



SKB

FoU-PROGRAM 89

Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring.

**Program för forskning, utveckling
och övriga åtgärder.**

September 1989

I Allmän del

II Program 1990-1995

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB

BOX 5864 S-102 48 STOCKHOLM

TEL 08-665 28 00 TELEX 13108-SKB TELEFAX 08-661 57 19

Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring.

**Program för forskning, utveckling
och övriga åtgärder.**

September 1989

INNEHÅLLSFÖRTECKNING DEL I - II

Del I ALLMÄN DEL

FÖRORD

INLEDNING

- 1 FÖRUTSÄTTNINGAR
- 2 AVFALL FRÅN SVENSKA KÄRNKRAFTPROGRAMMET
- 3 ÅTGÄRDER FÖR ATT TA HAND OM RADIOAKTIVT AVFALL FRÅN KÄRNKRAFTVERKEN
- 4 SLUTFÖRVARING AV ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE. ÖVERSIKT AV MÅL, PLAN FÖR ÅTGÄRDER OCH KUNSKAPSLÄGET
- 5 SLUTFÖRVARING AV ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE. SAMMANFATTNING AV PLANERAD FORSKNING OCH UTVECKLING 1990-1995
- 6 RIVNING AV KÄRNKRAFTVERK

Referenser

Bilaga

Del II FORSKNINGSPROGRAM 1990-1995

- 1 ALLMÄNT
- 2 LOKALISERING AV SLUTFÖRVAR FÖR ANVÄNT BRÄNSLE OCH ÖVRIGT LÅNGLIVAT AVFALL
- 3 SÄKERHETSANALYSER
- 4 UTFORMNING AV FÖRVAR
- 5 TEKNISKA BARRIÄRER
- 6 BERGETS EGENSKAPER
- 7 KEMI
- 8 METOD- OCH INSTRUMENTUTVECKLING
- 9 UNDERJORDISKT BERGLABORATORIUM
- 10 STRIPA-PROJEKTET
- 11 NATURLIGA ANALOGIER
- 12 BIOSFÄRSSTUDIER
- 13 INTERNATIONELLT SAMARBETE

Referenser

UNDERLAGSRAPPORTER

- I Granskningen av FoU-program 86. Sammanställning och SKBs kommentarer
- II Underjordiskt berglaboratorium

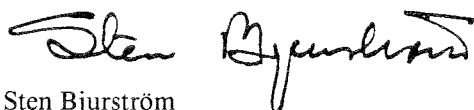
FÖRORD

Lagen om kärnteknisk verksamhet (SFS 1984:3) föreskriver i sin 12 § att ett program skall upprättas för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som behövs för att på ett säkert sätt hantera och slutförvara det radioaktiva avfallet m m från kärnkraftverken. Skyldigheten åligger primärt ägarna till kärnkraftverken. Dessa har uppdragit åt SKB att utarbeta det föreskrivna programmet. Detta skall enligt kärnteknikförordningen 25 § (SFS 1984:14) redovisas till statens kärnbränslenämnd under september månad vart tredje år med början år 1986.

Syftet med detta 2:a program är att fullgöra ovanstående redovisningskrav.

Stockholm i september 1989

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB



Sten Bjurström
VD



/Per-Eric Ahlström
Forskningschef

INNEHÅLLSFÖRTECKNING DEL I

	Sida
FÖRORD	
INLEDNING	9
1 FÖRUTSÄTTNINGAR	11
1.1 Riktlinjer för avfallshanteringen	11
1.2 Gällande lagstiftning m m	11
1.3 Bakgrund	11
1.4 FoU-program 86 — Remissbehandling	11
2 AVFALL FRÅN SVENSKA KÄRNKRAFTPROGRAMMET	13
2.1 Klassificering av radioaktivt avfall	13
2.2 Avfall från kärnkraftverken	13
2.2.1 Använt bränsle	13
2.2.2 Driftavfall	13
2.2.3 Härdkomponenter och reaktortankens interna delar	14
2.2.4 Rivningsavfall	14
2.3 Övrigt radioaktivt avfall	14
2.3.1 Avfall från CLAB och BS	14
2.3.2 Avfall från Studsvik	14
2.3.3 Avfall från upparbetning	14
2.4 Beräknade avfallsmängder	15
3 ÅTGÄRDER FÖR ATT TA HAND OM RADIOAKTIVT AVFALL FRÅN KÄRNKRAFTVERKEN	17
3.1 Allmänt	17
3.2 Tänkbara slutförvaringsprinciper	17
3.3 Anläggningar och system i drift	18
3.3.1 Slutförvar för radioaktivt driftavfall, SFR	18
3.3.2 Centralt mellanlager för använt bränsle, CLAB	18
3.3.3 Transportsystemet	20
3.4 Framtida anläggningar och system	20
3.4.1 Behandlingsstation för använt bränsle, BS	20
3.4.2 Slutförvar för långlivat avfall, SFL	21
3.5 Tidplan	22
4 SLUTFÖRVARING AV ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE. ÖVERSIKT AV MÅL, PLAN FÖR ÅTGÄRDER OCH KUNSKAPSLÄGET	23
4.1 Mål för forskningsarbetet — Allmänt	23
4.2 Utgångspunkter för FoU-arbetet	23
4.3 Övergripande plan för FoU-arbetet	24
4.3.1 FoU-program 86	24
4.3.2 Program för FoU och övriga åtgärder	24

	Sida	
4.4	Kunskapsläget beträffande säkerhetsanalyser	26
4.4.1	Mål för arbetet med säkerhetsanalyser	26
4.4.2	Utvecklingsläge för säkerhetsanalyser	27
4.5	Kunskapsläget beträffande tekniska barriärer	27
4.5.1	Mål för forskningen rörande tekniska barriärer	27
4.5.2	Utformning av slutförvaret	28
4.5.3	Avfallsformer	28
4.5.4	Kapsel	28
4.5.5	Buffert- och återfyllnadsmaterial	29
4.6	Kunskapsläget inom det geovetenskapliga området	30
4.6.1	Mål för de geovetenskapliga studierna	30
4.6.2	Bergets grundvattenrörelser	30
4.6.3	Bergets stabilitet i ett långtidsperspektiv	31
4.6.4	Metod- och instrumentutveckling	32
4.6.5	Underjordiskt berglaboratorium	32
4.7	Kemi	32
4.7.1	Mål för FoU på kemiområdet	32
4.7.2	Nuvarande kunskapsläge	33
4.8	Biosfärsstudier	34
4.8.1	Mål för biosfärsstudier	34
4.8.2	Nuvarande kunskapsläge	34
5	SLUTFÖRVARING AV ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE. SAMMANFATTNING AV PLANERAD FORSKNING OCH UTVECKLING 1990-1995	35
5.1	Allmänt	35
5.2	Forskningsområden och projekt	35
5.3	Forskningsprogram 1990-1995	36
5.3.1	Lokalisering av slutförvaret	36
5.3.2	Säkerhetsanalys	36
5.3.3	Utformning av slutförvaret	38
5.3.4	Tekniska barriärer	38
5.3.5	Bergets egenskaper	38
5.3.6	Metod- och instrumentutveckling	39
5.3.7	Underjordiskt berglaboratorium	40
5.3.8	Kemi	40
5.3.9	Naturliga analogier	41
5.3.10	Biosfärsstudier	41
5.3.11	Internationellt samarbete	41
5.4	Programmets genomförande	42
6	RIVNING AV KÄRNKRAFTVERK	45
6.1	Bakgrund	45
6.2	Mål och översiktlig plan	45
6.3	Pågående arbete	45
6.3.1	Sverige	45
6.3.2	Andra länder	46
6.4	Forskningsprogram 1990-1995	47
	REFERENSER	Ref 49
	Bilaga	51

INLEDNING

I kärntekniklagen (SFS 1984:3) åläggs ägarna till de svenska kärnkraftverken att gemensamt låta upprätta ett allsidigt program för den forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som behövs för att ta hand om kärnkraftavfallet på ett säkert sätt.

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har av sina ägare, de svenska kärnkraftföretagen givits uppdraget att utveckla, planera, bygga samt driva anläggningar och system för hantering och omhändertagande av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall från de svenska kärnkraftverken.

SKB svarar också för den omfattande forskningsverksamhet inom kärnavfallsområdet som staten ålagt de svenska kärnkraftproducenterna.

SKB ägs av Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA), OKG AB, Sydsvenska Värmekraft AB (SVAB, ägs av Sydkraft AB) och Statens Vattenfallsverk (Vattenfall).

Nämnda företag har uppdragit åt SKB att utarbeta det program för forskning och utveckling som kärntekniklagen föreskriver. Programmet, som redovisas i denna rapport, ger en översikt över samtliga åtgärder fram till genomförd slutförvaring. För perioden 1990-1995 redovisas ett mer detaljerat forskningsprogram.

SKBs forskningsarbeten t o m år 1983 har redovisats i den sk KBS-3-rapporten, vilken inlämnades som underlag för ansökningarna om laddningstillstånd för Forsmark 3 och Oskarshamn 3.

Under 1986 inlämnade SKB det första forskningsprogrammet enligt kärntekniklagen, FoU-program 86. Denna rapport redovisade kortfattat forskningsresultat som erhållits efter det att KBS-3-rapporten publicerades i maj 1983.

I detta forskningsprogram, FoU-program 89, redovisas forskningsresultat, vilka erhållits efter september

1986 då FoU-program 86 publicerades. En utförligare redovisning av dessa resultat återfinns i serien SKB Tekniska Rapporter.

Vid utarbetandet av FoU-program 89 har beaktats de påpekanden som framkom vid remissgranskningen av FoU-program 86.

För de delar av avfallssystemet som redan tagits i drift — transport- och hanteringssystem, centralt lager för använt bränsle (CLAB) och slutförvar för reaktoravfall (SFR) — har forsknings- och utvecklingsstadiet till väsentliga delar redan passerat. Det redovisade programmet avser därför huvudsakligen behandling och slutförvaring av använt bränsle samt rivning av kärnkraftverk.

Rapporten är uppdelad i två delar.

I del I — Allmän del — redovisas förutsättningarna för avfallshanteringen och de avfallstyper som uppkommer från det svenska kärnkraftprogrammet. Vidare redovisas översiktligt de åtgärder som erfordras för att hantera och slutförvara olika former av avfall. I remissvaren till FoU-program 86 efterfrågades speciellt en översikt avseende dagens kunskapsläge inom forskning och utveckling, varför en sådan sammanställning redovisas. En sammanfattning av planerad forskning och utveckling för perioden 1990-1995 samt en redovisning av åtgärder för rivning av kärnkraftverk avslutar del I.

Del II redovisar ett forskningsprogram för åren 1990-1995.

Kärntekniklagen kräver att programmet skall dels "innehålla en översikt över samtliga åtgärder som kan bli behövliga" och dels "närmare ange de åtgärder som avses bli vidtagna inom en tidsrymd av minst sex år". Del I avses motsvara det förstnämnda kravet medan del II motsvarar kravet på en detaljerad sexårsplan.

1 FÖRUTSÄTTNINGAR

1.1 RIKTLINJER FÖR AVFALLSHANTERINGEN

Målet för avfallshanteringen är att på ett säkert sätt ta hand om alla radioaktiva restprodukter som uppkommer vid de svenska kärnkraftverken.

För systemet för avfallshantering gäller följande allmänna riktlinjer:

- De radioaktiva restprodukterna skall omhändertas i Sverige.
- Det använda kärnbränslet skall mellanlagras och slutförvaras utan uppberedning.
- Tekniska system och anläggningar skall uppfylla högt ställda krav på säkerhet och strålskydd samt tillgodose svenska myndighetskrav.
- Systemen för avfallshantering skall utformas så att kraven på kontroll av klyvbart material kan tillgodoses.
- Avfallsfrågan skall till alla väsentliga delar lösas av den generation som utnyttjar elproduktionen från kärnkraftverken.
- Beslut om den definitiva utformningen av slutförvaret för använt kärnbränsle skall fattas först omkring år 2000 för att kunna baseras på ett brett kunskapsunderlag.
- Erforderliga tekniska lösningar skall utarbetas inom landet samtidigt som tillgänglig utländsk kunskap skall inhämtas.
- Myndigheternas löpande granskning och direktiv avseende kärnkraftföretagens handläggning av avfallsfrågan skall vara vägledande för arbetets bedrivande.
- Verksamheten skall bedrivas öppet och med god insyn från samhällets sida.

1.2 GÄLLANDE LAGSTIFTNING MM

Kärnkraftverksägarnas skyldigheter med avseende på hantering och slutförvaring av radioaktivt avfall regleras i lagen om kärnteknisk verksamhet, i förordningen om kärnteknisk verksamhet samt i vissa tillstånd och riktlinjer som regeringen utfärdat. En översikt över de viktigaste bestämmelserna ges i bilagan.

Bestämmelserna och riktlinjerna innebär i korthet att ägarna av kärnkraftverk skall svara för

- att vidta de åtgärder som behövs för att hantera och slutförvara uppkommet kärnavfall på ett säkert sätt och för att utveckla och riva kärnkraftverken och tillhörande anläggningar,
- den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet som behövs för att genomföra dessa åtgärder inklusive studier av alternativa hanterings- och förvaringsmetoder,

- att var tredje år från och med 1986 upprätta ett program för forskning och utveckling och övriga åtgärder samt därvid redovisa uppnådda forskningsresultat.

1.3 BAKGRUND

Forskning rörande hantering och slutförvaring av radioaktivt avfall startade i större omfattning i Sverige i samband med inrättandet av Programrådet för radioaktivt avfall (Prav) år 1975. Rådet inrättades på förslag av AKA-utredningen /1-1/. Forskningen intensifierades i samband med tillkomsten av den sk "villkorsslagen" 1976/77. Härvid startades KBS-projektet av kärnkraftföretagen. Projektarbetet knöts administrativt till SKB. Projektet tog fram två slutförvaringsmetoder KBS-1 för förglasat högaktivt avfall från uppberedning (1977) /1-2/ och KBS-2 för slutförvaring av använt icke uppberedat kärnbränsle (1978) /1-3/.

KBS-1-rapporten utgjorde underlag för ansökningar om laddningstillstånd för reaktorerna Ringhals 3 och 4 samt Forsmark 1 och 2. Regeringen beviljade tillstånd för laddning 1979-80.

I samband med tillkomsten av finansieringslagen /1-4/ avskaffades Prav och i stället inrättades Nämnden för Använt Kärnbränsle (NAK), sedermera Statens Kärnbränslenämnd (SKN). Denna myndighet har bl a till uppgift att granska och övervaka kraftföretagens (SKBs) verksamhet inom avfallsområdet.

År 1983 presenterade SKB en ny rapport om slutförvaring av använt kärnbränsle. Rapporten baserades på samma metod som beskrivs i KBS-2, men den nya rapporten, KBS-3, bygger på ett väsentligt breddat och fördjupat kunskapsunderlag /1-5/.

KBS-3-rapporten utgjorde underlag för laddningstillstånd för reaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3. Regeringen beviljade sådana tillstånd enligt den nya kärntekniklagen /1-6/ i juni 1984. Som grund för tillståndet låg även ett forskningsprogram /1-7/ utarbetat av SKB i februari 1984.

I september 1986 presenterade SKB det första forskningsprogrammet (FoU-program 86) enligt kärntekniklagen.

Resultaten från SKBs forskningsarbeten rapporteras fortlöpande i SKBs tekniska rapporter. Årliga sammanfattningar ingår i SKB Annual Report /1-8, 9, 10, 11, 12/.

1.4 FoU-program 86 — REMISS-BEHANDLING

Efter att FoU-program 86 inlämnats till SKN i september 1986 utskickades programmet på remiss till ett stort antal institutioner och personer såväl inom som utom Sverige. Remisstiden utgick den 1 februari 1987. Ett

30-tal svenska och ett 10-tal utländska remissvar inkom till SKN. På grundval av dessa och sina egna överväganden utarbetade SKN en särskild granskningsrapport som tillställdes regeringen i maj 1987. Regeringen beslöt i december att SKBs program svarar mot de krav som kärntekniklagen ställer och att programmet bör utgöra grund för fortsatta arbeten samt att SKNs

granskningssynpunkter bör beaktas så långt det är möjligt.

En sammanställning av SKB-kommentarer till de erhållna remissvaren återfinns i en av underlagsrapporterna till detta program. SKB har i förligaste mån beaktat inkomna kommentarer till FoU-program 86 i föreliggande forskningsprogram.

2 AVFALL FRÅN SVENSKA KÄRNKRAFT-PROGRAMMET

2.1 KLASSIFICERING AV RADIOAKTIVT AVFALL

Radioaktivt avfall från det svenska kärnkraftsprogrammet har mycket varierande form och aktivitetsinnehåll, alltifrån praktiskt taget inaktivt sopavfall till använt bränsle, som har mycket högt aktivitetsinnehåll. Olika avfallsformer ställer därför olika krav på hantering och slutförvaring.

Ur hanteringssynpunkt är det praktiskt att indela avfallet i grupperna lågaktivt, medelaktivt och högaktivt avfall. Lågaktivt avfall kan hanteras och lagras i enkla förpackningar utan särskilda skyddsåtgärder i övrigt. Medelaktivt avfall måste strålskärmas för säker hantering. Högaktivt avfall kräver utöver strålskärning även kylning under en viss tid för att kunna lagras säkert.

Ur slutförvaringssynpunkt är livslängden hos de ingående radioaktiva ämnena av stor betydelse. Man skiljer mellan avfall med kort och lång livslängd.

Det kortlivade avfallet innehåller huvudsakligen radionuklider med kortare halveringstid än 30 år, dvs det har avklingat till ofarlig nivå inom några hundra år. Detta avfall skall deponeras i slutförvaret för reaktoravfall, SFR, vid Forsmark. En del mycket lågaktivt och kortlivat avfall kan deponeras på en enkel soptipp.

Långlivat avfall förblir radioaktivt under tusentals år eller mer och kräver en mer kvalificerad slutförvaring.

I Tabell 2-1 ges exempel på klassificering av avfall från kärnkraftsprogrammet ur aktivitets- resp. livslängdssynpunkt.

2.2 AVFALL FRÅN KÄRNKRAFTVERKEN

Avfallet från kärnkraftverken brukar med hänsyn till den fortsatta hanteringen delas in i följande grupper:

- Använt bränsle.
- Driftavfall (reaktoravfall).
- Härdkomponenter och interna delar.
- Rivningsavfall.

2.2.1 Använt bränsle

Huvuddelen av de radioaktiva ämnena (ca 99%), som bildas i ett kärnkraftverk finns i det använda bränslet.

I KBS-3 beskrivs några av de bränsletyper som används i svenska kraftreaktorer /2-1/. Ett bränsleelement för en kokareaktor (BWR) innehåller ca 180 kg uran och för en tryckvattenreaktor (PWR) ca 460 kg uran. Konstruktionen skiljer sig åt något mellan olika tillverkare och mellan bränsle tillverkat vid olika tid-

Tabell 2-1. Exempel på klassificering av radioaktivt avfall.

Livslängd	Radioaktivitet		
	Hög	Medel	Låg
Lång (tusentals år)	Använt bränsle	Vissa härd- komponen- ter	Underhålls- avfall
Medel (några hundra år)		Jonbytmassor Kasserade komponenter Rivningsavfall	

punkter. Ur slutförvaringssynpunkt är skillnaderna mellan olika bränsletyper allmänt sett obetydliga. Detta gäller även udda bränsleelementtyper med oxidbränsle kapslat i zircaloy, t ex MOX-bränsle och Ågesta-bränsle.

Det använda bränslet utgörs till största delen av icke förbrukat uran, medan huvuddelen av radioaktiviteten hänförs till bränslets innehåll av klyvningsprodukter och transuraner. Exempel på sammansättning, aktivitetsnivå och andra data för använt bränsle ges i /2-2/.

Den höga aktivitetsnivån i använt bränsle medför att det fortsätter att avge värme lång tid efter att det tagits ut ur reaktorn. Detta har stor betydelse för hur det använda bränslet skall hanteras och slutförvaras. Mellan 1 och 40 år efter uttag sjunker resteffekten med ca en faktor 10. Därefter tar det ca 1000 år innan resteffekten har sjunkit ytterligare en faktor 10.

2.2.2 Driftavfall

I begreppet driftavfall innefattas ett antal olika typer av avfall, som erhålles i samband med drift och underhåll av reaktorerna. Det är främst jonbytmassor och filter, som erhålles kontinuerligt under drift vid rening av reaktorvattnet. I driftavfallet ingår även utbytta komponenter från reaktorsystemen, samt skyddskläder, plast, papper, isoleringsmaterial m m, som använts i utrymmen där aktivitet förekommer och som därmed kan vara kontaminerade.

Driftavfallet är låg- och medelaktivt och det innehåller huvudsakligen radioaktiva ämnen med kortare halveringstider än 30 år. Halten långlivade radioaktiva ämnen är mycket låg. Aktiviteten i driftavfallet har således avklingat till en ofarlig nivå inom några hundra år eller mindre.

Driftavfallet behandlas på kärnkraftverken, så att det får en förpackning och form, som är lämplig med hänsyn till dess fortsatta hantering. Olika behandlingsmetoder tillämpas på olika kärnkraftverk. Detta beskrivs närmare i /2-3/.

Liknande avfall kommer även från driften av det centrala mellanlagret för använt bränsle, CLAB, och från Studsvik.

2.2.3 Härdkomponenter och reaktortankens interna delar

Komponenter, som sitter i eller i närheten av härden inne i reaktortanken utsätts för ett starkt neutronflöde och får därigenom en hög inducerad aktivitet. En del av dessa komponenter, t ex neutrontektorer, byts successivt ut och ersätts med några års mellanrum. Andra, t ex moderatortanken, skall användas hela reaktorns livstid och blir således avfall först när reaktorerna rivs.

Till härdkomponenterna räknas här även bränsleboxar och andra konstruktionsdetaljer i bränsleelementen.

