</li> </ul>
GEOLOGI (Kapitel 5, 8)	Klarställande av seismiska och tektoniska förutsättningar för förläggning av slutförvar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Upprättande av en regional tektonisk lineamentskarta över stora delar av Sverige.</li> <li>* Borrningar till större djup (&gt; 1 000 m)</li> <li>* Utveckling av metoder för registrering av djupa sprickors vidd, längd och riktning.</li> <li>* Studier av unga förkastningsrörelser.</li> <li>* Modellstudier över bergmekaniska effekter av spänningsomlagringar.</li> <li>* Kontinuerliga registreringar av jordskalv, detaljerade observationer av efterskalv.</li> </ul>
HYDROLOGI (Kapitel 6)	Framtagning av förfinade mätmetoder och modeller för en mera detaljerad beskrivning av grundvattenrörelserna.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Vidareutveckling av metoder för bestämning av hydraulisk konduktivitet och grundvattenflöden.</li> <li>* Modellutveckling och verifiering av modellerna, medverkan i HYDROCOIN.</li> <li>* Utredning om grundvattenförhållanden i samband med en istid.</li> <li>* Studier av förvarets inverkan på hydrologin.</li> <li>* Studier av sprickzoners egenskaper.</li> </ul>
GRUNDVATTNETS OCH SPRICKSYSTEMENS KEMI (Kapitel 7)	Fördjupning och breddning av kunskaperna som underlag till förutsägelser om barriärernas egenskaper.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Utveckling av metoder och utrustning för förbättrad och utökad analys direkt i fält.</li> <li>* Ytterligare studier av redoxförhållandena i djupa grundvatten.</li> <li>* Analys av halt och storleksfördelning av partikulärt material i grundvattnet.</li> <li>* Kemiska modellberäkningar över vattnets sammansättning i relation till mineralen.</li> </ul>

ÄMNESOMRÅDE	MÅL	KOMMENTARER OCH EXEMPEL PÅ PLANERADE INSATSER
BUFFERT OCH ÅTERFYLLNADSMATERIAL (Kapitel 9)	Framtagning av ytterligare underlag om bentonits långtids-egenskaper och om den tekniska tillämpningen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Utveckling av metodik för åldersdatering av grundvatten.</li> <li>* Studier av sprickfyllnadsmaterialens art, fördelning och ålder.</li> <li>* Detaljerad karakterisering av bentonits egenskaper på kort och lång sikt.</li> <li>* Modellberäkning av spännings- och deformationsförhållanden i systemet berg/buffert/kapsel under inverkan av bergrörelser.</li> </ul>
KAPSEL OCH KAPSELKORROSION (Kapitel 10)	Framtagning av mer detaljerat underlag för kapselutformning.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Utveckling av metoder för tätpluggning, kvalitetskontroll.</li> <li>* Insamling och utvärdering av underlag för bedömning av gropfrätning i koppar.</li> <li>* Experiment med korrosion av koppar under inverkan av radiolys.</li> <li>* Utredning av förutsättningar för oorganisk sulfatkorrosion av koppar.</li> <li>* Klarställande av möjligheterna till krypbrott vid mycket långsam deformation.</li> <li>* Bearbetning av kvarstående problem med fogning och svetsning av kopparkapslar.</li> </ul>
BRÄNSLE OCH BRÄNSLE-UPPLÖSNING (Kapitel 11)	Grundläggande kunskapsuppbyggnad för en beskrivning av upplösningens förlopp.	<p>Insatserna görs i samarbete med Battelle PNL, USA och AECL, Canada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Studier av löslighetsbegränsningar och upplösningsskinetik.</li> <li>* Lakförsök under realistiska redoxförhållanden, utvärdering av <math>\alpha</math>-radiolysens inverkan.</li> <li>* Planering av integrerat långtidsförsök under realistiska förhållanden (start ~ 1986).</li> </ul>
RADIONUKLIDKEMI OCH NUKLIDSPRIDNING (Kapitel 12, 13, 14)	Fortsatt kunskapsuppbyggnad kring grundläggande fenomen. Noggrannare modellering av spridningen i närmiljön och geosfär.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Fortsatta studier av löslighet och komplexbildning.</li> <li>* Teoretiska och experimentella studier av stabilitet och transportegenskaper hos kolloider och komplex.</li> <li>* Undersökning av sorption på mineralytar och sorptionsmekanismer, fortsatta försök med indiffusion i bergmatrisen.</li> <li>* Beräkningar och experiment kring effekterna av <math>\alpha</math>-radiolys.</li> </ul>

ÄMNESOMRÅDE	MÅL	KOMMENTARER OCH EXEMPEL PÅ PLANERADE INSATSER
BIOSFÄRSSPRIDNING, STRÅLDOSER OCH SÄKERHETSMÄSSIGA PRINCIPER (Kapitel 15, 16, 17)	Belysning av ofrånkomliga osäkerheter i biosfärs- och dosberäkningar. Förbättring av dataunderlag och modeller.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Utfällnings- och medfällningsexperiment i systemet uran-neptunium-plutonium-vatten.</li> <li>* Vidareutveckling av modell för nuklidmigration i sprickzon.</li> <li>* In-situ försök med nuklidmigration i berg, modellverifiering.</li> <li>* Studier av naturliga analogier. (Internationellt specialismöte hösten 1984).</li> </ul>
PLATSUNDERSÖKNINGAR (Kapitel 5, 18)	Stegvis platsurval. 1990: Val av 2-3 platser för detaljstudier. 2000: Slutligt platsval.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Studier för belysning av biosfärsrecipienternas naturliga åldrande och hur parametrar av vikt för dosbelastningen förändras.</li> <li>* Stöd till utveckling av biosfärsmodeller och deras anpassning till analys av utsläpp från avfallsförvar.</li> <li>* Kartläggning av naturliga radiologiska förhållanden på undersökningsplatserna.</li> <li>* Modellverifiering bl a genom studier av naturliga analogier.</li> <li>* Kontinuerlig revidering av undersökningsprogrammet.</li> <li>* Schaktsänkning för metod- och verifikationsstudier under 1990-talet.</li> <li>* Upprättande av centralt gemensamt databassystem för platsspecifika data.</li> </ul>
SÄKERHETSANALYS (Kapitel 19, 20, 21)	Utveckling av ett sammanhängande, datorbaserat system för funktions- och säkerhetsanalyser.	<p>Insatserna när det gäller säkerhet under drift kommer huvudsakligen att genomföras efter år 2000.</p> <p>Systemet för funktions- och säkerhetsanalys skall innehålla rutiner för osäkerhets- och sensitivitetsanalyser. Modellmoduler av olika komplexitet skall utvecklas för att simulera komponenter och delsystem. Probabilistiska databaser byggs upp.</p> <p>En genomgång av möjliga framtida scenarios skall göras inklusive en bedömning av deras sannolikheter och konsekvenser.</p>