Härdkomponenterna och en del interna delar i reaktortanken har en mycket hög strålnivå, när de tas ur reaktorn. Den domineras av kobolt-60, som har ca 5 års halveringstid, vilket innebär att strålnivån sjunker med en faktor 1000 på 50 år. I härdkomponenter och interna delar ingår även en del radioaktiva ämnen med lång halveringstid, t ex nickel-59 (90 000 år) och niob-94 (20 000 år). Radiotoxiciteten hos dessa ämnen är lägre än hos transuranerna och kraven på slutförvaringen av dessa komponenter blir därför lägre än för använt bränsle.

2.2.4 Rivningsavfall

När ett kärnkraftverk slutgiltigt ställs av är delar av anläggningen radioaktiva och måste således tas om hand på ett säkert sätt. Det är dels reaktortanken och dess interna delar, samt betongen närmast reaktortanken, som har inducerad aktivitet, dels olika delar av reaktorsystemen, som blivit radioaktivt kontaminerade. Huvuddelen av anläggningen har dock inte kommit i kontakt med radioaktivitet och avfallet kan därför hanteras som normalt avfall från rivning av industri- anläggningar.

Avfallet som erhålles vid rivning utgörs främst av komponenter av stål, t ex tankar, rör och ventiler, från reaktorns processsystem. Vidare erhålles stora mängder betong som till mer än 90% är helt inaktiv. I samband med rivningsarbetet får man även en del processavfall från vatten- och luftreningsystem som är i drift under rivningsperioden.

Det radioaktiva rivningsavfallet är genomgående låg- och medelaktivt. Aktivitetsnivån varierar dock avsevärt mellan olika delar. En stor del av skrotet kan friklassas för återanvändning. Betongen och ytterligare en del material kan deponeras på en normal industritipp eventuellt i anslutning till reaktoranläggningen. Huvuddelen av det aktiva rivningsavfallet har dock en aktivitetsnivå som motiverar en deponering i SFR. Vid rivningen erhålles också, som nämnts ovan, vissa starkt radioaktiva interna delar från reaktortanken, vilka kräver särskild behandling.

En stor del av aktiviteten utgörs av ytkontaminering som kan tas bort med olika dekontamineringsmetoder.

Mängden material, som kan friklassas är därför beroende av hur långt man vill driva dekontamineringsarbetet.

2.3 ÖVRIGT RADIOAKTIVT AVFALL

Utöver från kärnkraftverken får man i Sverige radioaktivt avfall främst från centrala mellanlagret för använt bränsle, CLAB, och den kommande behandlingsstationen för använt bränsle, BS, samt från Studsvik. Till Studsvik insamlas även avfall från användning av radioaktiva ämnen i industri, sjukvård och forskning.

2.3.1 Avfall från CLAB och BS

Avfallet från CLAB är av samma slag som driftavfallet från reaktorerna. Det behandlas också på samma sätt. Liknande avfall kommer också att erhållas från behandlingsstationen för använt bränsle, BS.

2.3.2 Avfall från Studsvik

I Studsvik uppkommer avfall från driften av forskningsreaktorn R2 samt från FoU-verksamhet kring radioaktiva produkter, t ex bränslestavar. Bränslet som används i R2 återsänds till USA och behöver således inte tas om hand i Sverige. Övrigt avfall från R2 är av liknande typ som driftavfallet från kärnkraftverken och behandlas också på likartat sätt.

Avfallet från FoU-verksamheten är däremot av annan karaktär. En del av detta avfall består av bränsle-rester och innehåller betydande mängder långlivade transuraner. Detta avfall ställer därför liknande krav på slutförvaringen som det använda bränslet. I Studsvik finns även lagrat bränsle från Ågesta-reaktorn, samt från forskningsreaktorn R1. Sedan 1987 pågår en överföring av Ågesta-bränsle och inkapslade bränsle-rester till CLAB.

2.3.3 Avfall från uppberetning

Vid uppberetning av använt kärnbränsle separeras bränslematerialen uran och plutonium från klyvningsprodukter och övriga transuraner. Från denna process erhålles dels högaktivt förglasat avfall, som innehåller huvuddelen av radioaktiviteten, dels låg- och medelaktivt avfall ingjutet i cement eller bitumen.

Det mesta avfallet från uppberetning innehåller betydande mängder av transuraner och är därför långlivat.

Svensk kraftindustri har uppberetningskontrakt med BNFL i Storbritannien och med COGEMA i Frankrike. Endast kontrakten med COGEMA innebär återsändande av avfall till Sverige. Enligt gällande planering avser SKB inte att utnyttja dessa kontrakt, utan arbetar för att avyttra dem. Uppberetningsavfall ingår därför inte längre i de svenska planerna för kärnkraftens slutsteg.

2.4 BERÄKNADE AVFALLS- MÄNGDER

I PLAN 89 har den totala mängden radioaktivt avfall från det svenska kärnkraftsprogrammet beräknats /2-4/. Resultatet framgår av Tabell 2-2.

Tabell 2-2. Huvudtyper av radioaktiva restprodukter.

Produkt	Huvudsakligt ursprung	Enhet	Antal enheter	Volym i slutlager m ³
Använt bränsle		ton U	7 800	
Alfa-kontaminerat avfall	Låg- och medelaktivt avfall från Studsvik	fat	18 000	6 000
Härdkomponenter	Reaktordelar	kokiller	2 400	19 700
Låg- och medelaktivt avfall	Driftavfall från kärnkraftverk och behandlingsanläggningar	fat och kokiller	60 000	95 000
Rivningsavfall	Från rivning av kärnkraftverk och behandlingsanläggningar	10—20 m ³ behållare	5 600	114 000

3 ÅTGÄRDER FÖR ATT TA HAND OM RADIOAKTIVT AVFALL FRÅN KÄRNKRAFTVERKEN

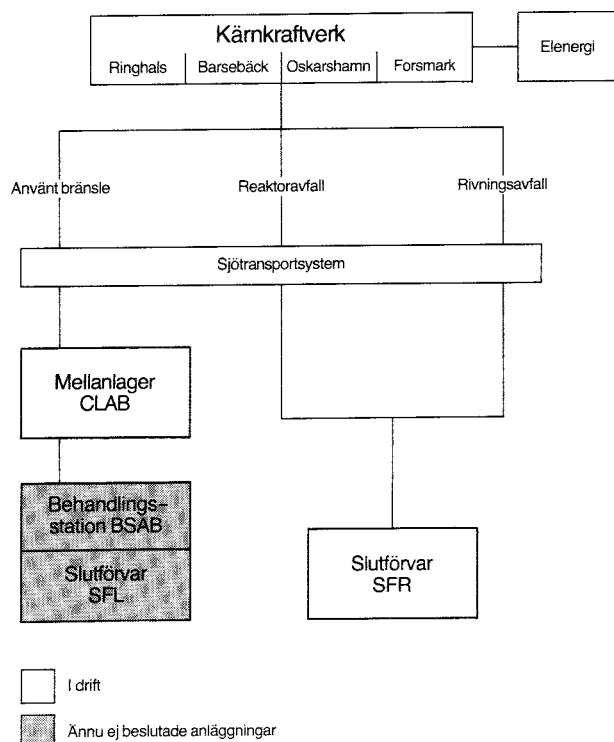
3.1 ALLMÄNT

En säker hantering och slutförvaring av kärnkraftavfallet kräver planering, uppförande och drift av ett flertal anläggningar och system. Figur 3-1 ger en översikt av de olika delarna i det planerade svenska avfallshanteringsystemet. Dessa beskrivs utförligt i den årliga redovisningen av kostnaderna för att ta hand om kärnkraftens radioaktiva restprodukter, PLAN 89, som kraftföretagen genom SKB lämnat /3-1/. Här ges endast en kortfattad översikt.

Anläggningarna planeras med hänsyn även till det radioaktiva avfall, som finns i Sverige, men som inte hänför sig till elkraftproducerande reaktorer, se kapitel 2.

Utformningen av systemet baseras på följande grundläggande principer:

- Kortlivat avfall skall deponeras snarast efter att det uppkommit.
- Använt bränsle mellanlagras i ca 40 år innan det placeras i slutförvar. Därigenom begränsas värmeutvecklingen i slutförvaret.
- Övrigt långlivat avfall deponeras i anslutning till slutdeponeringen av använt bränsle.



Figur 3-1. Det svenska avfallshanteringsystemet.

Väsentliga delar av avfallshanteringsystemet är redan i drift, nämligen det centrala mellanlagret för använt bränsle, CLAB, slutförvaret för radioaktivt driftavfall, SFR, och transportsystemet. Under senare delen av 1990-talet planeras CLAB och SFR byggas ut för att kunna ta hand om allt använt bränsle och avfall från det svenska programmet.

Återstående delar som ännu ej beslutats är en behandlingsstation för använt bränsle, BS, och ett slutförvar för långlivat avfall, SFL. Dessa kommer ej att byggas förrän efter 2010 enligt nuvarande planering. För dessa systemdelar pågår ett omfattande FoU-arbete, som syftar till att finna en lämplig utformning och plats, se kapitel 4 och 5.

I åtgärderna för att ta hand om kärnkraftens radioaktiva restprodukter ingår även att riva kärnkraftverken och övriga anläggningar, när dessa har tagits ur drift, samt att slutförvara avfallet från rivningen. Se kapitel 6.

3.2 TÄNKBARA SLUTFÖRVARINGSPRINCIPER

Ett antal tänkbara principer för slutförvaring belyses i SKN PLAN 87 samt i SKBs PLAN 82 del 1/3-2, 3/. Nedan ges en förkortad sammanfattning av diskussionen i dessa referenser.

Begreppet slutförvaring får anses innebära att avfallet skall förvaras utan krav på tillsyn och på ett sätt som gör det svårt eller omöjligt att komma åt. En övervakad förvaring ingår dock som ett ofrånkomligt led i hantlingskedjan. Den kan utsträckas över mycket lång tid utan större tekniska eller säkerhetsmässiga problem. Förr eller senare måste dock avfallet överföras till ett förvar utan tillsyn och förvaret tillslutas. Man kan inte begära eller förutsätta att framtida generationer ombesörjer resurskrävande bevakning och skötsel av förvaret. Ett förvar som för sin säkerhet är beroende av fortlöpande kontroll och underhållsåtgärder kan ej betraktas som ett slutförvar.

Vid slutförvaring av använt bränsle måste kontrollen av klyvbart material beaktas även på lång sikt. Detta innebär att slutförvaret måste utformas och tillslutas på ett sådant sätt att det krävs så omfattande och välplanerade åtgärder för att återvinna det klyvbara materialet, att ett återtagande i hemlighet kan utslutas.

Följande principer för slutförvaring av radioaktivt avfall har förekommit i den internationella diskussionen:

- Placering på stort djup i kontinentala geologiska formationer.
- Placering i ytliga jord- eller berglager.
- Placering under havsbotten i djuphavssediment.
- Dumpning i havet.

— Placering i eller under större inlandsis (t ex Antarktis).

— Utskjutning i rymden (alternativt till solen).

Placering av långlivat avfall på stort djup (flera hundra meter eller mer) i kontinental geologiska formationer är den princip som prioriteras av alla länder som bedriver mer omfattande forskning och utveckling på avfallsområdet. Det är också den enda principen som inom överskådlig tid bedöms tillgänglig och genomförbar för svenskt vidkommande.

Placering i ytliga jordlager eller ytligt i berget (några tiotal upp till 100 m djup) medför restriktioner på markanvändningen efter det deponeringen genomförs. Denna princip kan endast tillämpas på kortlivat avfall eller avfall med låg radiotoxicitet. Principen tillämpas i SFR.

Placering under havsbotten i djuphavssedimenten utanför kontinentalsockeln (sk deep sea-bed disposal) studeras av flera länder, bl a genom internationellt samarbete i OECD/NEAs regi. Denna princip, som har vissa attraktiva drag, torde förutsätta internationella avtal eller konventioner och är inte möjlig som en oberoende svensk lösning.

Dumpning i havet eller placering i eller under inlandsis är ej tillämpliga i Sverige.

Utskjutning i rymden skulle visserligen på ett övertygande sätt göra avfallet oåtkomligt, men förutsätter att säkerheten i uppskjutningen kan garanteras. Den är även av resursskäl knappast intressant för svenskt vidkommande.

I princip kan man även tänka sig en sluthantering som innebär oskadliggörande av de långlivade radioaktiva ämnena i avfallet genom nukleär förbränning (transmutation till stabila eller kortlivade ämnen). Ett sådant system kräver dock, dels en avancerad uppbyggnad, dels reaktorer med hög neutronflux (t ex snabba brytare). Om denna metod alls kan förverkligas kan det endast ske inom ramen för ett långt mera utvecklat kärnenergi-program än vad som beslutats i Sverige.

Forskningsprogrammet har således inriktats mot slutmålet att slutförvaringen av det använda kärnbränslet skall ske djupt ned i svensk berggrund. Den tidigare nämnda KBS-3-rapporten har beskrivit en metod baserad på denna princip som har godtagits med hänsyn till säkerhet och strålskydd.

SKBs forskning och utveckling syftar till att ta fram ett brett underlag för det slutliga valet av metod. Arbetet är principiellt sett inte knutet till någon viss metod. Det är generellt upplagt, för att studera relevanta frågor som har betydelse för många alternativ för slutförvaring i berg. Detta innebär att i pågående och fortsatt forskning studeras och värderas även flera andra metoder.

Under senare år har följande principiella krav diskuterats: Ett slutförvar bör utformas så att det dels gör övervakning och underhåll onödiga för en säker funktion men dels inte möjliggör ingrepp och korrigerande åtgärder ("reparation") i framtiden om t ex framtida kunskaper skulle visa att slutförvarets utformning var olämplig. "Vi bör inte lägga ansvaret för slutförvaret på senare generationer men bör å andra sidan inte heller beröva kommande generationer deras möjlighet att

ta ansvar" /3-10/. SKB anser att denna princip är riktig. I ett bergförvar av t ex KBS-3 typ i kristallint berg tillgodoses dessa båda krav. För vissa andra principiella förvarialternativ saknas sådana förutsättningar.

3.3 ANLÄGGNINGAR OCH SYSTEM I DRIFT

3.3.1 Slutförvar för radioaktivt driftavfall, SFR

Slutförvaret för radioaktivt driftavfall, SFR, ligger vid Forsmarks kärnkraftverk /3-4/. I SFR deponeras driftavfall från de svenska kärnkraftverken, samt motsvarande avfall från CLAB och Studsvik. I Studsviksavfallet ingår även avfall från användning av radioisotoper inom forskning, industri och sjukvård.

Det avfall som deponeras i SFR är låg- och medelaktivt och kortlivat, vilket innebär att det har avklingat till en ofarlig nivå inom några hundra år. I Tabell 3-1 visas mängden avfall som planeras bli deponerat i SFR.

Tabell 3-1. Avfall som planeras bli deponerat i SFR.

	Lagervolym (m ³)
Driftavfall	
Medelaktivt	65 000
Lågaktivt	25 000
	90 000
Rivningsavfall	
Medelaktivt	12 000
Lågaktivt	88 000
	100 000

SFR har placerats i berg med ca 50 m bergtäckning. Det består av olika bergrum, som utformats med hänsyn till avfallets olika aktivitetsinnehåll, se Figur 3-2.

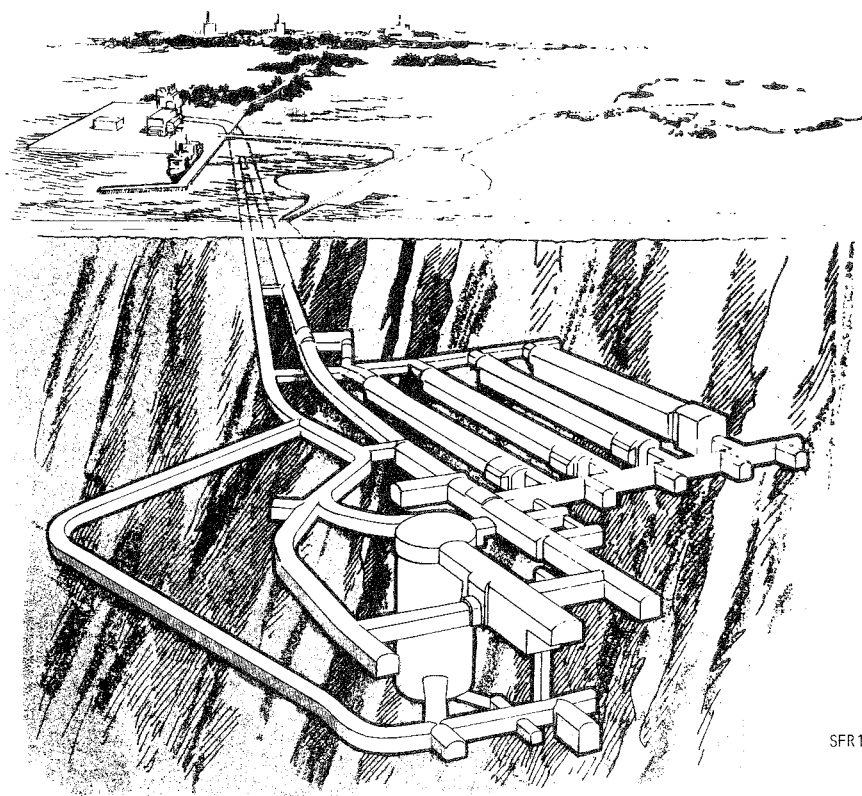
SFR byggs i två etapper, varav den första togs i drift 1988 och den andra planeras till slutet av 1990-talet.

I anslutning till SFR planeras även utrymmen för slutförvaring av rivningsavfall. Dessa kommer att beslutas och byggas när det blir aktuellt att riva kärnkraftverken. Dessförinnan krävs ett nytt regerings-tillstånd.

I ansökan om lokaliseringstillstånd för SFR angavs även att anläggningen senare kan utökas så att även hårdkomponenter och interna delar kan deponeras där. I den tidigare nämnda PLAN 89 antas av praktiska skäl att detta avfall i stället deponeras i anslutning till slutförvaret för långlivat avfall. Möjligheten att deponera det i SFR bör dock hållas öppet.

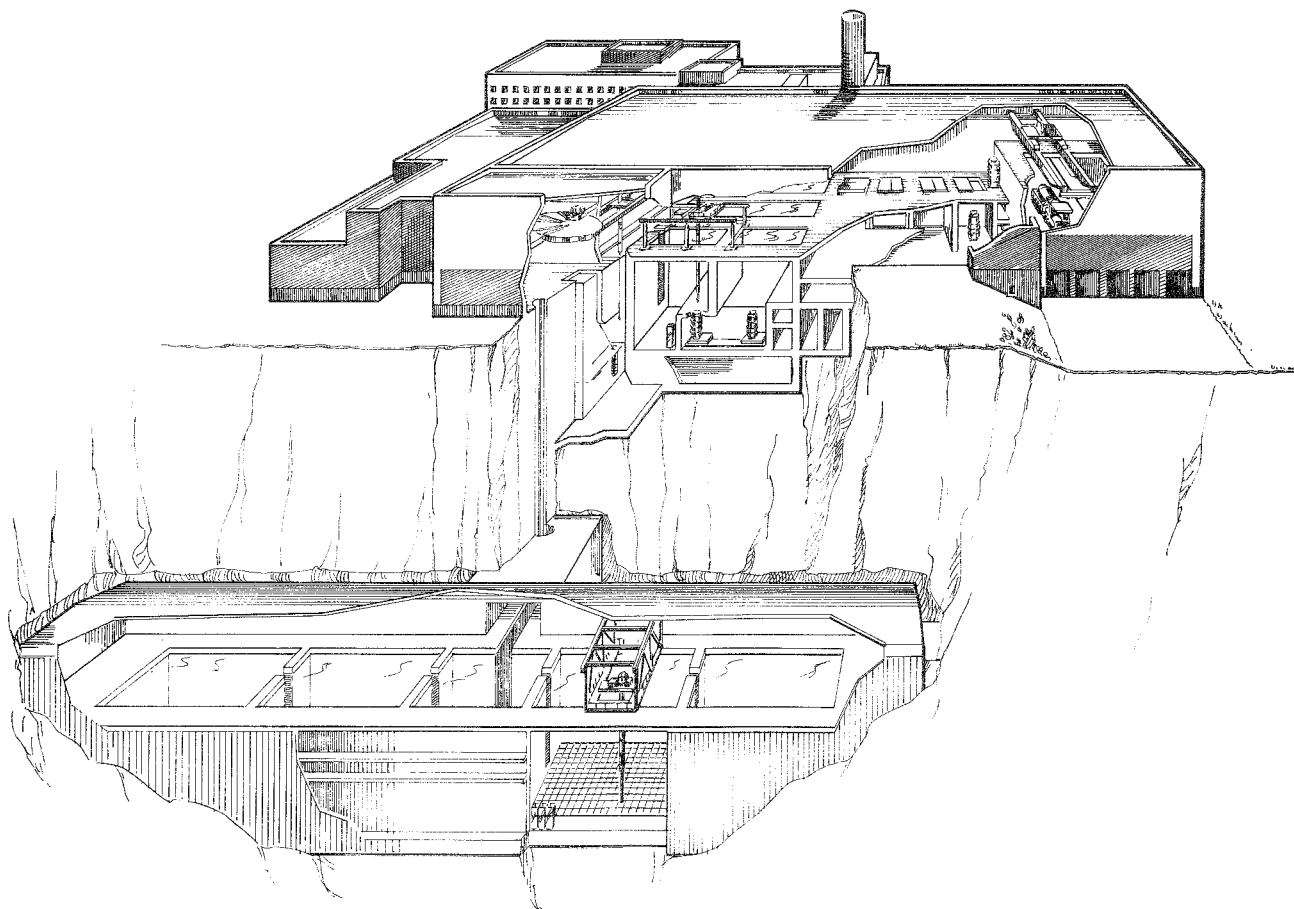
3.3.2 Centralt mellanlager för använt bränsle, CLAB

I det centrala mellanlagret för använt bränsle, CLAB, som ligger intill Oskarshamnverket, kommer bränslet att mellanlagras under ca 40 år. Under denna period minskar bränslets aktivitetsinnehåll och resteffekt med

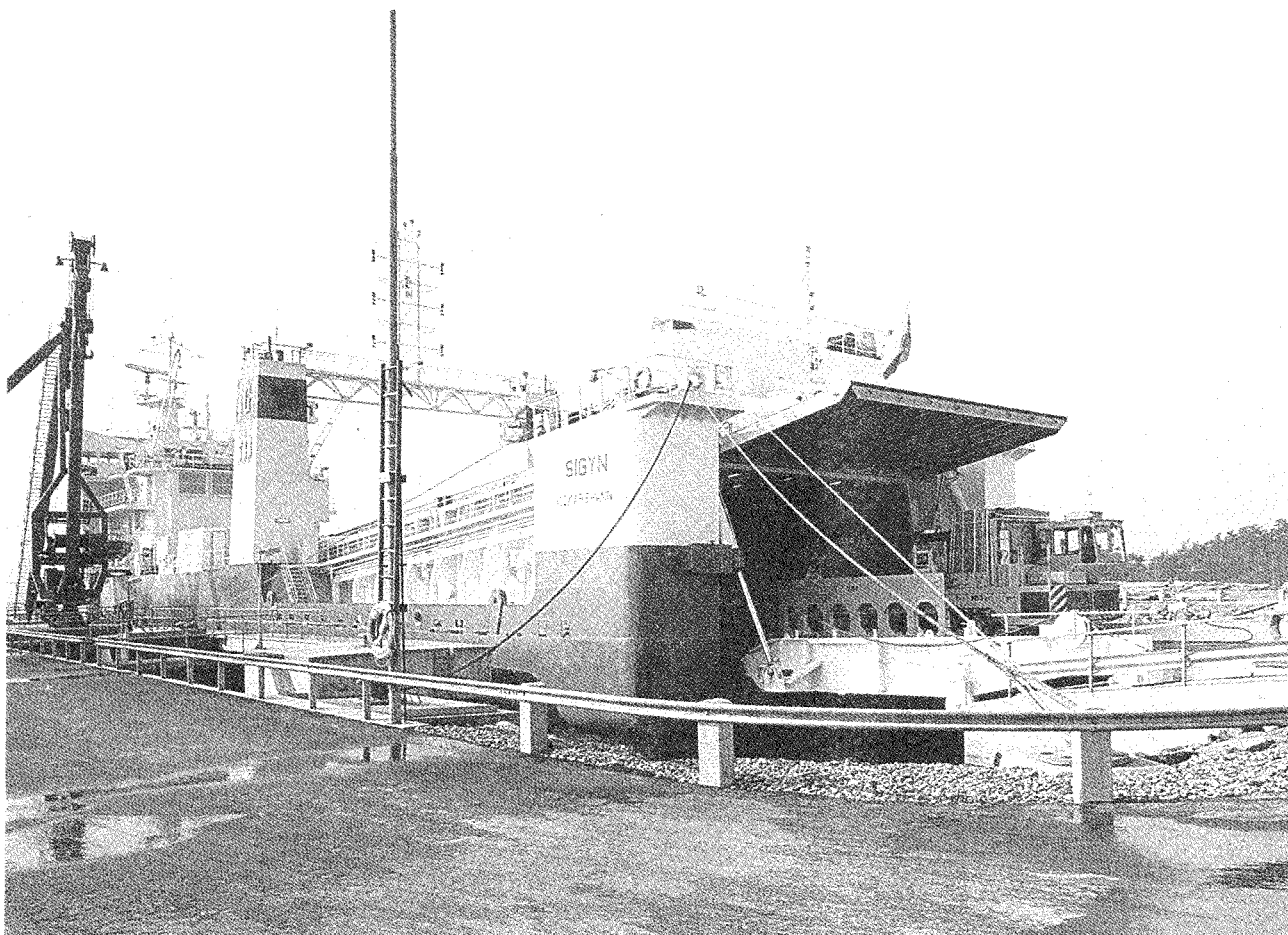


SFR1, FÖRSMARK

Figur 3-2. Slutförvar för radioaktivt driftavfall (SFR 1).



Figur 3-3. Centralt mellanlager för använt bränsle (CLAB).



Figur 3-4. Transportfordon med bränsletransportbehållare på väg ut ur M/S Sigyns lastutrymme.

ca 90%. CLAB togs i drift 1985 och avlastade därmed lagringsbehovet vid kärnkraftverken /3-5/.

CLAB består av en mottagningsbyggnad ovan jord och ett förvaringsutrymme i bergtrum, se Figur 3-3. Bränslet hanteras och förvaras under vatten. Kapaciteten är nu ca 3 000 ton använt bränsle i 4 bassånger. Genom att lagra bränslet tätare kan lagringskapaciteten i befintliga bassånger utökas till ca 5 800 ton U. En ansökan om utökning behandlas för närvarande av regeringen. Till början av 2000-talet planeras en utbyggnad så att allt bränsle från det svenska programmet, ca 8 000 ton, kan lagras i CLAB. Anläggningen är förberedd för detta och utbyggnaden kan ske samtidigt som bränsle tillförs och lagras i det befintliga bergtrummet.

I CLAB kan även hårdkomponenter och interna delar mellanlagras.

3.3.3 Transportsystemet

För transporter av använt bränsle och radioaktivt avfall används ett transportsystem baserat på sjötransporter /3-6/. Det består av ett fartyg, M/S Sigyn, transportbehållare och terminalutrustning, se Figur 3-4. Transportbehållarna uppfyller de höga krav på strålskärning och tålig het mot yttre påkänningar

som utarbetats av IAEA. Olika typer av transportbehållare används för använt bränsle och för låg- och medelaktivt avfall.

M/S Sigyn har använts sedan 1982. Sedan 1988 transporteras såväl bränsle från kärnkraftverken till CLAB som driftavfall till SFR. Vid behov kan transportsystemet senare, inför transporter till slutförvaret för långlivat avfall, kompletteras med utrustning för t ex järnvägstransporter. Behovet blir beroende av var slutförvaret placeras.

3.4 FRAMTIDA ANLÄGGNINGAR OCH SYSTEM

3.4.1 Behandlingsstation för använt bränsle, BS

Innan använt bränsle deponeras för slutförvaring kommer det att placeras i en kapsel, som underlättar hanteringen och som ger en tät inneslutning av bränslet under en viss tidsperiod. I KBS-3 beskrivs inkapsling av bränslet i en kopparkapsel, som ger en total inneslutning under en mycket lång tid /3-7/. Även andra material kan bli aktuella.

Utformningen av behandlingsstationen är beroende av vilken inkapslingsmetod, som kommer att användas och av anläggningens lokalisering. I PLAN 89 har behandlingsstationen antagits bli placerad i direkt anslutning till slutförvaret för långlivat avfall, varvid kapslarna förs ned i slutförvaret direkt efter inkapsling. Ett annat alternativ är att den placeras vid CLAB varvid inkapslat bränsle transporteras till slutförvaret.

Valet av material och metod för inkapslingen innebär en stark låsning till en viss slutförvaringsmetod och bör därför inte ske tidigare än nödvändigt. Inkapslingen planeras ske direkt före det att bränslet skall deponeras. Behandlingsstationen behöver därför inte börja byggas förrän omkring år 2010 enligt dagens planering.

3.4.2 Slutförvar för långlivat avfall, SFL

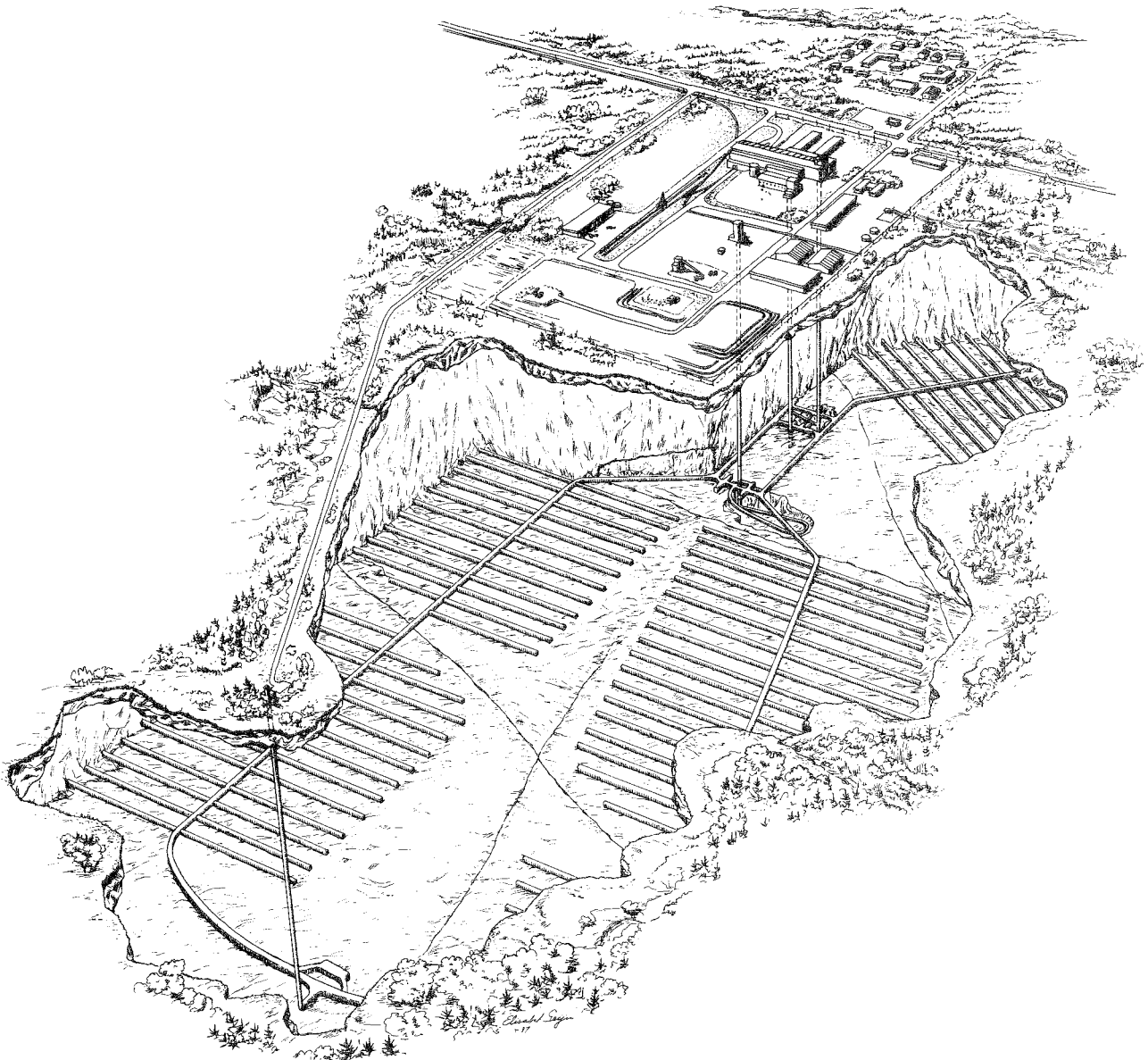
Slutförvaret för långlivat avfall, SFL, planeras tas i drift omkring år 2020. Det avses bli placerat på stort djup i urberg. Platsen har ännu inte valts. I SFL skall

främst det använda bränslet deponeras, men även övrigt långlivat avfall, främst från Studsvik. Av praktiska skäl planeras även en del låg- och medelaktivt avfall från drift och sedermera rivning av CLAB och behandlingsstationen bli deponerat i anslutning till SFL.

I KBS-3 beskrivs en tänkbar utformning av slutförvaret för använt bränsle, se Figur 3-5. Metoden innebär att kopparkapslar med använt bränsle deponeras i hål som borrar i golvet på tunnlar på ca 500 m djup. I borrhålen är kapslarna inbäddade i kompakterad bentonit. När deponeringen i en tunnel avslutats, återfylls denna med en tätande sand/bentonit-blandning.

Fram till beslut om anläggningens lokalisering och utförande, kommer alternativa utformningar av slutförvaret att studeras såsom beskrivs i kapitel 4 och 5 samt i del II.

För övrigt långlivat avfall har ännu inte slutförvaret studerats till samma detaljeringsgrad, som för det använda bränslet. I PLAN 89 beskrivs ett möjligt utförande, där avfallet placeras i olika typer av bergsalar på ca 500 m djup.



Figur 3-5. Perspektivbild av slutförvar för använt bränsle — SFL.

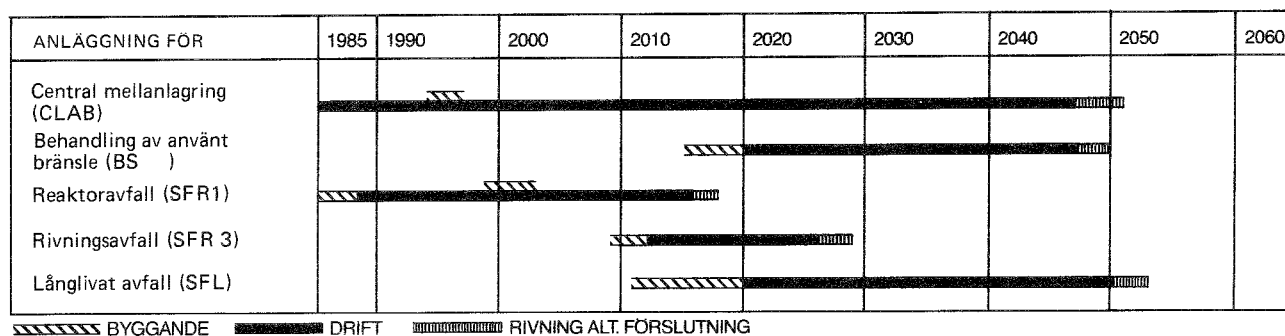
3.5 TIDPLAN

En övergripande tidplan över de åtgärder, som behöver vidtas för att ta hand om de radioaktiva restprodukterna från det svenska kärnkraftsprogrammet framgår av Figur 3-6. Tidplanen är baserad på praktiska överväganden och tjänar som grund för planeringen av FoU-insatser och övriga åtgärder. Den används också som underlag vid beräkningar av kostnaderna för att ta hand om kärnkraftens restprodukter /3-1/.

Tidplanen är inte definitiv och förändringar i ena eller andra riktningen kan komma att visa sig moti-

verade. I /3-8/ har konsekvenserna av förändringar i huvudtidplanen analyserats. Den visar att relativt stora förändringar kan accepteras utan att de ger säkerhetsmässiga konsekvenser.

Mellanlagringen i CLAB kan således om man så önskar fortsättas under längre tid än 40 år. I praktiken låses valet av sluthanteringssystem först när man börjar att kapsla in bränslet. Byggnad av BS förutsättes därför starta ungefär samtidigt med byggande av SFL. Byggstarten blir därmed en avgörande beslutstidpunkt.



Figur 3-6. Övergripande tidplan för anläggningar i det svenska avfallshanteringssystemet.

4 SLUTFÖRVARING AV ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE. ÖVERSIKT AV MÅL, PLAN FÖR ÅTGÄRDER OCH KUNSKAPSLÄGET

4.1 MÅL FÖR FORSKNINGS-ARBETET — ALLMÄNT

I kapitel 1 redovisas allmänna mål och riktlinjer för hanteringen av avfallet från de svenska kärnkraftverken. Forsknings- och utvecklingsarbetet skall bedrivas så att de åtgärder som redovisas i kapitel 3 kan genomföras enligt den tidplan som angivits och så att målen för avfallshanteringen därvid uppnås.

Under den närmaste tioårsperioden inriktas arbetet på att ta fram erforderligt underlag så att en platspecifik lokaliseringsansökan för ett slutförvar för använt kärnbränsle kan inlämnas senast år 2003. Därvid måste en systemoptimering vara genomförd så att en till en viss plats anpassad anläggning kan beskrivas och redovisas.

Forsknings- och utvecklingsarbetet bedrivs med beaktande av krav på:

- miljö och säkerhet,
- ekonomi,
- allsidighet,
- flexibilitet,
- relevans,
- bred acceptans i samhället.

Kravet på allsidighet innebär att olika alternativa system skall studeras och värderas. Forskningsarbetet inriktas därför så att flexibiliteten bibehålles så länge som möjligt. För att driva en effektiv verksamhet krävs emellertid väl definierade mål och avgränsade ramar. De mest lovande och realistiska alternativen bör därför prioriteras och forskningen måste relateras till de fenomen och frågeställningar som har relevans för slutförvarets säkerhet och ekonomi.

Fram till 1984 var målet för SKBs forskning att visa att en säker slutförvaring av använt kärnbränsle kan genomföras i Sverige. Arbetet koncentrerades mot en specifik metod. Denna beskrivs i KBS-3-rapporten /4-1/. Säkerhetsredovisningen i KBS-3 bygger på flera pessimistiskt valda förutsättningar och flera i gynnans riktning verkande faktorer har ej tillgodoräknats. Analysen har genomförts med metoder och data valda för att ge en beräknad övre gräns för slutförvarets påverkan på biosfären. Redovisningen i KBS-3 innehåller därför betydande säkerhetsmarginaler som då ej var möjliga att kvantifiera.

Ett viktigt mål för det pågående och fortsatta FoU-arbetet är att få ökad kunskap om de verkliga säkerhetsmarginalerna. Ökade kunskaper i detta avseende ger bättre underlag för en optimerad lösning och för en anpassning till lokala förhållanden samt större frihet vid lokaliseringen av slutförvaret.

De olika former av radioaktivt avfall som erhålles från det svenska kärnkraftprogrammet redovisas i kapitel 2. Åtgärder för att ta hand om dessa avfallsformer beskrivs i kapitel 3. Flertalet avfallsformer kan man

hantera och slutförvara på samma eller likartat sätt som det avfall som skall slutförvaras i SFR.

Använt kärnbränsle och vissa andra former av avfall kräver emellertid en mer kvalificerad slutförvaring. Forskningen är framförallt inriktad på att vidareutveckla denna mer kvalificerade förvaring.

Huvudområdet för forskningen är således — slutförvaring av använt kärnbränsle i svensk berggrund.

4.2 UTGÅNGSPUNKTER FÖR FoU-ARBETET

Ett slutförvar för använt kärnbränsle måste uppfylla samhällets krav på säkerhet. Dessa krav syftar till att skydda människor och natur mot skadlig påverkan från avfallet nu och i framtiden. Målet är att förvarets långsiktiga effekter inte skall förändra de naturliga radiologiska förhållandena i området på något väsentligt sätt. Under anläggnings- och driftskede måste verksamheten utföras så att man får en god arbetsmiljö och ringa omgivningspåverkan.

Slutförvaret utformas som ett system av tekniska och naturliga barriärer, som skall isolera avfallet under så lång tid att de radioaktiva ämnena hinner avklinga till en ofarlig nivå. Barriärerna är dels naturliga (geologiska) och dels tekniska (avfallsmatris, kapsel, buffert). Forskningen rör dessa barriärers egenskaper och samfunktion i syfte att nå fram till ett optimalt val av barriärsystem och slutförvarsplats. En allmän redovisning av vilka faktorer som i huvudsak påverkar valet och utformningen av ett slutförvarssystem ges i FoU-program 86 del II kap 2 /4-2/.

Slutförvaring av använt kärnbränsle kan ske på många olika sätt. Den metod som beskrivs i KBS-3-rapporten har accepterats av myndigheter och regering som godtagbar med hänsyn till säkerhet och strålskydd. Denna metod är därför ett referensalternativ för fortsatta studier av andra intressanta alternativ. Under tiden sedan KBS-3-rapporten publicerades har forskningsarbetet varit inriktat på att dels studera och fördjupa kunskapen om olika delar av det i KBS-3 beskrivna slutförvarssystemet och allmänt om fenomen av betydelse för förståelsen av slutförvaring i svenskt urberg samt dels analysera och utvärdera alternativa utformningar av slutförvaret. I detta kapitel ges en övergripande plan för FoU-arbetet och sammanfattas det nuvarande kunskapsläget på basis av de sålunda vunna erfarenheterna. I kapitel 5 sammanfattas den planerade forskningen och utvecklingen för sexårsperioden 1990-1995.

Det fortsatta forskningsarbetet syftar som redan nämnts till att ta fram erforderligt underlag för en platspecifik lokaliseringsansökan till år 2003. En översiktlig plan för att uppnå detta mål har utarbetats

och redovisas i följande avsnitt före sammanfattningen av kunskapsläget. I anslutning till redovisningen av kunskapsläget beskrivs de olika etappmål som bör uppnås på respektive område för att man skall uppfylla huvudplanens delmål.

4.3 ÖVERGRIPANDE PLAN FÖR FoU-ARBETET

4.3.1 FoU-program 86

Den översiktliga forskningsplan som redovisades i FoU-program 86 innebar i korthet följande. Fram till mitten av 1990-talet drivs en målrelaterad forskning rörande alternativa utformningar av barriärsystemet och de grundläggande fenomen som har betydelse för säkerhet, optimering samt system- och platsval. Samtidigt genomförs erforderlig utveckling av analysmodeller. Parallellt med detta avslutas de översiktliga studier av typområden som pågått sedan slutet av 1970-talet. I början av 1990-talet väljs ett par områden ut för detaljundersökningar. Dessa bör ej påbörjas senare än 1993 för alla de områden som kan bli aktuella för en lokaliseringsansökan år 2000. I mitten av 1990-talet sammanfattas studierna av barriärsystem och ett eller möjligen två huvudalternativ väljs som bas för en platsanknuten optimering av slutförvarssystemet. Optimeringen genomförs till 1998 då arbetet med en lokaliseringsansökan för en viss plats startar. Denna planering innebar således slutligt val av system i mitten av 1990-talet och av plats 1998.

Vid granskningen av FoU-program 86 framförde SKN vissa synpunkter på framförallt platsvalsprocessen. Dessa synpunkter innebar bl a att ett successivt urval av möjliga platser skulle ske genom en sällningsprocedur indelad i tre skeden — provskedet, urvalsskedet och tillståndsskedet. Under provskedet, grovt sett 1980-talet, skulle ett relativt stort antal områden som bedömts särskilt lämpliga för lokalisering av ett slutförvar sällas fram. Berörda kommuner och länsstyrelser skulle underrättas och anmodas att i sina översiktsplaner reservera de sålunda identifierade specifika områdena. Sådana översiktsplaner skall upprättas för alla kommuner i landet före 1990-06-30. Under det därpå följande provskedet, 1990-talet, skulle fältundersökningarna fortsätta och de platser som bäst lämpar sig bäst för ett säkert slutförvar väljas ut. På grundval av inkomna förslag från SKB och efter remissgranskning av dessa bedömer sedan SKN om sk riksintresse enligt naturresurslagen föreligger och meddelar i förekommande fall berörda kommuner och länsstyrelser att så är fallet. Riksintresset innebär att ifrågasvarande markområden reserveras för en specifik typ av anläggning, i detta fall ett slutförvar, och ej får nyttjas för annat ändamål.

I regeringens beslut i december 1987 sades att FoU-program 86 svarar mot de krav som kärntekniklagen ställer och bör utgöra grund för det fortsatta arbetet samt att SKNs granskningssynpunkter bör beaktas så långt det är möjligt.

Arbetet sedan 1986 har i huvudsak följt den plan

som angavs i FoU-program 86. Erfarenheterna sedan dess föranleder emellertid vissa preciseringar och modifieringar av planen.

4.3.2 Program för FoU och övriga åtgärder

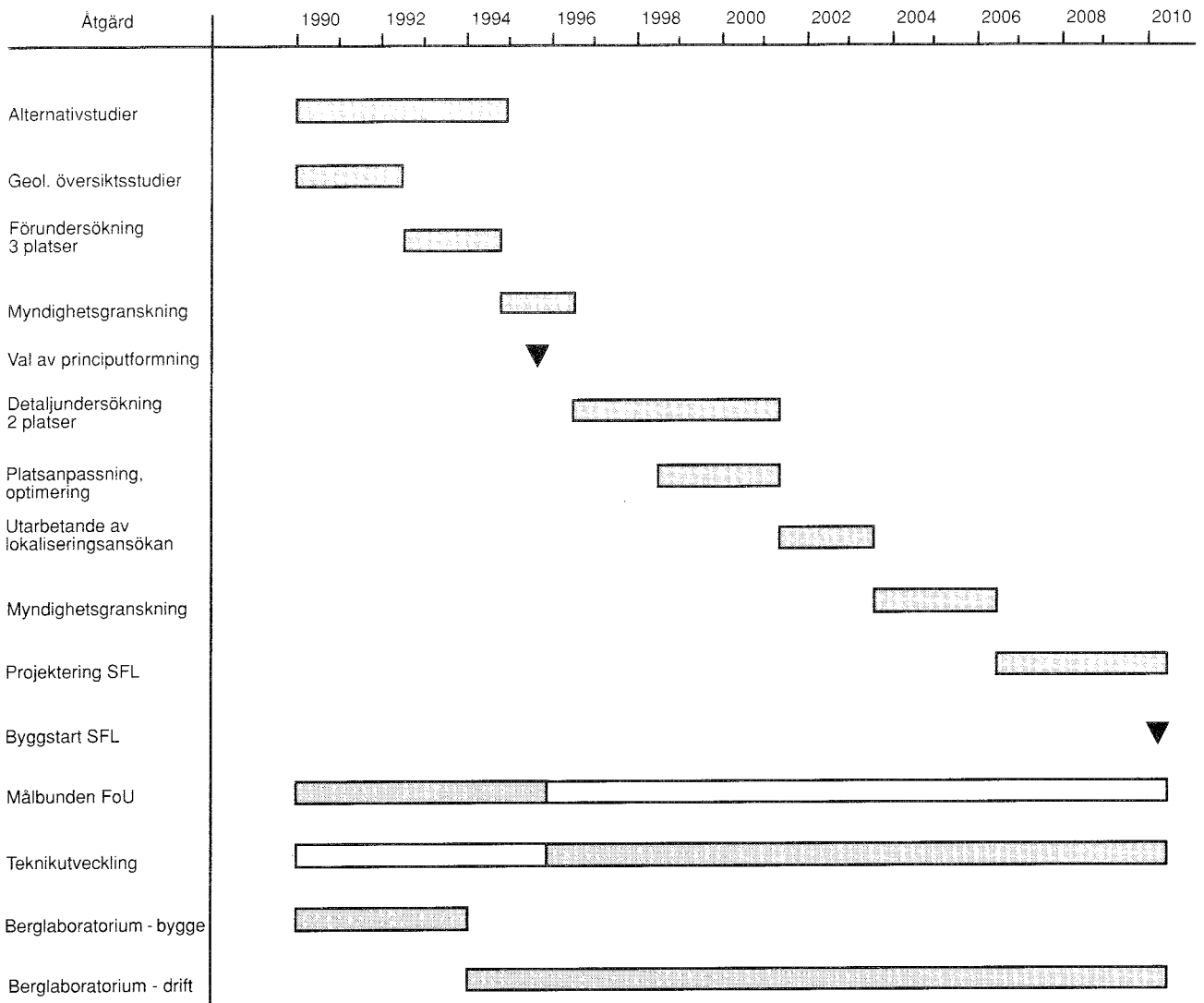
I kapitel 3 och Figur 3-6 redovisas en övergripande tidplan för de åtgärder som behöver vidtagas för att hantera och förvara de radioaktiva restprodukterna från kärnkraftprogrammet. Enligt denna plan är planerad byggstart för slutförvaret för långlivat avfall och behandlingsstationen för använt bränsle år 2010. I Figur 4-1 visas en översiktlig tidplan för den FoU, teknikutveckling och övriga åtgärder som behövs före byggstart.

Den grundläggande forskningen på vissa nyckelområden och om olika alternativa utföranden fortsätter fram till mitten av 1990-talet i stort sett i nuvarande omfattning.

Fram till 1991 avslutas den inventering av tänkbara områden för byggande av ett slutförvar som mer eller mindre fortlöpande pågått sedan början av 1980-talet. Vidare genomförs vissa geologiska översiktsstudier på basis av nu existerande geologiskt material. Dessa kompletteringar är av generell karaktär och kräver ej ytterligare borrhningar eller borrhålmätningar.

Under 1991 planeras en ny säkerhetsanalys kallad SKB 91 bli klar. Ett av motiven för denna analys är att ytterligare och mer systematiskt än tidigare utvärdera betydelsen av variationer i de geologiska förhållandena för slutförvarets funktion och säkerhet. I KBS-3-rapporten framhölls att: "Analyserna visar att även områden liknande Finnsjön, med relativt sett högre grundvattenflöden än de nämnda (Gideå och Kamlungekölen och sannolikt även Fjällveden), torde kunna accepteras ur säkerhetssynpunkt." I SKB 91 kommer detta att underbyggas ytterligare på basis av de erfarenheter som vunnits sedan 1983 då KBS-3 skrevs.

Vad gäller lokaliseringen av slutförvaret anser SKB att det inte är ändamålsenligt att till alla delar följa den av SKN beskrivna proceduren. Såsom redovisades redan i FoU-program 86 visar det omfattande underlaget från geologiska fältundersökningar att det finns många platser i Sverige som ur geologisk synpunkt är lämpliga för lokalisering av ett slutförvar. Detta innebär att andra faktorer kan tillmätas större vikt vid lokaliseringen. Det är tveksamt om man med rimliga insatser kan peka ut den i alla avseenden bästa platsen. Detta är ej heller nödvändigt, det är fullt tillräckligt att finna en plats som har sådana egenskaper hos berget och förhållanden i övrigt att de mycket högt ställda kraven på säkerhet och strålskydd kan tillgodoses. Enligt SKBs uppfattning finns därvid ej skäl att kräva en mer detaljerad urvalsprocess än att med översiktliga data visa att det inte finns uppenbart lämpligare områden tillgängliga än de slutligen föreslagna. Den viktiga, tekniskt detaljerade prövningen av om en plats duger och om man där kan bygga ett slutförvar som fyller de mycket högt ställda kraven på säkerhet sker vid granskningen av lokaliseringsansökan. Denna prövning kan genomföras först när man har plats-specifika data och en till platsen anpassad utformning.



Figur 4-1. Översiktlig tidplan för utformning och lokalisering av slutförvar för använt bränsle (SFL).

Under 1992 avser SKB att offentliggöra tre platser som SKB anser lämpliga för att kandidera för lokalisering av slutförvaret. Dataunderlaget för dessa tre platser kommer vid denna tidpunkt att vara av översiktlig karaktär och måste kompletteras genom förundersökningar och sedermera även detaljundersökningar. Syftet är emellertid att kunna koncentrera fortsatta geostudier, tillståndsfrågor och informationsinsatser till ett fåtal (minimant antal) lovande områden. Som underlag för valet av kandidatplatser presenteras samtidigt resultaten från de ovan angivna studierna samt en sammanställning av befintliga data för de tre platserna. I anslutning till offentliggörandet intensifieras SKBs information om de frågor som har speciellt intresse för lokalisering av ett slutförvar.

Efter tillstånd från markägaren kommer under åren 1992-94 förundersökningar att genomföras. Samtidigt kompletteras SKB 91 för att ge underlag för en

första preliminär bedömning av den långsiktiga säkerheten för ett slutförvar lokaliserat till endera av de tre platserna. Under 1994 upprättas ett generellt program för detaljundersökningar av kandidatplatserna.

Undersökningsresultat, program för detaljundersökningar, preliminär säkerhetsbedömning samt miljöeffektbeskrivningar redovisas till berörda myndigheter i slutet av 1994. Berörda myndigheter är i första hand SKN, kommun och länsstyrelse. SKI, SSI och andra organ kan väntas komma in som remissinstanser till de nämnda myndigheterna. Efter en granskningstid på ca 18 månader bedöms att erforderliga godkännanden och tillstånd för detaljundersökningar kan föreligga i början av 1996. Sådana undersökningar startar då på en plats och på en andra plats under 1997. Detaljundersökningarna genomförs i väl avpassade etapper.

Som underlag för att starta detaljundersökningar krävs en grov layout över erforderligt område för ett

slutförvar. Under 1995 måste man därför välja en principiell utformning av slutförvarssystemet. I samband med detta val redovisas en sammanställning av genomförda studier av olika alternativ samt av då föreliggande kunskaper om komponenterna i barriärsystemet. Detta förutsättes kunna ske i anslutning till FoU-program 95. Under åren 1995-98 görs erforderliga kompletteringar av underlaget för komponenterna i den valda principutformningen samt vidareutvecklas och verifieras de modeller som krävs för en optimering av slutförvaret till den plats som slutligt väljs. Optimeringen genomförs parallellt med en andra etapp av detaljundersökningen.

Dessa aktiviteter beräknas klara till 2001 då en lokaliseringsansökan enligt Naturresurslagen (NRL) och enligt Kärntekniklagen (KTL) börjar förberedas. Ansökan som bör vara klar till 2003 innehåller en preliminär säkerhetsrapport med en detaljerad analys av slutförvarets långsiktiga säkerhet. Ansökan antas behöva en prövningstid på tre år, vilket i så fall skulle innebära att en av regeringen godkänd lokaliseringsplats skulle finnas 2006.

Efter det att lokaliseringen godkänts genomförs en projektering av slutförvar och tillhörande anläggningar och en uppdatering av säkerhetsrapporten speciellt med avseende på säkerheten under drift-(deponerings-, övervaknings-)skedet. Denna rapport bedöms vara klar 2008 och utgör grund för SKIs och andra myndigheters godkännande av byggstart 2010.

Målsättningen för SKB under hela lokaliseringsskedet är att erfarenheterna från FoU-verksamheten på ett systematiskt sätt skall tillvaratas och att den erhållna informationens säkerhetsmässiga betydelse successivt skall utvärderas. På grundval av denna utvärdering kommer också kritiska parametrar och förhållanden att identifieras som underlag för FoU-prioritering.

4.4 KUNSKAPSLÄGET BETRÄFFANDE SÄKERHETSANALYSER

Hanteringen och slutförvaringen av det radioaktiva avfallet måste genomföras på ett acceptabelt sätt med hänsyn till säkerhet och strålskydd. Bedömningen av verksamhetens säkerhet görs med hjälp av funktionsanalyser och säkerhetsanalyser. Funktionsanalyserna utgör studier av delsystem och deras växelverkan, eller av de speciella förhållanden under vilka funktionen skall garanteras. Funktionsstudierna ligger sedan till grund för de studier av den totala säkerheten som utgör säkerhetsanalysen. En säkerhetsanalys skall förutom säkerhetsnivå också redovisa den osäkerhet som bedömningarna är behäftade med och så långt möjligt söka kvantifiera de säkerhetsmarginaler som finns.

Under olika faser av utveckling och licensiering av ett slutförvar kommer syftet med funktionsanalyserna att ändras. I ett inledande skede utvärderas förvarets olika delfunktioner. Osäkerheten i kunskapsunderlaget för väsentliga funktioner ger prioriteter för forskning och utveckling.

I ett senare skede söker man uppnå en balans mellan

säkerhetsbarriärerna, dvs systemet skall optimeras med avseende på funktion och kostnad på en acceptabel säkerhetsnivå. För tillståndsgivningen skall det slutligen på ett formellt sätt visas att systemet uppnår samhällets krav på säkerhet.

Funktionsanalyser omfattar i huvudsak följande moment:

- genomgång av de externa förhållanden (scenarier) som kan uppkomma och definition av vilka av dessa som förvaret skall klara av,
- redovisning av de processer av betydelse för förvarets säkerhet som kan förekomma, samt av de modeller och databaser med vars hjälp processerna kvantifieras,
- beräkningar av förvarets funktion vid olika relevanta tidpunkter för de konstruktionsstyrande scenarierna.

För en säkerhetsanalys måste därutöver följande ingå:

- definition av tillämpade acceptanskrav/kriterier för avfallet och över aktuella tidsperioder,
- jämförelser mellan beräknade konsekvenser/sannolikheter och acceptanskriterierna,
- redovisning av osäkerheter i dataunderlag och modeller med avseende på deras betydelse för säkerheten.

Detaljeringsgrad och fullständighet i de olika momenten kommer att variera med utvecklingsläge och kunskapsunderlag, samt med det specifika syftet med varje analys.

4.4.1 Mål för arbetet med säkerhetsanalyser

De övergripande målen för arbetet med utveckling av metoder för säkerhetsanalyser är att:

- genomföra de säkerhetsanalyser som krävs i olika skeden för att få tillstånd och acceptans av slutförvar för radioaktivt avfall från de svenska kärnkraftverken,
- kunna göra mera realistiska analyser för att bättre kvantifiera säkerhetsmarginalerna.

Etappmålen för arbetet med säkerhetsanalyser anknyter nära till den övergripande plan som redovisats i avsnitt 4.3 ovan. Viktiga etappmål är bl a:

- till 1991 genomförs en fullständig säkerhetsanalys, SKB 91, för en utformning som nära ansluter sig till KBS-3. Analysen utförs så att variationsanalyser lätt kan genomföras,
- i anslutning till säkerhetsanalysen genomförs till 1991 också variationsanalyser av hur olika geologiska förhållanden påverkar resultaten av säkerhetsanalysen,
- till 1994 genomförs platspecifika kompletteringar av SKB 91 för de kandidatplatser som anges under 1992,
- till 1995 genomförs jämförande funktionsanalyser för sådana barriäralternativ som kan ha betydelse för genomförandet av geologiska detaljundersökningar,

- till 2001 genomförs funktions- och säkerhetsanalyser som underlag för optimering och platsanpassning av valt slutförvarssystem,
- till 2003 genomförs en säkerhetsanalys över förvarets långsiktiga funktion som underlag för en lokaliseringansökan.

Metodutveckling för osäkerhetsstudier, scenariedefinition, validering, etc., och för resultatpresentation, avses pågå fortlöpande i nära internationellt samarbete och kopplat till de specifika krav som säkerhetsanalyserna ställer i olika skeden av FoU-programmet.

- En systematisk genomgång av de scenarier som bör ingå i en säkerhetsanalys, baserat till stor del på arbetet med SKB 91, kompletteras och avrapporteras i FoU-program 92.
- Under den närmaste 3-års perioden avses QA-riktlinjer tas fram för bl a genomförande av dokumentation, hantering och lagring av data samt för programmering och dokumentation av datorprogram.

4.4.2 Utvecklingsläge för säkerhetsanalyser

Redan tidigt uppdelades analysen av förvarets funktion i scenarietanalys och konsekvensanalys.

Scenarieanalysen omfattar såväl identifiering av möjliga scenarier som en beskrivning av vad olika scenarier innebär för förvarets funktion och sannolikheten för att de skall inträffa. Förutsättningen att inga relevanta scenarier skall ha försumrats innebär stora krav på metodikens förmåga att på ett logiskt sätt fånga upp möjliga händelser och processer. Den första delen av arbetet, identifieringen av scenarier som är relevanta för säkerheten, har dock ofta gjorts på ett relativt ostrukturerat sätt.

Eftersom många aspekter av scenarier är globala, dvs oberoende av plats och förvarsutformning har SKB bedömt det väsentligt att utvecklingen inom detta område görs i nära internationellt samråd. För att skapa en samsyn rörande identifiering av scenarier har SKB tillsammans med SKI under 1986/87 aktivt arbetat för att inom OECD/NEA initiera ett samarbete inom scenarieområdet. Sedan 1987 har en arbetsgrupp inom NEAs kommitté för radioaktivt avfall bearbetat dessa frågor. Metoder som använts av olika grupper i världen har insamlats och systematiserats. Syftet är att skapa en internationell överblick av tillgängliga metoder och diskutera deras för och nackdelar i en "state of the art"-rapport. Ett preliminärt dokument bedöms kunna föreligga under 1990.

Konsekvensanalysen i vid bemärkelse omfattar studier, analyser och beräkningar av förvarets funktion inom de olika scenarierna.

Kvantifierade prognoser av slutförvarets funktion förutsätter att de processer som är betydelsefulla för säkerheten kan modelleras. Beräkningsmodeller för källstyrka, temperatureffekter, grundvattenomsättning, kapselgenombrott, frigörelse av radionuklider i bränslet, nuklidtransport i närzonen, grundvattnets rörelsevägar i berget, grundvattnets transport av radionuklider, radionuklidernas växelverkan med

sprickyor och bergmatris, utflödesvägar till biosfären samt radionuklidernas spridning i biosfären och resulterande doser till människan måste tillämpas i en sekvens.

Kunskapsläget beträffande flertalet intressanta processer som rör tekniska barriärer eller berget redovisas kortfattat i följande avsnitt och mer utförligt i del II.

Med hänsyn till osäkerheten i prognoserna för framtida avfallsmängder torde dagens beräkningar av mängden radioaktiva ämnen i det använda bränslet kunna göras med tillräcklig noggrannhet med existerande beräkningsmodeller.

Ett huvudproblem för säkerhetsanalysen är att kunna utvärdera hur osäkerheter i ingångsdata överförs till osäkerheter i beräknade konsekvenser. För detta ändamål har ett programpaket PROPER utvecklats inom SKB. Kärnan i PROPER-paketet är den sk monitor som används för att dels koppla ihop ett antal undermodeller, hämtade från ett bibliotek vid körningstillfället, till en totalmodell för det aktuella problemet samt dels propagera indataparametrarnas osäkerheter genom sekvensen av undermodeller. Monitorn finns nu helt färdigutprovad i en version 1.0, som kommer att utnyttjas bl a för SKB 91.

Data från SKBs fältundersökningar samlas nu fortlöpande i en databas GEOTAB på en av SKB ägd dator. Alla viktigare data från tidigare års undersökningar finns inlagda i denna databas. Rutiner för QA har etablerats och kompletteras fortlöpande.

Under 1989 har SKB anskaffat en egen beräkningsdator CONVEX 210 med mycket höga prestanda. Härigenom kan alla tunga beräkningar för säkerhets- och funktionsanalys köras på en och samma dator. Vidare skapas förutsättningar att genomföra mer omfattande simuleringar än som tidigare varit möjligt inom en viss kostnadsram. Integrering av beräkningsprogrammen ger också goda förutsättningar för en bra kvalitetssäkring av databehandlingen och beräkningarna.

4.5 KUNSKAPSLÄGET BETRÄFFANDE TEKNISKA BARRIÄRER

Såsom framgår av kapitel 3 syftar det pågående forskningsarbetet till att fastlägga en metod för slutförvaring av det långlivade avfallet djup ner i svenskt urberg. Ett flertal olika utformningar och kombinationer av tekniska barriärer är tänkbare inom ramen för denna huvudlinje. I en underlagsrapport till FoU-program 86 gavs en systematisk översikt av tänkbare alternativ. I det följande sammanfattas det nuvarande kunskapsläget beträffande valet av barriärsystem. En mer utförlig redovisning ges i del II.

4.5.1 Mål för forskningen rörande tekniska barriärer

Forsknings- och utvecklingsarbetet rörande de tekniska barriärerna bedrivs med sikte på att uppnå följande mål, vilka är knutna till det övergripande program för arbetet, som beskrivs i avsnitt 4.3.2:

- En principiell huvudutformning skall väljas innan de detaljerade undersökningarna av två alternativa lokaliseringsområden påbörjas.
- Material, temperaturnivå och andra väsentliga parametrar för kapsel och buffertmaterial skall fastställas samtidigt som principiell huvudutformning väljes. Detta innebär att man till dess skall klarlägga tillämpliga gränsvärden för dessa väsentliga parametrar och för de material som kan vara av intresse.
- Det använda bränslets egenskaper och karakteristika i slutförvarsmiljö skall klarläggas tillräckligt för att man skall kunna beakta dessa vid valet av material, temperaturnivå etc. Detta innebär att en validerad modell för bränslekorrosion i slutförvarsmiljö bör finnas klar till 1995.
- Studierna av hur de tekniska barriäralternativen i närområdet kan utformas och av möjligheter till kemisk konditionering skall slutföras till 1998. Detta innebär att data, modeller och övrig kunskap om de tekniska barriärerna i den valda principiella huvudutformningen skall utvecklas till en nivå som möjliggör platsanpassning och optimering av slutförvaret.

4.5.2 Utformning av slutförvaret

De medel som används för att isolera avfallet från biosfären är val av plats i berget, inkapsling och åtgärder för att ge kapslarna en god förvarsmiljö i berget. En god utformning skall medge att tillgänglig teknik för inbyggnad av de tekniska barriärerna kan anpassas till bergets förutsättningar för isolering.

Under senare år har i jämförelse med KBS-3 två principiellt olika slutförvarsalternativ studerats nämligen "WP-Cave" och "Djupa borrhål". Alternativen beskrivs kortfattat i del II till detta program. En jämförelse mellan WP-Cave och KBS-3 har slutförts. Resultaten visar att:

- båda koncepten kan ge acceptabel säkerhet,
- utnyttjande av WP-Caves potential kräver avsevärda utvecklingsinsatser på områden där förståelse och dataunderlag idag är ofullständigt,
- de högre temperaturer som WP-Cave förutsätter medför via osäkerheter i data och dominerande processer en ökad osäkerhet i de beräknade konsekvenserna,
- båda förvaren kan realiseras med normal anpassning av idag existerande teknik,
- man kan inte idag säga om det är lättare att finna en lämplig plats för den ena eller andra utformningen,
- byggandet av WP-Cave-förvar för det svenska behovet skulle bli avsevärt dyrare än ett KBS-3-förvar.

Slutsatsen härav är att studierna av WP-Cave som ett sammanhållet system ej kommer att fortsättas.

Möjligheterna att förvara avfall i flera kilometer djupa hål har studerats på grundval av den information som framkommit vid sk djuphålsborrningar — typ Siljanshålet m fl. Preliminära resultat indikerar en gynnsam ekonomi, men det finns ännu ej tillräckligt underlag som tillåter en klar jämförande värdering av detta alternativ. Studierna fortsätter.

4.5.3 Avfallsformer

I och med att upparbetning av det använda kärnbränslet inte kommer att ske blir detta i sig den avfallsform som kommer att slutförvaras. Direkt slutförvaring av använt kärnbränsle har studerats sedan slutet av 1970-talet i Sverige, Kanada, USA och Förbundsrepubliken Tyskland. Jämfört med högaktivt avfall från upparbetning är det experimentella underlaget för bränsle som avfall begränsat. Totalt har endast ett trettiotal vetenskapliga rapporter om bränslets beständighet i vatten publicerats.

Många variabler påverkar beständigheten t ex bestrålningshistoria, grundvattenkemi, redoxförhållanden och temperatur. Trots begränsade data är emellertid vissa sidor av upplösningsmekanismerna relativt väl kända. Det är i dag möjligt att ge en beskrivning av inverkan av de väsentligaste variablerna på kinetiken för upplösning av bränsle. Detta innebär en betydande utveckling i förhållande till den förenklade och pessimistiska modell som användes vid KBS-3-arbetena. Resultaten från senare års forskning pekar på att upplösningstiden för använt bränsle är ett par storleksordningar längre än vad som förutsattes i KBS-3 säkerhetsanalys. Man har dock ännu inte en helt entydig bild av mekanismerna för upplösningen.

4.5.4 Kapsel

I samtliga program för slutförvaring av högaktivt avfall förutsattes att avfallet kapslas in i en tät behållare före deponeringen. I de flesta länder siktar man på en absolut tät inneslutning med en kapsellivslängd på minst ca 1000 år. Sverige och några andra länder har därutöver strävat efter tät inkapsling under mycket längre tidrymd, om möjligt 10 000-tals eller 100 000-tals år. Kapselns livslängd beror av bl a materialval, tillverkningsteknik, konstruktion och förvarsmiljö.

De utländska forskningsprogram som syftar till en förvarsmiljö/geologi, som är mest relevant för svenska förhållanden, är i första hand de i Kanada, Finland, Schweiz och EG.

Kanada har valt titan som referensmaterial och koppar som ett alternativ. I båda fallen är inriktningen en tunnväggig kapsel med ca 1 000 års livslängd.

Schweiz har valt en tjockväggig stål-kapsel med minst 1 000 års livslängd som huvudalternativ. Andrahandsalternativ är koppar.

Det finska programmet är mycket likt det svenska med en tjockväggig, långlivad kopparkapsel som referensalternativ.

Forskningsarbetet rörande kopparkapsel har under senare år avsett gropfrätning, materialets krypning, studier av svetsteknik för tjockt gods och viss provning av material från het isostatisk pressning (HIP). Hittills föreliggande resultat ger ingen anledning att ändra slutsatserna i KBS-3-rapporten att mest sannolika värdet på gropfrätningfaktorn är 5. En utvärdering av korrosionen på en bronskanon (96,3% koppar) från regalskeppet Kronan har utförts. Kanonen har legat i sedimenten på Östersjöns botten under 300 år. Resultaten motsvarar en korrosion på mindre än 10 mm under 100 000 år.

Utförda undersökningar visar på avsevärda skillnader i krypegenskaper hos koppar mellan svets, värme-påverkad zon och modermaterial. Dessutom visar ännu preliminära resultat på att krypduktiliteten hos koppar är relativt låg. Ytterligare forskning krävs därför på detta område. Utveckling av svetsteknik pågår sedan ett par år inom ett EUREKA-projekt.

För ett par år sedan rapporterades högst överraskande att koppar skulle kunna korrodera under vätgasutveckling. Rapporten baserades på ett experiment utfört vid KTH i Stockholm. Två olika av varandra oberoende grupper har utfört kontrollexperiment och ej kunnat påvisa någon vätgasutveckling trots att mät-känsligheten varit betydligt högre än vad som skulle krävas enligt KTH-experimentet. Någon vetenskapligt grundad förklaring till de observationer som rapporterats från detta har ej kunnat göras. Med hänvisning till de utförda kontrollexperimenten och till de vetenskapligt väl grundade kunskaperna om koppars termodynamik finner SKB att rapporten om kopparkorrosion under vätgasutveckling kan lämnas utan beaktande.

För stål som kapselmateriäl har arbetet varit inriktat på undersökningar av gropfrätning. Resultaten visar att man med 100 mm vägg tjocklek kan nå en kapsellivslängd på ca 1000 år. Inom det schweiziska programmet studeras främst spänningsskorrosion och väteproducerande korrosion.

Titan och titanlegeringar har en mycket låg allmänkorrosion i synnerhet i kloridhaltiga vatten, som kan bli aktuellt för vissa platser. De kanadensiska undersökningarna har dock visat på en viss känslighet för spaltkorrosion. Man inriktar därför forskningen speciellt mot detta fenomen. I Sverige har långtidsexponeringar upp till sex år av titan i kontakt med bentonit avslutats och rapporterats.

Keramer som kapselmateriäl har tidigare tilldragit sig ett betydande intresse. Inom ramen för KBS-arbetena gjordes stora insatser. Senare har arbeten finansierats i Sverige av SKN och dess föregångare. Svårigheten med keramer är dels tillverkningstekniken för fullstora kapslar och dels risken för sk fördröjt brott. Detta fenomen är i sin tur inte bara en materialegenskap utan är också kopplat till tillverkningstekniken. Det är dessutom statistiskt betingat och uppskalning av småskaliga experiment kan i vissa avseenden vara irrelevant. Vidare arbeten på keramiska kapslar bedöms därför f n ej vara av intresse för svenska förhållanden.

4.5.5 Buffert- och återfyllnadsmateriäl

Buffertmateriäl i deponeringsutrymmen och återfyllningsmateriäl i bergrum, tunnlar och schakt är exempel på tekniska barriärer som ingår i slutförvarssystemet. Den främsta barriärfunktionen är att begränsa grundvattenflöde. Buffertmateriäl skall också utgöra en lämplig kemisk och mekanisk skyddszon för kapslar i berget. Tätningsåtgärder kan utgöras av dels tätpluggar i bergutrymmen dels tätning i bergets sprick-system i form av tätinjektion.

De isolerande egenskaper som karakteriserar transportförhållandena i buffertmateriälet är låg hydraulisk konduktivitet och låg diffusivitet. Den hydrauliska

konduktiviteten bestämmes främst av densitet och innehåll av mineralet smektit. Ett urval av väl definierade leror har jämförts med referensleran i KBS-3, Mx 80. Jämförelsen visar att med bevarad hög densitet är den hydrauliska konduktiviteten låg även om smektithalten minskar. Smektithalten kan minska i buffertmateriälet genom omvandling av smektit till illit i en takt som beror på temperaturen. En ökad förståelse av sambandet mellan mikrostruktur och temperatur, som erhållits genom studier av leror i hydrotermaltester, har lett till en mer nyanserad modell för temperatureffekter. Den har prövats i studiet av naturliga bentoniter. Ett mycket viktigt bidrag har varit den gotländska bentonit som ligger på ca 500 m djup vid Hamra. Slutsatsen är att i deponeringshål är temperaturer 105 °C å 120 °C möjliga i kompakt bentonit utan att mineralförändringar skall få betydelse för barriärfunktionen.

En inventering av svenska buffertmateriälkandidater har utförts och visar inte på några större fyndigheter av svenska materiäl för buffert i deponeringshål, men väl materiäl för återfyllning.

Buffertmateriälet skall samverka med berg och kapsel så att en lämplig miljö erhålles för kapseln. Således skall kapseln bäras av materiälet i deponeringshålet och skyddas från ogynnsamma belastningar eller eventuella rörelser härrörande från berget. Flera forskningsarbeten pågår i syfte att verifiera buffertmateriälets egenskaper i detta avseende och att ta fram validerade modeller.

Bentonit kan formändras och ändra sin volym genom omfördelning, upptagning eller avgivning av vatten. Vattnet i högkompakterad bentonit utgör ungefär en fjärdedel av volymen och det fysikaliska tillståndet är olika beroende på lermineralet och mikrostrukturen. Under lång tid har variationen i densitet mätts och diskuterats och indirekta mätningar med flera metoder har använts. Exempel på sådana är NMR (magnetisk kärnresonans) som sedan många år prövats för att söka avslöja arten av samverkan mellan lermineralet och vatten.

En modell för det fysikaliska tillståndet hos vatten i olika delar av mikrostrukturen har betydelse för att få en teori för reologin som kan tillämpas vid formuleringen av materiälmodellen och för att kunna extrapolera förhållandena under lång tid, t ex för kryp.

Reologiska egenskaper för bentoniter har mätts. Sättningen av simulerad kapsel i deponeringshål har observerats i laboratoriet, under tiden april 85 — dec 86 och i Stripa pågår observationer, i båda fallen med temperaturvariationer.

Skjuvförsök med modeller simulerande kapsel i deponeringshål har utförts.

Matematiska modeller har använts för jämförelser. Dessa visar att det går att modellera hastighets- och temperaturberoende i mer eller mindre dynamiska förlopp såsom termomekaniskt eller tektoniskt inducerande skjuvdeformationer eller sättningar av kapslar.

I strävan att minska vattenomsättningen i avfallets närzon utanför bufferten ingår återfyllning med täta massor i bergutrymmen och tätning av sprickor i omgivande berg. Förvaringstunnlarna kan återfyllas i nedre delen med idag känd teknik och utrustning. Erfarenheter från Stripa där återfyllning med 10—20% bentonit

i blandning med ballast använts har visat att en packningsmetod och utrustning för den översta delen av förvaringstunnlarna kan utvecklas. Försöket visade bl a att vattenuptagningen skedde med låga vattentryck i närzonen i omgivande berg trots relativt höga tryck längre ut i berget. Återfyllningen utfyllde tunneln fullständigt men packningsgraden kan ökas med utvecklad teknik för anbringande av fyllning i tunnelns övre del. Pluggning av schakt, borrhål och tunnel provades också. Erfarenheterna från dessa försök har lett till att i en tredje fas i Stripa provas tätning av bergsprickor. Berget som omger en ort planeras bli tätat i etapper, så att den hydrauliska konduktiviteten minskar på ett mätbart sätt. Av särskilt intresse är att få data om den störda zonen som omger tunneln. Tätningssåtgärder i berget omgivande deponeringshål provas liksom tätning i naturlig sprickzon.

De åtgärder som provas i Stripa skall ses som exempel på tätningssåtgärder avsedda att ingå i en strategi som omfördelar vattenströmningen bort från avfallets närzon. Den förutsätter kunskap om mönstret av mer konduktiva zoner som kommunicerar med närzonen och storleken på mer täta bergvolymen däremellan.

I forskningen ingår laboratorietester för och analys av långtidsstabiliteter hos tätningmaterialen baserade på cement och bentonit.

4.6 KUNSKAPSLÄGET INOM DET GEOVETENSKAPLIGA OMRÅDET

Undersökningarna har under 1980-talet omfattat fältstudier av ett antal typområden, specialstudier av vissa viktiga frågor, experiment och undersökningar i Stripa, utveckling av mätmetoder och instrument, planering för ett underjordiskt berglaboratorium samt utveckling av modeller för grundvattenströmning i berg. Inför 1990-talet koncentreras de geovetenskapliga studierna till ett mindre antal områden i fält än under 1980-talet, men dessa områden kommer å andra sidan att studeras djupare i detalj. Centralt för de fortsatta studierna blir det planerade underjordiska berglaboratoriet.

4.6.1 Mål för de geovetenskapliga studierna

De geovetenskapliga undersökningarna inom forskningsprogrammet syftar till att:

- identifiera, kvantifiera och/eller gränssätta de faktorer som kan vara av betydelse för förvarets långsiktiga säkerhet,
- vidareutveckla metoder för att ta fram geodata av betydelse för förvarets säkerhet och utformning av förvaret.

Huvudfrågor inom det geovetenskapliga området m a p säker slutförvaring av kärnavfall är:

- grundvattenströmning och grundvattenflöde,
- grundvattenkemi,
- bergets stabilitet.

Den geovetenskapliga forskningen rör främst dessa frågor. Grundvattenkemi diskuteras under avsnittet om kemi.

De geovetenskapliga studierna skall under 1990-talet bedrivas med följande etappmål:

- Arbetet på utveckling mot fördjupad förståelse av grundvattenströmning i sprickigt berg fortsätter med målsättningen att senast 1998 ha tillgång till beräkningsmodeller som medger optimering och platsanpassning av slutförvaret.
- Forskningsarbetet inom Stripa-projektet fullföljes och avslutas under 1991. Inom projektets ram genomförs karakterisering av en begränsad bergvolym i 100 m skala. Modeller för grundvattenströmning och transport av spårämnen valideras mot mätdata från den karakteriserade volymen.
- Det underjordiska berglaboratoriet påbörjas 1990 och når ned till ca 500 m djup 1993. I anslutning till byggandet av det underjordiska berglaboratoriet verifieras metodik för för- och detaljundersökningar av kandidatplatser till slutförvar. Förundersökningsmetodik som ska användas på kandidatplatserna beskrivs till 1991. Detaljundersökningsmetodik för kandidatplatserna skall beskrivas före 1995. Data samlas fortlöpande för att utveckla och validera modeller för grundvattenströmning med sikte på det ovan angivna målet.
- Frågor rörande bergets stabilitet studeras företrädesvis i anslutning till platsen för det underjordiska berglaboratoriet och kandidatplatserna för slutförvaret så att man kan undvika rörelsezoner vid utformning av förvar.

4.6.2 Bergets grundvattenrörelser

Det centrala och samtidigt besvärligaste problemet i analysen av slutförvarets långsiktiga säkerhet är flödet av grundvatten i bergets spricksystem och den därtill kopplade transporten av ämnen som är lösta i grundvattnet. Mycket omfattande insatser har gjorts och görs för att belysa detta problem. Följande punkter är viktiga men på intet sätt uttömmande exempel:

- På samtliga typområden har omfattande mätningar av bergets hydrauliska permeabilitet genomförts i djupa borrhål.
- Spår försök med vattentrogna spårämnen har genomförts i Studsvik, Finnsjön, Stripa och Hylte.
- Kartläggningar av vattenförande sprickzoner har gjorts genom radarmätningar och andra geofysiska undersökningar i Stripa och på flera typområden.
- Spårämnesförsök med sorberande spårämnen har utförts i laboratorier, samt i fältförsök vid Studsvik, Stripa och Finnsjön.
- I Poços de Caldas, Cigar Lake och andra projekt studeras sk naturliga analogier vilka kan ge en bild av naturliga radioaktiva och kemiskt närbesläktade ämnens uppträdande i geologisk tidsskala.
- Parallellt med dessa experimentella undersökningar görs stora arbeten på utveckling av beskrivande modeller och matematiska modeller för att systematisera och tolka de data och resultat som fält- och laboratorieförsöken givit.

Parallellt med dessa experimentella undersökningar görs omfattande insatser på utveckling av beskrivande och matematiska modeller för att systematisera och tolka de data och resultat som fält- och laboratorieförsöken givit.

Det är viktigt att redovisa hur modeller kan upprättas och valideras med de data som föreligger i olika undersökningssteg. Modeller upprättas med olika grundförutsättningar och kan tillämpas i olika skalor. För validering av modellerna krävs därmed också experiment i olika skalor.

Det finns idag endast ett fåtal anläggningar i berg där hela kedjan undersökningar — beräkningar — utvärdering av grundvattenströmning genomförts och dokumenterats.

Observationer och data om berget och om grundvattenrörelser i berget behöver bearbetas och analyseras ur olika aspekter. De viktigaste av dessa är:

- tillgängliga bergvolymen av viss kvalitet,
- förekomst av flödesvägar-zoner,
- underlag för förvarets utformning i olika skalor,
- underlag för analys av grundvattenomsättning i olika skalor,
- beskrivning av vattnets strömningsvägar i förvarsområdet och dess omgivning.

Ytundersökningar ger basen för en första geologisk tolkning av en plats. Det är av värde att ytundersökningar sker parallellt med olika metoder och att undersökningarna successivt utvärderas i steg. Det är idag svårt, beroende på begränsad dokumentation, att generellt utvärdera vad ytundersökningar ger i förhållande till undersökningar i borrhål. Det är väsentligt att allt material, geologiskt, geofysiskt, geohydrologiskt och geohydrokemiskt samtolkas i steg. Svårighet att klarlägga omfattningen av subhorisontella strukturer måste beaktas särskilt. Ytbeskrivningar utgör grunden för utsättning av borrhål och ger därmed även grunden för tolkningen av de data som senare erhålles från borrhålmätningar.

Mätningar i borrhål baseras på avancerad teknik och är resurskrävande. För att utvärdering senare ska vara möjlig krävs att flera oberoende metoder utnyttjas. Det är idag svårt att avgöra den specifika nyttan av den enskilda metoden. Borrhålmätningar och ytundersökningar sammantaget ger dock tillräcklig information för att göra preliminär utvärdering av förvarets funktion och dess geometriska utformning och för att anvisa lämpliga bergvolymen för detaljerad karakterisering.

Data från tunnlar utnyttjas redan för analys av förvars funktion och säkerhet. Tekniken för datainsamling behöver utvecklas så att den information om t ex tryckresponser som uppstår under utbyggnad tillgodosöks på bästa möjliga sätt i beskrivningen av platsen. Att de data som erhålles vid tunnelkarteringar m m verkligen är relevanta för grundvattnets fördelning under naturliga förhållanden behöver belysas ytterligare.

De begreppsmodeller som idag finns utvecklade kan beskriva vattenomsättning och flödesfördelning med tillräcklig noggrannhet för att t ex utforma ett slutförvar eller utvärdera livslängden hos avfallskapslar förutsatt att data för förvarsberget tas fram. I

säkerhetsanalysen av ett slutförvar behöver man beräkna hur radionuklider transporteras med grundvattnet. Det är i dag inte möjligt att göra detta med önskad noggrannhet. Man kan ej ange vilken modell eller kombination av modeller som bäst representerar verkligheten. Man tvingas därför i analysen använda pessimistiska modeller som starkt överdriver transporten. Mer realistiska och validerade modeller kommer att ge säkrare kunskap om säkerhetsmarginalerna och bättre underlag för optimering och platsanpassning.

De begreppsmodeller som finns kan kalibreras mot experiment, men de är inte särskiljande i förhållande till hur den fysiska strömningen sker i berget. Spår försök med icke-sorberande och svagsorberande spårämnen är en möjlig väg att särskilja begreppsmodellerna. Det är ännu inte visat att spår försök ger möjlighet att diskriminera mellan olika begreppsmodeller. SKB har i senare års säkerhetsanalyser använt den sk strömrörmodellen för beräkning av nuklidtransport, eftersom den ger den mest försiktiga beskrivningen av hur berget fungerar som barriär.

4.6.3 Bergets stabilitet

Det är av viktigt att förstå i vad mån tektoniska eller klimatiska processer påverkar förvarets funktion. Låg grundvattenomsättning, gynnsam kemisk miljö och frånvaro av berg rörelser som kan skada avfallet är vägledande för utformningen av förvaret.

De studier som genomförts styrker uppfattningen att platttektonik tillsammans med pågående landhöjning är av avgörande betydelse för tolkningen av nuvarande och framtida rörelser i berggrunden. Det framgår också att sådana rörelser företrädesvis eller uteslutande sker längs större sprickzoner av mycket hög ålder.

Som ett underlag för utformning och analys av förvarets funktion är det även av betydelse att beskriva i vilken mån ett slutförvar kan påverkas av framtida istider. Ämnesområdena tektoniska och klimatiska faktorer är vittomspännande och stadda under stark utveckling. Stora nationella och internationella projekt är för närvarande i gång som fortlöpande ger en förbättrad bild av de tektoniska processerna och effekter på berggrunden.

SKB har genomfört studier av postglaciala rörelser i Lansjärv. Bland slutsatserna kan nämnas:

- de postglaciala rörelserna i Lansjärv antages i huvudsak ha utlösts genom re-aktivering av redan existerande sprickor och förkastningar,
- orienteringen av äldre svaghetszoner i norra Fennoskandia gynnar uppkomsten av postglaciala förkastningar i form av överskjutningar och reversa förkastningar,
- re-aktiveringen av den postglaciala förkastningen i Lansjärv har skett genom tektoniska rörelser som möjligen utlösts i samband med isavsmältningen,
- den hydrauliska konduktiviteten i kärnborrhålet i Lansjärv avviker inte signifikant från de förhållanden som uppmätts i ett flertal andra borrhål i svenskt urberg,

— rörelsezoner av den mäktighet som studerats kan undvikas vid utformning av slutförvar. Trots det mycket dramatiska skeendet då postglaciala förkastningen bildades vid Lansjärv är inte den hydrauliska konduktiviteten eller grundvattenkemin på typiska förvarsnivåer på något sätt anmärkningsvärd.

För en analys av förvarets långsiktiga säkerhet är ökad kunskap om effekter av glaciärer på berget befogad.

4.6.4 Metod- och instrumentutveckling

Alltsedan de geologiska fältundersökningarna startades i slutet av 1970-talet har ett systematiskt arbete bedrivits på utveckling, förbättring och rationalisering av metoder och instrument för insamling av geologiska data i fält. Målet har varit att lämpliga metoder och instrument skall finnas tillgängliga för högkvalitativ insamling av sådana mätdata som krävs för karakterisering av en bergvolym för ett slutförvar eller för analys av säkerheten hos ett sådant förvar. Kraven på kvalitet i data medför därvid krav på noggrannhet och tillförlitlighet hos mätutrustningen. Stor vikt har lagts vid att mätningar skall kunna genomföras rationellt eftersom antalet mätningar på en viss plats är mycket stort.

I dag finns det metoder och instrument för mätning av grundläggande geologiska, geohydrologiska, geofysiska, geokemiska och bergmekaniska parametrar från markytan och i borrhål ned till 1000 m djup. Den tekniska utvecklingen skapar dock ständigt nya förutsättningar för utveckling av nya instrument- eller data-samlingsystem. Detaljerade platsundersökningar och undersökningar från tunnlars ställen delvis nya krav på mätmetoder och instrument som behöver tillgodose under 1990-talet. Skulle behov uppstå för mätningar på väsentligt större djup än 1000 m kommer detta att kräva kompletteringar av instrumentparken.

4.6.5 Underjordiskt berglaboratorium

Motiven för byggande av ett underjordiskt berglaboratorium redovisades kortfattat i FoU-program 86 och anges mer utförligt i en underlagsrapport till detta FoU-program. Sammanfattningsvis är de viktigaste motiven:

- verifikation av metoder för yt- och borrhålsundersökningar,
- utprovning av metodik för detaljerade platsundersökningar med schakt- eller tunneldrivning,
- möjlighet att i realistisk miljö och i stor skala undersöka förhållanden som är viktiga för säkerheten t ex grundvattenflöde och därtill kopplad transport av lösta ämnen,
- möjlighet att i realistisk miljö genomföra demonstrationsförsök och långtidsförsök av växelverkan mellan tekniska barriärer och berg,
- metodutveckling för bergarbeten, avfallshantering och återfyllning.

Hittills genomförda undersökningar av tänkbara slutförvarplatser, de sk typområdena, har endast

avsett mätningar på markytan och i borrhål. Därutöver har undersökningar gjorts i och från tunnlars i Stripa och SFR samt vid vissa anläggningsarbeten för andra ändamål. Det finns ett behov att direkt verifiera resultat från yt- och borrhålsundersökningar med systematiska observationer från schakt och tunnlars ned till det djup som kan bli aktuellt för ett slutförvar.

Tekniken för genomförande av platsundersökningar har delvis utvecklats och provats i Stripa. Eftersom Stripa är en övergiven gruva kan emellertid inte alla aspekter på tekniken provas där. Prov på ett tidigare ostört område ger ytterligare möjligheter att utveckla och finlipa metoderna innan de ska användas ”på riktigt”.

Den fortsatta forskningen bör framförallt ägnas åt att knyta ihop och komplettera den bild som man fått genom de hittillsvarande undersökningarna på olika ställen. Ett första sådant hopknypningsförsök görs inom fas 3 av Stripa-projektet. Där genomförs en ”site characterization and validation test”, SCV, avseende en bergvolym i 100 m skala. Inför lokaliseringen av slutförvaret bör liknande hopknypning ske i större skala för att stärka det experimentella underlaget för den långsiktiga säkerhetsanalysen.

Förundersökningarna för lokalisering av ett berglaboratorium till Simpevarpsområdet påbörjades hösten 1986. Studier har genomförts i olika skalor, både regionalt och lokalt. Resultaten har visat att det på Äspö norr om Simpevarp finns gynnsamma förutsättningar för att anlägga ett berglaboratorium av vilka följande kan nämnas:

- Ett relativt homogent bergblock med få väldefinierade grundvattenledande strukturer finns på södra Äspö där nedfarten till laboratoriet kan byggas.
- Inom nära avstånd till ovanstående finns tillgång till en regional skjuvzon och områden med mycket homogen Smålandsgranit.

SKB har därmed funnit att det på södra Äspö finns tillgång till de olika geologiska och hydrologiska förhållanden som krävs för de planerade försöken.

4.7 KEMI

4.7.1 Mål för FoU på kemiområdet

Huvudmålet för kemiprogrammet är att känna den kemiska miljön i och omkring slutförvaret samt att bestämma den kemiska retentionen av radionuklider. Båda dessa aspekter har betydelse för den långsiktiga säkerheten i slutförvaringen av radioaktivt avfall.

Den naturliga kemiska miljön och hur den kan förändras naturligt eller av komponenter i förvaret är avgörande för barriärernas kemiska stabilitet. Exempel på förhållanden som påverkas av grundvattnets sammansättning är buffertstabilitet, bergets porositet (främst i närområdet), kapselkorrosion, upplösning och urlakning av avfallsformen och till sist radionuklidernas kemi. De kemiska reaktionerna sker i vattenfasen och utgångspunkten för vattnets sammansättning är det ostörda grundvattnet. Ett första delmål

är därför att bestämma grundvattnets normala sammansättning genom provtagning och analys av grundvatten. Nästa delmål är att avgöra vilka variationer i vattensammansättningen som kan uppkomma dels genom naturliga processer och dels genom påverkan från förvaret och dess komponenter. Detta förutsätter bl a undersökningar av mineral och speciellt sprickmineral som inverkar på vattnets sammansättning. Sprickor bär dessutom spår av tidigare förändringar.

Hydrogeologiska undersökningar av flödesförhållanden är av betydelse för att förstå vattensammansättningen. Övrigt kan studier av vattnets kemi och framförallt vattnets innehåll av stabila och radioaktiva isotoper verksamt bidra till att stödja slutsatser om de hydrogeologiska förhållandena.

Skulle radionuklider från avfallet komma i kontakt med grundvattnet är den barriär som utgörs av kemisk retention av största vikt. Kvarhållning sker genom utfällning, sorption och diffusion. En radionuklid som exponeras för vatten kan var svårslutlig, diffundera långsamt eller helt falla ut i närområdet. Den kan hållas kvar genom sorption på mineralytor eller tränga in i bergets mikroporer och därigenom fördröjas eller helt undgå transport med flödande grundvatten. Ett första delmål är därför att bestämma dessa processer och gesäkra konstanter och funktioner som beskriver förloppen kvantitativt.

Fenomen som kan kortsluta eller på annat sätt förhindra viktiga retentionsprocesser förtjänar naturligtvis särskild uppmärksamhet. Ett viktigt andra delmål är därför att analysera och prova transportegenskaper hos sådana aggregat som kolloider, naturliga organiska komplex och mikrober vilka kan fungera som bärare av radionuklider i vattnet.

För att validera de slutsatser och modeller som används inom säkerhetsanalysen för att beskriva den kemiska miljön och radionuklidretentionen används tre olika ansatser; oberoende laboratorieförsök, spår-försök in situ och studier av naturliga analogier till slutförvaring av radioaktivt avfall. Simuleringar i laboratoriet ger en möjlighet till full kontroll. Försök in situ har realistisk miljö och skala. Undersökningar av naturliga analogier används för att underbygga de bedömningar av den kemiska miljön och radionuklidretentionen som måste vara giltiga för mycket långa tidsrymder.

4.7.2 Nuvarande kunskapsläge

Grundvattenkemi och geokemi

Platsundersökningarna och vattenprovtagningen i Stripa och Forsmark (SFR) har visat att salta grundvatten är mycket vanliga, speciellt i kustnära områden. De salta grundvattnen är relativt sett gamla och där de förekommer är vattenomsättningen mycket liten. Vattnen under land har visat sig ha meteoriskt ursprung. Vattnen under havet har inslag av havsvatten.

De djupa grundvattnen är reducerande. De saknar helt syre och innehåller i stället sulfid och järn(II). Halterna av sulfid och tvåvärt järn är som regel små dvs redoxbuffertkapaciteten i vattnet är liten. Den kapaciteten finns i stället i mineralen. Koldioxidvittring

frigör t ex järn(II), men hur stor den åtkomliga kapaciteten är återstår att visa. En utrustning har tagits fram för att provta och analysera upplösta gaser i grundvattnet.

Användningen av isotopmetoder för att karakterisera vattnets "ålder", ursprung och omsättning har provats ut. Ett stort antal olika metoder har prövats inom Stripa projektet av framstående experter på området. Det finns nu ett urval av metoder som är praktiskt användbara för platsundersökningar och ger relevant information.

Analys av sprickmineral har gett möjlighet att tolka den kemiska utvecklingen av grundvatten och kontrollera modeller för grundvattenrörelse.

Datorberäkningar har genomförts med avancerade geokemiska modeller för att tolka grundvattenkemin och förutse de kemiska störningar som ett förvar ger upphov till.

Radionuklidkemi

Termodynamiska konstanter som beskriver löslighet och vattenkemi för radionuklider har uppmätts och sammanställts ofta i samarbete med utländska experter och organisationer. Huvuddelen av arbetet har ägnats åt aktinider och då i synnerhet uran. Inverkan av fosfat återstår att visa. Medfällningsförsök har genomförts och modeller för detta tagits fram. Det bör nu vara möjligt att utnyttja medfällningsfenomenet i en säkerhetsanalys. Medfällning med järnhydroxider och kalcit återstår att undersöka.

Sorption och diffusion av radionuklider i berg, bentonit och betong har uppmätts. Ett omfattande underlag med diffusiviteter och sorptionskoefficienter finns. Vad som återstår är framförallt inverkan av tillsatser till bentonit, betydelsen av naturliga reducerande förhållanden och en fördjupad teoretisk förståelse av sorption och diffusion på mineralytor.

Inverkan av naturliga organiska komplex (humus- och fulvosyror) på radionuklidretentionen har undersökts. Dessa ämnen binder helt klart radionuklider och sorptionen kan härigenom minska något. Förekomst och inverkan av oorganiska partiklar (kolloider) och mikrober i grundvattnet har undersökts. Mikrober har påvisats i djupa grundvatten. Grundvattenkolloiders uppkomst och stabilitet har undersökts. Radionuklidupptag på dessa aggregat återstår till stor del att undersöka.

Radiolysens möjliga påverkan på ett förvar har provats i flera experiment. Teoretiska förutsägelser och beräkningar har i stor utsträckning bekräftats. Vätgas bildas liksom oxidanter i form av väteperoxid.

Kemisk transport och validering

Modeller för vattenflöde och radionuklidtransport i enskild spricka med kanalbildning har utvecklats. Kopplade modeller transport-geokemi har vidare utvecklats och tillämpats för att beskriva växelverkan betong-bentonit och bildningen av en redoxfront.

Laboratorieförsök har genomförts för att validera modeller för transport av redoxkänsliga radionuklider i naturliga bergsprickor. Försöken har hittills gällt enbart teknetium.

Spårförsök har genomförts i Finnsjön, Hylte och Stripa. Transport i olika skalor har studerats; från några centimeter till ett par hundra meter; och olika konduktiva medier; från det goda berget till uppspruckna zoner. I huvudsak har icke sorberande spårämnen använts. Tekniken har utvecklats och olika modeller för transport har prövats inklusive sk kanalbildningsmodeller. Transporten i sprickzonen i Finnsjön kan beskrivas med en porös kontinuum modell medan transporten i Stripa tyder på stark kanalisering. En serie experiment startade i Stripa 1982 för att validera indiffusion i bergmatrisen. De är nu helt avslutade och visar att upplösta ämnen kan tränga in i till synes helt tät berg. Det är en väsentlig mekanism för radionuklidretention.

Undersökningar av naturliga analogier har varit koncentrerat till Poços de Caldas-projektet.

Resultat från laboratorieförsöken, spårförsöken i Finnsjön och Stripa (3D) liksom Poços de Caldas-projektet används även för validering av transportmodeller inom det internationella projektet INTRAVAL som leds av SKI.

4.8 BIOSFÄRSSTUDIER

4.8.1 Mål för biosfärsstudier

Målet för SKBs studier av biosfärens egenskaper och av radioaktiva ämnens uppträdande i biosfären är att kunna genomföra säkerhetsanalysens konsekvensberäkningar på ett trovärdigt sätt. Insatserna kommer att koncentreras på att kunna göra en uppskattning av de konsekvenser olika utsläpp har i ett tidsperspektiv av storleksordningen 10.000 år. Delmål i denna process är att:

- söka kvantifiera de osäkerheter som beror på att biosfären hela tiden förändras,
- förbättra det dataunderlag som spridningsmodellerna vilar på,
- validera modellerna bl a genom studier av analoga spridningsprocesser.

4.8.2 Nuvarande kunskapsläge

Eventuella aktivitetsutsläpp från ett slutförvar kommer troligen att ske så långt fram i tiden och under så lång tidsrymd att betydande förändringar i biosfärens egenskaper förväntas inträffa före eller under ut-

släppsförloppet. Detta innebär att analyser av konsekvenserna av ett utsläpp kommer att ha stora osäkerheter.

Den största osäkerhetsfaktorn i biosfären hänger ihop med ekosystemens naturliga evolution under de tidsperioder som kan anses realistiska. Exempel på processer i ett kortare tidsperspektiv är

- igenväxning av sjöar och uppodling av de gamla sedimenten (även pga landhöjning),
- erosion av jordar med vind och vatten,
- omlagring av sediment i sjöar och vattendrag,
- stadsbyggnation, stora asfaltytor, tunnlar mm.

I något längre perspektiv måste även klimatiförändringar och glaciation tas med i bilden. Frågan är dock hur meningsfullt det är att göra dosuppskattningar i det skedet.

SKBs insatser har under de senaste åren varit koncentrerade till sjöars åldrande dvs processen där sjöars botten sediment gradvis omvandlas till åkerjord. En insamling och bearbetning av data för en sjö i Södermanland har gjorts omfattande vattenflöde, sedimentationshastighet, porvattenegenskaper, vattenkvalitet under olika skeden m m. Modellering och variationsanalys visade att individdoserna för vissa nuklider ökade med flera tiopotenser då sjöns sediment används som åkermark. För andra nuklider minskade doserna med någon tiopotens. Den största källan till osäkerhet är omsättningen i sjöns vatten och sediment. Detta scenario ger dock lägre doser än då en brunn antas borrar till depositionsområdet.

Grundvattnet och medföljande radionuklider kommer på sin väg till ytan att lämna den reducerande miljön i berget och passera in i en oxiderande miljö. Denna övergång är för de flesta aktuella kemiska föreningar, förknippad med en drastisk förändring av löslighet. Övergången sker ofta i sediment eller jord men kan också ske direkt i fritt vatten.

En detaljundersökning av utströmning i sjöar initierades under 1987 för att undersöka hur botten sedimentens kemi och fauna i utströmningsområden skiljer sig från botten sedimenten i övrigt.

Forskning rörande radionuklidens spridning i biosfären, och med viss relevans för slutförvaring i geologiska formationer, bedrivs av ett fåtal institutioner vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Göteborgs Universitet, FOA4 samt i någon mån av Studsvik och Kemakta på uppdrag av SSI och SKI. I norden kan även Risö i Danmark, VTT i Finland nämnas. Annan forskning om kemiska ämnen i miljön kan i vissa fall vara relevant.

5 SLUTFÖRVARING AV ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE. SAMMANFATTNING AV PLANERAD FORSKNING OCH UTVECKLING 1990-1995

5.1 ALLMÄNT

I föregående kapitel 4 har lämnats en översikt över kunskapsläget avseende slutförvaring av använt kärnbränsle. I anslutning därtill har även redovisats övergripande mål och etappmål för forsknings- och utvecklingsarbetet på detta område samt en översiktlig plan för erforderliga åtgärder. Utgående från denna plan och angivna mål har en detaljerad forskningsplan tagits fram för sexårsperioden 1990-1995. Denna plan redovisas i del II och i underlagsrapporten för berglaboratoriet. I detta kapitel ges en kort sammanfattning av de viktigaste delarna av denna plan. Åtgärder och forskning rörande rivning av kärnkraftverk behandlas i kapitel 6.

5.2 FORSKNINGSMOMRÅDEN OCH PROJEKT

Den planerade forskningen rör de centrala frågorna för utveckling, konstruktion, byggande, drift och säkerhet av/hos ett slutförvar för använt kärnbränsle. Frågorna kan för att ge en viss översiktlig systematik fördelas inom ett antal områden som i sin tur kan fördelas på två grupper. Den första gruppen avser mer grundläggande kunskapsområden som i vissa avseenden är oberoende av förvarets utformning. Den andra gruppen är mer direkt knuten till specifika egenskaper för visst eller vissa utformningar. Gränsen mellan grupperna är ingalunda skarp och ej heller särskilt väsentlig.

Viktiga områden inom den första gruppen är:

- kärnbränslets egenskaper i förvarsmiljö,
- kapselmaterialets egenskaper i förvarsmiljö,
- buffertmaterialens egenskaper i förvarsmiljö,
- berggrunds rörelser -berggrundens stabilitet,
- grundvattenrörelser,
- grundvattenkemi,
- radionuklidkemi -de radioaktiva ämnenas kemiska egenskaper i förvars- och bergmiljö,
- transport av radioaktiva ämnen med grundvatten,
- radioaktiva ämnens egenskaper och transport i biosfären.

Viktiga områden inom den andra gruppen är:

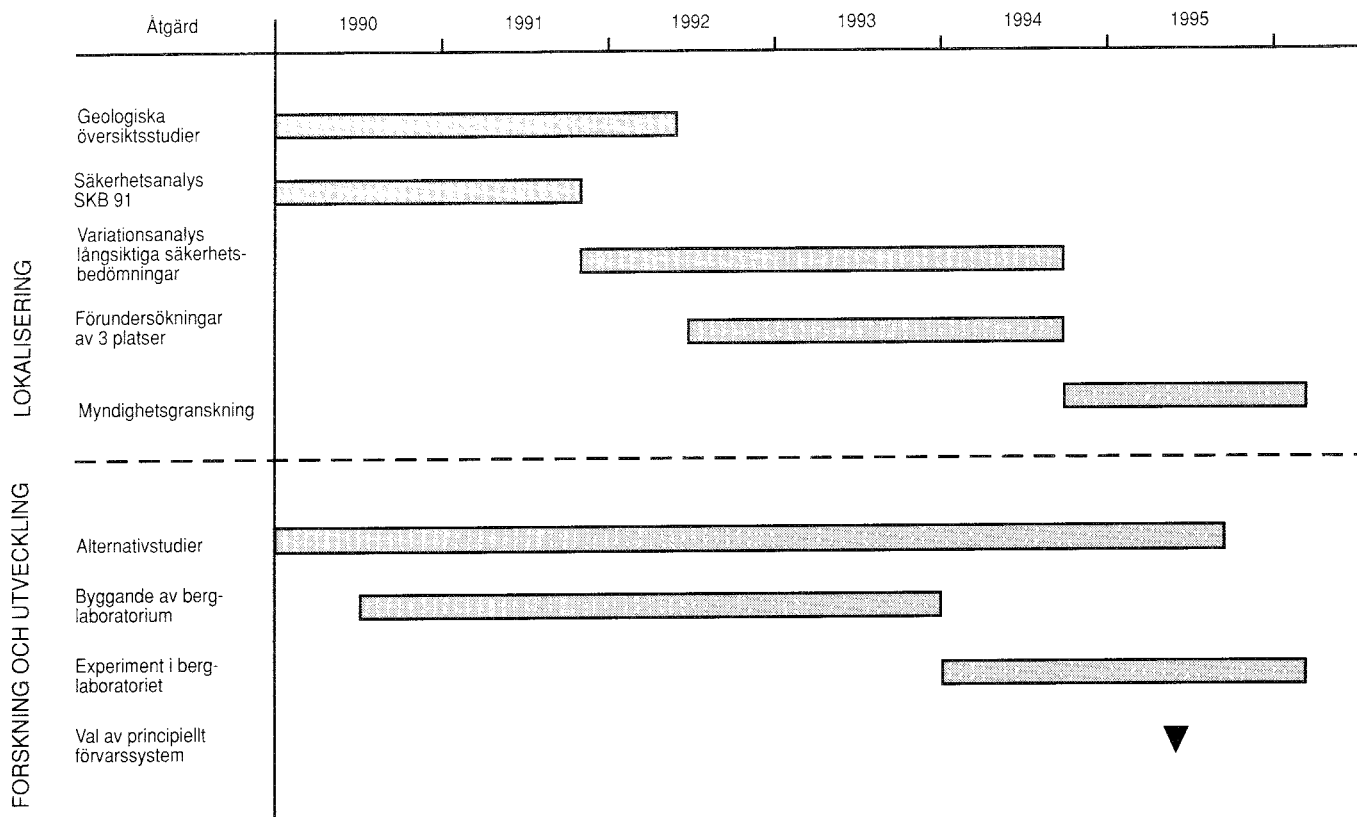
- principutformning av förvaret,
- lokalisering av förvaret,
- anläggningsteknik,
- tätning av berg,
- anpassning till berget,
- tillverkning och förslutning av kapslar,
- tillverkning och applicering av buffertmaterial,
- växelverkan berg-buffert-kapsling; kemisk/mechanisk,
- undersökningsmetoder.

Forskningsarbetet genomförs ofta i form av större projekt där varje projekt kan beröra ett flertal av de ovan uppräknade områdena. De viktigaste projekten eller projektgrupperna inom SKBs forskningsverksamhet är följande:

- Stripa-projektet,
- det underjordiska berglaboratoriet,
- flera projekt rörande naturliga analogier,

Tabell 5-1. Viktiga forskningsområden inom SKBs FoU.

Projekt	Stripa	Bergl	Natur. anal.	Övriga fältst	Labexp	Teori bildn.	SKB 91	Konstr. Analys
Bränsle-egensk.					*	*	*	*
Kapsel-matr.egensk.			*		*		*	*
Buffert-matr.egensk.	*		*		*		*	*
Berggrunds rörelser		*		*			*	*
Grundvattenrörelser	*	*		*		*	*	*
Grundvattenkemi	*	*	*	*	*	*	*	*
Radionuklidkemi					*		*	
Transport av radioaktiva ämnen	*	*	*	*	*	*	*	*
Radioaktiva ämnen i biosfären				*			*	
Förvarsutformning							*	*
Lokalisering — förvar				*			*	*
Anläggningsteknik		*						*
Anpassning till berget		*						*
Tätning av berg mm	*	*			*			*
Kapsel-tillv + förslut.					*			*
Buffert-tillv + applic.		*			*			*
Vxv berg-buffert-kapsel	*	*			*		*	*
Undersökningsmetodik	*	*		*	*			*



Figur 5-1. Tidplan för den kommande 6-årsperioden — lokalisering samt forskning rörande slutförvar för använt bränsle.

- övriga undersökningar i fält — Finnsjön, Lansjärv, Hylte,
- stort antal projekt innefattande mätningar i laboratorier,
- projekt avseende utveckling av teoretiska modeller,
- säkerhetsanalysen SKB 91,
- projekt avseende konstruktion och/eller analys — dvs skrivbordsarbete som ej direkt har samband med experiment eller något av ovanstående projekt/projektgrupper.

I Tabell 5-1 ges en översikt av vilka forskningsområden som behandlas inom de olika projekten eller projektgrupperna.

5.3 FORSKNINGSPROGRAM 1990-1995

Figur 5-1 och 5-2 ger översiktliga tidplaner för den kommande sexårsperioden 1990-1995. Den första figuren, 5-1, redovisar aktiviteter som har betydelse för lokalisering av slutförvaret och därmed sammanhängande FoU. Den andra, 5-2, redovisar vissa av de större forskningsprojekten. Under senare delen av perioden väntas ytterligare ännu ej definierade projekt avseende bl a validering tillkomma.

5.3.1 Lokalisering av slutförvaret

Planerna för lokalisering av slutförvaret har redovisats relativt utförligt i avsnitt 4.3.2. Forskningsarbetet in-

om området kommer att inriktas på att ta fram det underlag som behövs för lokaliseringen och som sammanfattats i nämnda avsnitt. För en utförligare genomgång hänvisas till kapitel 2 i del II.

5.3.2 Säkerhetsanalys

Genom säkerhetsanalyser utvärderas de olika förvarskoncepten och kunskapen om dessa på ett integrerat sätt. Insatserna inom området utgörs av metodutveckling för analyser, modellutveckling och validering av beräkningsmodeller samt genomförande av funktions- eller säkerhetsanalyser.

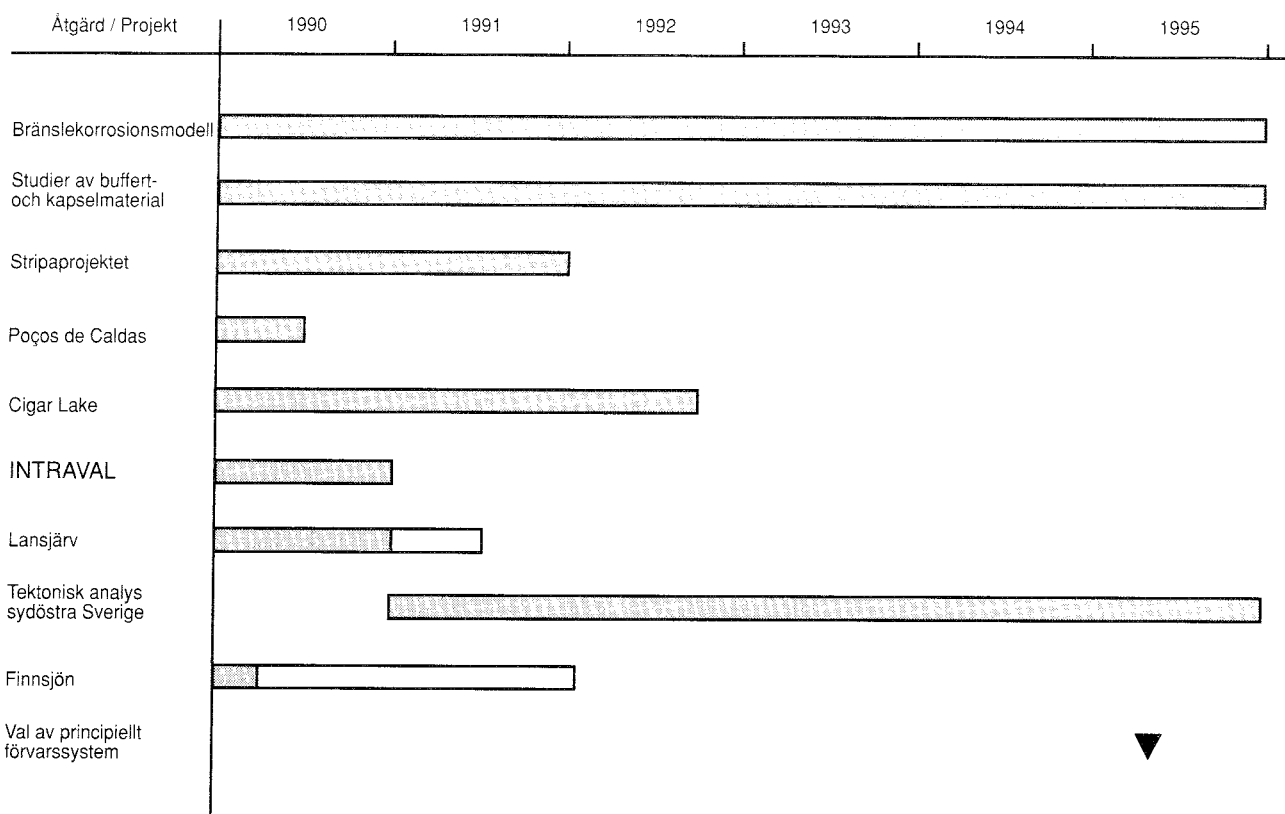
Perioden 1990-1992

SKB 91

En ny integrerad säkerhetsanalys kommer att genomföras fram till 1991. Förvaret kommer att likna KBS-3 med vissa modifieringar. Det geologiska underlaget hämtas från Finnsjön.

De modeller som kommer att utnyttjas skall vara definierade och fungerande tidigt under 1990, sammanställning av dataunderlaget görs med samma tids horisont. Definition av scenarier görs tidigt 1990. Beräkningarna och utvärderingarna genomförs under andra halvåret 1990 och första halvåret 1991.

För att möjliggöra omfattande variationsanalyser i samband med framtagningen kommer säkerhetsmar-



Figur 5-2. Tidplan för viktigare projekt m m under 6-årsperioden 1990-1995.

ginaler och översäkra antaganden att söka undvikas. Variationsanalyser med SKB 91 som bas kommer att fortsätta under hela 1990-talet.

Närzonstransport

Sammanställningen av en kontrollerad termodynamisk databas för de kemiska jämviktsberäkningarna fortsätter. Under 1989/90 kommer sensitivitetsstudier att göras på de modeller som utnyttjades i KBS-3. Detta ger underlag för prioritering av vidare utvecklingsinsatser. Modellerna för redoxfronten i buffert och berg kommer att kopplas.

Under 1990 och 1991 genomförs beräkningar och variationsanalyser för SKB 91. Efter 1991 kommer jämförande studier av alternativa närområdesutformningar att genomföras.

Fjärrzonstransport

Utvecklingen av olika beskrivande modeller för grundvattenrörelser och transport av lösta ämnen i berg fortsätter inklusive uppbyggnaden av databaser.

De aktuella koncepten är

- kanalströmmning,
- flöde i en tvådimensionell stokastisk sprickmängd,
- flöde i definierade diskreta sprickor.

Under 1990 väljs någon eller några för användning i SKB 91.

PROPER

Utvecklingen av ett nytt integrerat program för efterbearbetning pågår och bedöms vara klar 1990. Under 1990/91 kommer statistiska metoder att bearbetas och variansreducerande metoder att tas fram.

PROPER kommer att användas som en av verktygen för variations- och osäkerhetsanalyser inför SKB 91. Fortlöpande utveckling av undermodeller förutses under hela 90-talet.

Scenarieutveckling

Insatserna för metodutveckling inom scenarieområdet kommer att anpassas till det internationella samarbetet, främst inom NEA samt till behoven av säkerhetsanalyser och variationsstudier enligt forskningsprogrammet. Under 1990 definieras de scenarier som skall ligga till grund för SKB 91. En uppsummering av läget inom området planeras till FoU-program 92.

Kvalitetskrav och kvalitetskontroll

En systematisk genomgång av de kvalitetskrav som kan ställas i olika skeden av utvecklingsarbetet kom-

mer att göras. Riktlinjer för kvalitetssäkring, QA, avses tas fram för hantering, lagring och dokumentation av data samt för programmering och dokumentation av datorprogram.

Perioden 1993-1995

Variationsstudierna med SKB 91 kommer att fortsätta speciellt inriktade på geologiska parametrar och kandidatplatserna. För säkerheten viktiga parametrar definieras inför valet av detaljundersökningsplatser.

Metodutvecklingen inom säkerhetsanalysen kommer att fortsätta och anpassas till forskningsprogrammets behov och möjligheter till vidareutveckling.

Inför de geologiska detaljstudiernas start 1995 kommer den säkerhetsmässiga betydelsen av att gå ner med ett schakt eller en tunnel att belysas.

5.3.3 Utformning av slutförvaret

Studierna av djuphålsdeponering och dess säkerhetsaspekter kommer att fullföljas under 1990 med en jämförande analys vis à vis KBS-3.

En principstudie av ett alternativ med långa deponeringstunnlar från kusten ut under Östersjön kommer att genomföras troligen 1992/93.

Under programperioden kommer även alternativ av typen

- en eller flera kapslar i varje deponeringshål,
- deponering i långa borrarade hål mellan transporttunnlar,
- deponering i tunnlar eller borrarade hål,

att granskas till en sådan nivå att egenskaper av betydelse för de detaljerade platsundersökningarna har identifierats.

5.3.4 Tekniska barriärer

Använt bränsle

Avfallsformen använt bränsle är given i de huvudalternativ som studeras. Studier av använt bränsle i slutförvarsmiljö är därför en mycket viktig del av forskningsprogrammet. Tyngdpunkten ligger på experimentella undersökningar av växelverkan mellan bränsle, grundvatten och andra komponenter i närområdet. Detta arbete har pågått i nuvarande omfattning sedan 1982 och beräknas fortsätta under flera år framöver. Forskningen syftar till att mer i detalj kartlägga de kemisk-fysikaliska förlopp som styr utlösningen av radioaktiva ämnen från bränslet, dels från själva urandioxidmatrisen dels från korngränser och sprickor inom bränslematerialet. Av särskild vikt är att:

- klarlägga fördelningen av klyvningsprodukter inom bränslematris och vid korngränser/sprickor,
- bestämma inverkan av radiolys på redoxförhållandena vid bränsleytan; detta avgör om man har löslighetsbegränsad upplösning eller oxidativ upplösning av matrisen,
- ta fram pålitliga termodynamiska data för löslighetsbegränsade nuklider såsom teknetium och plutonium.

I anslutning till det experimentella arbetet sker även en betydande insats på utveckling av teoretiska modeller. Målet är att i mitten av 1990-talet ha en modell som kan beskriva bränsleupplösningens förlopp och användas vid optimering av barriärsystemet. Studierna av använt bränsle genomförs i nära kontakt med motsvarande arbeten i andra länder främst Kanada och USA. Övriga större kärnkraftländer har upparbetning som huvudalternativ och forskningen inriktad på förglasat högaktivt avfall från sådan upparbetning.

Kapsel

Det fortsatta arbetet på kapselmaterial inriktas på att komplettera existerande underlag så att ett val av system kan ske i mitten av 1990-talet.

För koppar görs kompletteringar framförallt beträffande gropfrätning och tekniken för svetsning av tjockt gods. Därtill kommer ytterligare klarlägganden av koppars krypegenskaper vid låga spänningsnivåer.

Studierna av stål kommer under perioden att koncentreras till väteproducerande korrosion. Stål kan vara ett alternativ om man accepterar en kapsellivslängd på ca 1000 år. Det kan emellertid även vara ett alternativ till bly som fyllnadsmaterial (tryckbärande material) i en kapsel där korrosionsskyddet utgörs av koppar. I båda fallen är kunskaper om vätgasproducerande korrosion viktiga för funktions- och säkerhetsanalysen.

Brottmekanismer för en kapsel i förvarsmiljö kommer att studeras under programperioden. Prov i avsikt att verifiera teorin för dimensionering och noggrannheten vid kvalitetskontrollen kan bli aktuella mot slutet av perioden.

Buffert och återfyllning

Arbetet med att klarlägga sambanden mellan lerors mikrostruktur och förhållanden av betydelse för nuklidtransport i buffertmaterial vid olika temperaturer fortsätter och breddas till att omfatta blandningar med naturmaterial och bergkross. Likaså fortsätter studierna av geologiska egenskaper hos buffert- och återfyllnadsmaterial. Arbetet på validering av en teoretisk modell som beskriver termomekanik, krypning, skjuvdeformation, svällning mm fortsätter.

Inom ramen för Stripa-projektet fortsätter studierna av bentonit och en speciell cement som tätningsmaterial i tunna bergsprickor. I detta arbete ingår även en utvärdering av materialens långtidsbeständighet. Samarbete med fransmännen innefattande bl a värmeförsök i Stripa och analyser av gammabestrålade leror fortsätter och beräknas avslutad i början av 1990-talet.

Prov med packning av återfyllnadsmaterial i tunnel kan bli aktuella under senare delen av perioden.

5.3.5 Bergets egenskaper

Grundvattenrörelser

För de närmaste åren utförs största delen av planerat arbete på grundvattenrörelser inom ramen för projektet knutna till Stripa, Finnsjön och berglaboratoriet.

Utveckling av begreppsmodeller i olika skalor är av

fundamental betydelse för att öka förståelsen av hur grundvatten strömmar i kristallin berggrund. Modellutveckling planeras i olika skalor. Berglaboratoriet arbetar parallellt från regional skala ner till volymer av något hundratal kubikmeter. Under förundersökningsskedet upprättas regionala grundvattenmodeller, diskreta nätverksmodeller och enkla transportmodeller. Dessa prövas och utvecklas under byggnadsskedet. Här pekas särskilt på betydelsen av ett spår försök under byggnadsskedet och driftskedet. Arbetena i Stripa är inriktade på volymer i skala en till ca hundra meter. Det sk "Site Characterization and Validation" -programmet i Stripa kommer att ge underlag för att pröva flera olika typer av modeller. Inom projektets ram arbetar tre olika grupper med modellering av experimenten. Vid det sk "Sealing of Fractured Rock" -försöket ägnas stora ansträngningar åt den sk "störda" zonen runt deponeringshål och tunnlar. Försöken i Finnsjön behandlar transport i fjärrområdesskala (flera hundra meter).

För den fortsatta experimentplaneringen krävs en grundlig utvärdering av i vilken mån spår försöksteknik är tillämplig för att särskilja olika begreppsmodeller. En sådan utvärdering förutses både för Stripa och Finnsjöförsöken. Med en samlad utvärdering av dessa försök kan man planera för vilka ytterligare experiment som kan bidra till en förbättrad analys av grundvattnets strömning i berg. En utvärdering planeras ske under 1992. Denna kan påverka planeringen av spår försök i berglaboratoriet.

En viktig fråga är i vilken mån begreppsmodellerna bygger på fullständigt dataunderlag. Detta baseras på de data som samlas i ytundersökningar, i borrhål och i tunnlar. I takt med att fältundersökningarna fortsätter kommer underlaget för beskrivning av flödesvägar att öka. Det torde vara svårt att generellt påvisa att undersökningarna är fullständiga. Därför är det viktigt att systematiskt genomföra osäkerhetsanalyser avseende vilken inverkan t ex förbisedda sprickzoner har på beräkningsresultaten. Systematiska osäkerhetsanalyser kommer att genomföras i SKB 91.

Arbetet på utveckling av numeriska beräkningsmodeller för grundvattenströmning i sprickigt berg kommer att fortsätta. Såväl modeller baserade på "ekvivalent poröst medium" — approximation som nätverksmodeller kommer att prövas.

Vertikala och subhorisontella zoners geometri och egenskaper är av stor betydelse. Det är angeläget att pröva bättre utrustningar och ytterligare förfinade utvärderingsmetoder för att i ett tidigt skede av undersökningar få en beskrivning av de flacka zonernas frekvens och utbredning. Den fördjupade analysen kan ske inom ramen för berglaboratoriet.

Den sk störda zonen studeras som redan nämnts inom Stripa-projektet i det sk injekteringsförsöket. Utvärdering av detta försök och av de försök som sker i det kanadensiska URL på 240 m nivån kommer att ligga till grund för eventuella kompletterande försök i berglaboratoriet. En sådan utvärdering bör ske under 1992.

Bergets stabilitet

I FoU-program 86 aviserades att en djupare analys av

istider och landhöjning kan vara aktuell. Detta förslag stöddes av ett flertal remissinstanser, både nationella och internationella.

För att på bästa sätt sammanställa kunskap och utvärdera vilken betydelse istider och landhöjning kan ha för analysen av förvarets säkerhet har TVO i Finland och SKB beslutat att genomföra delar av detta arbete gemensamt. Av särskilt intresse är att belysa om en istid föregås av permafrost till stort djup, om grundvattenkemin dramatiskt förändras under en glaciär, om lättlösliga sprickmineral kan lösas ut och ge förhöjd grundvattenomsättning på förvarsnivån, om isavsmältning leder till låga effektivspänningar på stort djup i berget och stora rörelser i berggrunden. Det bedöms att huvuddelen av arbetet är avslutat till 1992. Utvärderingen kan leda till att specifika förslag för kompletterande datainsamling upprättas.

I remisserna till FoU-program 86 pekade ett flertal remissinstanser på betydelsen av tektonisk analys. De planerade insatserna kring Lansjärv som redovisats i kapitel 4, bedömdes som föredömliga, men några remissinstanser ställde sig tveksamma till om det från dessa undersökningar var möjligt att upprätta en undersökningsmetodik för att identifiera neotektoniska fenomen även inom andra områden som inte uppvisar så tydliga spår som i Lansjärv.

Flera remissinstanser pekade även på betydelsen att förstå de storskaliga strukturerna i ett regionalt sammanhang.

SKB bedömer det lämpligt att genomföra en fördjupad tektonisk analys i det regionala område som omger det planerade underjordiska berglaboratoriet vid Äspö. Genom de tidigare regionala och lokala undersökningarna finns ett högvärdigt datamaterial att utgå ifrån. På samma sätt som för Lansjärvundersökningarna är det angeläget att beskriva förekomsten av eventuellt yngre sprickbildningar, att beskriva pågående processer i området, att klargöra förekomsten av pågående rörelser och att lokalisera potentiella rörelsezon. Det bedöms värdefullt att understödja den tektoniska förståelsen med numerisk modellering.

Undersökningarna vid Lansjärv har i stort genomförts enligt den plan som gavs i FoU-program 86. De föreliggande resultaten motiverar emellertid vissa kompletterande fältarbeten under 1990/91 innan en slutredovisning kan göras.

Med hänsyn till att Lansjärvprojektet ännu inte är fullständigt avslutat, har det bedömts riktigt att genomföra planeringen av insatserna för den fördjupade tektoniska analysen under 1990, så att ett väl samlat och målinriktat projekt kan påbörjas under 1991. I ett sådant projekt är det även lämpligt att utforma riktlinjer för hur ett förvar ska utformas mht tänkbara framtida rörelser.

Effekter av jordskalv kommer att studeras ytterligare med utnyttjande av bl a erfarenheter från andra länder där större jordskalv är vanliga.

5.3.6 Metod- och instrumentutveckling

Arbetet inom detta område har som framgått av tidigare avsnitt främst varit knutet till ytundersökningar och borrhålsundersökningar. Verksamheten under de

kommande åren kommer främst att vara knuten till det underjordiska berglaboratoriet och till de kommande detaljerade platsundersökningar. Tonvikten ligger där på metoder och utrustningar som är lämpliga för undersökningar från schakt och tunnlar samt på instrument för långtidsobservationer. En fortsatt utveckling av metoder för spår försök förutses inom ramen för projekten i Stripa, Finnsjön och vid berglaboratoriet. Inom Stripa-projektet genomförs planerad utveckling av radarteknik och seismisk teknik i enstaka borrhål och mellan borrhål.

5.3.7 Underjordiskt berglaboratorium

Projektet indelas i tre skeden — förundersöknings-, byggnads- och driftsskedet — som beskrivs översiktligt nedan.

Förundersökningsskedet omfattar lokalisering av berglaboratoriet och beskrivning av de naturliga förhållanden i berggrunden. Arbetena bedrivs i tre etapper — lokalisering, platsbeskrivning och prediktion — varav två etapper har genomförts och rapporterats och den sista pågår (sept 1989). Parallellt med förundersökningarna sker planering för projektets byggnads- och driftskede. Förundersökningsskedet avslutas 1990.

Under byggnadsskedet 1990-1994 genomförs flera undersökningar och försök parallellt med byggnadsverksamheten. Utbyggnaden av laboratoriet planeras ske i två etapper. Den första etappen innebär tunneldrivning till ca 350 m djup. Efter denna etapp lämnas möjlighet, upp till sex månader, att göra en sammanfattande utvärdering innan tunneldrivningen i den andra etappen fortsätter till 500 m nivån. Under avslutningen av den andra etappen karakteriseras några av de försöksplatser som kommer att användas under driftsskedet och dessa byggs ut.

Undersökningarna i byggnadsskedet ger underlag för validering av de förväntningsmodeller som upprättas under förundersökningsskedet. Vidare erhålls data för att stegvis förbättra tidigare utförda prediktioner. Undersökningarna genomförs dels längs nedfartstunnelns ytor, dels i borrhål från markytan och från tunneln.

Det är väsentligt att detaljeringsgraden av undersökningarna under byggnadsskedet ökas efterhand eftersom egenskaperna hos berggrunden närmast deponeringshål och deponeringstunnlar har relativt sett störst betydelse för säkerheten av ett slutförvar. För undersökningar som sker på den kommande huvudnivån, ca 500 m under markytan, blir undersökningarna mer detaljerade än i början av tunneldrivningen.

Om senare undersökningar inom ramen för det allmänna forskningsprogrammet skulle visa att slutförvaret bör förläggas djupare än ca 500 m så kan utbyggnad av berglaboratoriet till större djup bli aktuell.

Driftsskedet inleds 1994. I nuläget är det endast möjligt att ange inriktningen på de undersökningar och försök som planeras för driftsskedet. Utformning och utförande av försöken under driftsskedet kommer att påverkas av resultat från andra projekt och av utfallet av byggnadsskedet. Planeringen inriktas mot att genomföra bl a följande föreslagna försök:

— storskaliga spår försök,

- blockskaliga spår försök,
- radionuklidmigration,
- blockskaliga redoxförsök,
- metodik för förvarssystem,
- pilotförsök-förvarssystem.

De storskaliga spår försöken syftar till att karakterisera transport i fjärrzonen och ge underlag för validering av modeller för fjärrzonstransport.

Blockskaliga spår försök sker i en mellanskala. Situationen i ett slutförvar med kapslar deponerade i berg med låg hydraulisk konduktivitet och med respektavstånd till närmast större vattenförande zon kommer att efterliknas. Resultaten kommer att utvärderas och användas för att validera transportmodeller i blockskala dvs över avstånd i skalan 10—100 m.

Radionuklidmigration genomförs för att bl a pröva upplösning och migration av radionuklider i realistisk miljö. Tidigare undersökningar har visat att löslighet, sorption på sprickytor och diffusion in i bergmatrisen minskar spridningen av radionuklider i berggrunden. De data och de modeller som beskriver radionuklidernas kemiska egenskaper i den naturliga berggrundsmiljön baserar sig dock i huvudsak på laboratorie försök.

Blockskaliga redoxförsök genomförs för att visa att bergets redoxkapacitet är tillräcklig i flödesvägarna. Reducerande förhållanden på förvarsdjup är ett nödvändigt krav för kapselns långa livslängd. Det grundvatten som provtagits vid olika tillfällen och på olika platser inom typområdesundersökningarna är alltid reducerande och bevisar därmed bergets reducerande egenskaper. Kinetiken i redoxreaktionerna mellan berggrundens mineral och grundvattnet behöver dock belysas ytterligare.

Metoder för förvarssystem syftar till att demonstrera hur utbyggnad av ett förvar ska ske. Undersökningens delmål är att:

- utveckla strategi för karakterisering av närområdet,
- demonstrera i en lämpligt vald bergvolym hur karakteriseringen genomförs,
- visa på att flexibilitet kan uppnås i ett förvarssystem, dvs anpassning av deponeringstunnlar och deponeringshål till bergets egenskaper.

Pilotförsök-förvarssystem är en serie pilot- och demonstrationsförsök som genomförs efter det att huvudprinciperna för förvarssystem utformning och -system fastlagts i mitten av 90-talet. Målet är att genom klarläggande av samverkan mellan berg och slutgiltigt valda buffertar, under förhållanden som råder i deponeringsanläggningar, validera modellerna och demonstrera funktionen. Vidare är syftet att utveckla och pröva metoder och strategier för deras anbringande.

Programmet för berglaboratoriet beskrivs utförligt i en separat underlagsrapport till detta program.

5.3.8 Kemi

Grundvattenkemi

Forskningsarbetet under programperioden kommer huvudsakligen att vara knutet till arbetena vid berglaboratoriet. Under senare delen kommer även under-

sökningar på föreslagna lokaliseringsplatser att ingå. Viktiga undersökningsobjekt är bl a:

- identifiering av olika typer av salta grundvatten,
- redoxbuffertkapacitet hos berget,
- isotopstudier i vatten och sprickmineral,
- sprickmineralundersökningar,
- geokemiska modellberäkningar,
- analys av lösta gaser,
- analys av grundvatten i täta partier av berget.

Radionuklidkemi

Undersökningarna fortsätter enligt tidigare riktlinjer dvs tyngdpunkten är lagd på radionuklidretentionen i förvaret och omgivande berg och de kemiska förhållanden som styr detta. Följande objekt är viktiga och ingår i pågående eller planerad verksamhet.

- Sammanställning av termodynamiska data och komplettering med framförallt fosfater.
- Kinetiska försök med teknetium.
- Modell för medfällning med järnhydroxider och kalcit.
- Demonstration av naturlig reduktion.
- Modell för upptag och mobilitet av radionuklider på kolloider och i organiska komplex.
- Mikrobers inverkan på retention.
- Betydelsen av flernuklidblandning, hög salthalt och högt förhållande berg/vatten på sorption.
- Teoretisk modell för sorption på och diffusion i bergmineral.
- En utredning om möjligheterna att tillsätta "getters" till återfyllnaden.
- Sammanställning av utförda försök med sorption och diffusion i betong.
- Genomgång av radiolysmodellen.

Kemisk transport och validering av transportmodeller.

Utveckling och tillämpning av transportmodeller är inriktat mot säkerhetsanalysen för SKB 91. Validering av modeller för frigörelse, transport och kvarhållning av radionuklider sker genom tillämpning av modeller på egna och andras simulerande laboratorieförsök, in situ spårförsök och resultat från studier av naturliga analogier. Följande objekt är av betydelse:

- Utveckling av transportmodeller som inkluderar kanalbildningsfenomenet.
- Utveckling av kopplade modeller geokemi-transport.
- Genomförande och utvärdering av laboratorieförsök beträffande radionuklidtransport i enskild spricka.
- Genomförande och utvärdering av spårförsök.
- Utvärdering av olika analogiundersökningar, främst Poços de Caldas analogin.

Beträffande spårförsök så utvärderas för närvarande resultat från försöken i Stripa, Finnsjön och Hylte. Ytterligare spårförsök planeras i Finnsjön och i berglaboratoriet.

5.3.9 Naturliga analogier

Till och med mars 1990 kommer forskningsarbetet att vara koncentrerat till Poços de Caldas projektet. Utvärderingen sker delvis inom projektet och delvis utanför på sätt som överenskommit med medlemmarna i projektet. Ett deltagande i Cigar Lake projektet diskuteras för närvarande med AECL i Kanada.

Utvärdering och tillämpning av resultaten från naturliga analogistudier är inte på något vis begränsad till projekt där SKB är eller kan tänkas bli mera direkt engagerat. Genom aktivt deltagande i internationella samarbetsprojekt t ex INTRAVAL och CHEMVAL, genom bilateralt utbyte och genom medverkan i National Analogue Working Group, NAWG (ett EG-initiativ) samlas även erfarenheter från andra liknande undersökningar.

5.3.10 Biosfärsstudier

Biosfärsstudierna syftar till att vidareutveckla modeller som beskriver hur radioaktiva ämnen sprider sig i biosfären och hur de kan nå människan.

Studiet av transportvägarna i biosfären fortsätter både för att närmare kartlägga hur radioaktiva ämnen når biosfären via utströmningsområden i lågpunkter, och för att utnyttja Tjernobylnedfallet som ett storskaligt spårförsök i två typområden. Migrationen av olika ämnen i jord och biomassa samt ytliga delar av berget och grundvattnet kommer att modelleras. Utökade insatser kan komma att bli aktuella för att fastlägga sedimentens roll som slutgiltig sänka för radionukliderna.

SKBs stöd för insatserna att validera biosfärsmodeller via det internationella samarbetet i BIOMOVS kommer att fortsätta.

I anslutning till berglaboratoriet kommer omgivande lokala ekosystemet att kartläggas på ett sätt som motsvarar de studier som behöver göras för ett slutförvarsläge. Förekomst av naturliga radionuklider i ytliga vatten, jordarter och utströmningsområden kommer att mätas dels för att dokumentera de ostörda förhållandena kring berglaboratoriet, dels för att vidareutveckla dataunderlag och pröva mätmetodik.

I anslutning till definitionen av scenarier till SKB 91 kommer vissa diskussioner om biosfärens föränderlighet att dokumenteras.

5.3.11 Internationellt samarbete

Internationellt pågår en mycket omfattande verksamhet i form av experiment, modellutveckling, platsundersökningar, datasammanställningar mm inom kärnavfallsområdet. Arbetet sker i stor utsträckning i internationell samverkan. Övergripande internationellt samarbete sker inom FN:s atomenergiorgan IAEA och inom OECDs kärnenergiorgan NEA. Dessutom finns samarbetsavtal mellan de länder som aktivt utför forskning och utveckling inom området.

SKBs samarbetsavtal med utländska organisationer

Sverige har genom SKB formella samarbetsavtal med följande organisationer i andra länder:

- USA — US DOE (Department of Energy),
- Kanada — AECL (Atomic Energy of Canada Ltd),
- Schweiz — NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver Abfälle),
- Frankrike — CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique),
- EG — EURATOM,
- Finland — TVO och IVO,
- Sovjet — SCUAE (State Committee on the Utilization of Atomic Energy),
- Japan — JNFI (Japan Nuclear Fuel Industries Company, Inc).

Informationsutbyte utan formella avtal finns dessutom med Västtyskland, Belgien, Storbritannien samt de övriga nordiska länderna.

Med ca 1 års intervaller sker allmänna genomgångar av parternas avfallsprogram och verksamhetsplanering inom avtalens ram. Dessutom anordnas gemensamma seminarier och arbetsmöten för specialister inom olika forskningsområden. Genom avtalen ges ökade möjligheter för forskare inom kärnavfallsområdet att utbyta aktuell information.

Samarbete inom IAEA

En rådgivande expertgrupp (the International Waste Management Advisory Committee, INWAG) har nyligen tillsatts. Denna grupp arrangerar möjligheter för informationsutbyte inom olika specialområden genom sk Joint Research Programs. SKB har en observatör i denna expertgrupp.

De rapporter IAEA publicerar utgörs av proceedings från internationella symposier, lägesrapporter och metodikbeskrivningar inom viktiga områden under snabb utveckling samt guidelines och standards inom etablerade verksamhetsområden. Dessutom publiceras årligen en katalog över pågående forskningsprojekt i medlemsländerna.

Samarbete inom OECD Nuclear Energy Agency

Ett av OECD/NEAs huvudområden för samarbete är det radioaktiva avfallens hantering i medlemsländerna. Frågan handläggs av Radioactive Waste Management Committee (RWMC) där SKB finns representerat. Samarbetet bedrivs genom att internationella projekt genomförs och att arbetsgrupper bildas för att underlätta informationsutbytet. SKB deltar i följande grupper och projekt:

- PAAG — Performance Assessment Advisory Group,
- ISAG' Advisory Group on In Situ Research and Investigations,
- PSAC — Probabilistic Safety Assessment Code Users Group,
- Cooperative Program for the Exchange of Scientific and Technical Information Concerning Nuclear Installations Decommissioning Projects,
- Expert Group on Geochemical Modelling and Data,

- Stripa-projektet,
- TDB - Thermochemical Data Base.

Övriga internationella projekt

Internationella jämförelser av olika beräkningsprogram för grundvattenströmning genomförs i projektet HYDROCOIN. Detta projekt leds av SKI och SKB har genomfört beräkningar på tre av de sju testfall som ingår i projektet.

För validering av beräkningsmodeller för radionuklidtransport i geosfären har SKI initierat ett nytt projekt kallat INTRAVAL. Fem av de sammanlagt fjorton testfallen är SKB-anknutna.

Inom området korrosion av använt bränsle har på SKBs initiativ genomförts ett antal "Spent Fuel Workshops". Eftersom det experimentella forskningsarbetet inom detta område är både kostsamt och tidsödande är det viktigt att det finns möjligheter att på ett informellt sätt utbyta resultat och erfarenheter.

5.4 PROGRAMMETS GENOMFÖRANDE

Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, har av sina ägare de svenska kärnkraftföretagen givits uppdraget att utveckla, planera, bygga och driva anläggningar och system för hantering och lagring av radioaktivt avfall från de svenska kärnkraftverken. Inom ramen för detta uppdrag kommer SKB även att svara för den forskning och utveckling som redovisas i detta program.

SKB är organiserat på två huvudenheter:

- Forskning och utveckling (FoU).
- System och anläggningar (SoA).

Dessutom finns stabsenheter för information och för ekonomi och administration. En särskild grupp svarar för samordning av konsulttjänster till utländska kunder.

Huvudansvaret för FoU-programmets genomförande ligger inom SKB på FoU-enheten. Frågor rörande rivning av kärntekniska anläggningar handläggs inom SoA. FoU-enheten har fyra en chef och fjorton akademiskt utbildade specialister varav fem i huvudsak är inriktade på säkerhetsanalys. Därutöver har en projektledare för berglaboratoriet inlånats från SoA.

För att FoU-verksamheten skall bli effektiv krävs det definierade mål och avgränsade ramar. Samtidigt måste det finnas en sådan flexibilitet i planeringen att programmet fortlöpande kan anpassas till de resultat som uppnås såväl inom den egna verksamheten som internationellt. Detta innebär att SKB också har ansvar för att successivt anpassa programmet till kunskapsläget vid olika tidpunkter.

Insatserna kommer att genomföras främst genom uppdrag till universitet, högskolor, forskningsinstitutioner, industrier, ingenjörbyråer, konsulter och andra svenska eller utländska grupper med erforderlig kompetens. Fyra är ca 250 personer utanför SKB engagerade i det pågående programmets genomförande. Uppgiften för SKBs egen personal är i första hand att pla-

nera, initiera och koordinera arbetet samt att sammanställa och dokumentera resultat och att svara för tillämpningarna. En viktig uppgift är också att följa utvecklingen nationellt och internationellt inom relevanta forskningsområden. Detta är en förutsättning för att styra uppdragen och arbetet så att lämpliga och effektiva kontaktnät skapas och vidmakthålles.

Större mer omfattande arbeten som berör flera forskningsområden organiseras som separata projekt med en egen projektledare och egen projektorganisation. Exempel är Stripa-projektet, berglaboratoriet och Poços de Caldas-projektet.

Inom vissa specialistområden finns särskilda referensgrupper med specialister från SKB, industrin, universitet, konsulter och andra organ. I dessa grupper redovisas och prövas regelbundet mål, inriktning, innehåll och resultat från FoU-arbetet. Prövningen ger underlag för fortlöpande revision och prioritering av planer och objekt.

Ett mål för FoU-programmet är att ta fram underlag före en platsspecifik lokaliseringsansökan till ett par år efter 2000. Detta kräver bl a analys och utvärdering av olika alternativ avseende utformning och lokalisering av slutförvaret. För att få en riktig avvägning av FoU-arbetet på olika alternativ organiseras samfunktionsanalysgrupper med representanter för berörda områden. Grupperna definierar de analyser som skall göras och de modeller som kan användas. De utvärderar ock-

så resultaten och deras relevans med hänsyn till osäkerheter i data och modeller. I utvärderingarna spelar säkerhet, kostnadsbedömningar, teknisk genomförbarhet, utvecklingspotential och utvecklingsbehov en framträdande roll.

För att vetenskapligt pröva och diskutera forskningsresultaten kommer, liksom tidigare, erhållna resultat att ges en omfattande internationell spridning. Detta sker genom publicering i egna tekniska rapporter och i vetenskapliga tidskrifter, genom deltagande i konferenser och genom en öppen och omfattande kontaktverksamhet. En årlig sammanfattande redovisning lämnas i SKB Annual Report.

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

SKB strävar efter en stor öppenhet och möjlighet till insyn i sin verksamhet. Detta gäller i synnerhet forskningsarbetet. Kraven från samhället och från allmänheten på information i avfallsfrågor är stora. I syfte att möta dessa krav håller SKB på att öka sina resurser att utöver normal teknisk redovisning ge en lättillgänglig information till intresserade. SKB informerar fortlöpande om planer, pågående arbeten och resultat från den verksamhet som föranleds av forskningsprogrammet.

6 RIVNING AV KÄRNKRAFTVERK

6.1 BAKGRUND

När ett kärnkraftverk tas ur drift är delar av det radioaktivt nedsmutsat. Detta innebär att rivningen måste genomföras på ett kontrollerat sätt med vederbörlig hänsyn till behov av strålskyddsåtgärder utöver konventionellt arbetarskydd. Vidare behöver vissa delar av rivningsavfallet tas om hand och slutdeponeras som radioaktivt avfall, se avsnitt 2.2.4.

Ett flertal mindre forskningsreaktorer och några små kärnkraftverk har redan rivits på flera håll i världen. Nu pågår rivningen av några halvstora kärnkraftverk, t ex i Japan, USA, Västtyskland och Storbritannien. Några fullstora verk har ännu inte tagits ur drift och rivits.

Erfarenheterna av rivning i Sverige är begränsade till rivningen av forskningsreaktorn RI i Stockholm och några mindre anläggningar i Studsvik.

De genomförda rivningarna och ett flertal studier visar att metoderna för att riva kärnkraftverken är tillgängliga idag. Huvuddelen av den utrustning, som behövs finns redan tillgänglig och används rutinmässigt vid underhåll och ombyggnadsarbeten på de svenska kärnkraftverken. Endast för rivning av reaktortanken och dess interna delar, samt för rivning av betongskyddet närmast reaktortanken behövs metoder som ännu ej använts i Sverige. Erfarenheter från användning av sådana metoder erhålles vid de ovan nämnda pågående rivningsprojekten. Svensk kraftindustri har god insyn i dessa projekt genom ett samarbetsprogram som organiserats i OECD/NEAs regi och där SKB sköter sekretariat och programkoordinering.

6.2 MÅL OCH ÖVERSIKTLIG PLAN

Målet för nedläggningsarbetet efter att ett kärnkraftverk har tagits ur drift är att området efter viss tid skall återställas så att det kan användas utan radiologiska begränsningar. Detta skall genomföras på ett sådant sätt att vare sig den personal som är sysselsatt med nedläggnings- och rivningsarbetet eller allmänheten utsätts för onödig bestrålning. Nedläggningsarbetet kommer att ske i flera steg. IAEA har definierat tre stadier i nedläggningsarbetet /6-1/, vilka definieras av anläggningens fysiska status.

I **stadium 1** har bränsle och vätskor avlägsnats från reaktorn och manöversystemen bortkopplats. Tillträdet till anläggningen begränsas och anläggningen övervakas och inspekteras periodiskt.

I **stadium 2** har huvuddelen av de komponenter som innehåller radioaktiva ämnen koncentrerats till en begränsad volym, som försluts. Det behövs mindre övervakning än vid stadium 1, men det är önskvärt med fortsatt periodisk inspektion.

I **stadium 3** har allt radioaktivt material (över friklassningsgränsen) avlägsnats och området friklassats. Stadium 3 kallas ibland green field.

Det är inte nödvändigt att nedläggningen sker stegvis genom de tre stadierna. Stadium 2 tillämpas i första hand om man avser att senarelägga rivningen i förhållande till sluttidpunkten för drift. Man talar ofta om 30 till 100 års senareläggning. Ifall rivningsarbetet avses påbörjas inom några år efter avslutad drift är det naturligt att gå direkt via stadium 1 till stadium 3.

Vilken tidplan som kommer att användas för de svenska kärnkraftverken har ännu inte bestämts. Ett flertal olika faktorer kommer att påverka detta beslut. De viktigaste är vilken annan verksamhet som planeras på platsen samt tillgången på personal med god anläggningserfarenhet. Även strålskyddsaspekter och inte minst allmänna politiska aspekter kan också komma att påverka beslutet.

Tillvägagångssättet för att riva de svenska kärnkraftverken har beskrivits i en rapport från SKB, "Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk" /6-2/. I denna rapport visas att en rivning kan inledas ca ett år efter att det sista reaktorblocket har stängts av vid ett kärnkraftverk. Som ett alternativ visas även att det är möjligt att lägga anläggningen i malpåse under 30—50 år innan det egentliga rivningsarbetet inleds. Den tidiga rivningen förordas med hänsyn främst till tillgången på personal med anläggningserfarenhet. Vid en senarelagd rivning erhålles en lägre strålningsnivå, vilket ger vissa förenklingar av rivningsarbetet.

Denna planering påverkas ej av riksdagens beslut i juni 1988 om riktlinjer för inledningen av kärnkraftavvecklingen, se avsnitt 6.3.1.

När rivningsarbetena skall genomföras kommer det att vara rationellt att ha en gemensam planering för hela landet. Härigenom erhålles fördelar i form av rationell utnyttning av specialutrustning och specialutbildad personal, samt goda möjligheter till erfarenhetsåterföring.

Utgångspunkten för planeringen av den framtida rivningen och av behovet av FoU-insatser är således att ingen rivning kommer att påbörjas förrän tidigast år 2010. Beroende på vilken framtida användning som planeras för kraftverksläget, t ex ifall området kommer att användas för annan kraftproduktion, kan det även finnas motiv för att starta själva rivningsarbetet senare.

6.3 PÅGÅENDE ARBETE

6.3.1 Sverige

Huvuddelen av den teknik som behövs för den framtida rivningen av kärnkraftverken finns som nämnts

redan tillgänglig och används rutinmässigt vid underhålls-, reparations- och ombyggnadsarbeten på kärnkraftverken. Specialutrustning behöver endast tas fram för demontering av reaktortanken och för rivning av kraftiga betongkonstruktioner. Stora arbetsinsatser läggs ned inom dessa områden utomlands, och det är av stor vikt att en uppföljning sker. Däremot är det inte nu motiverat med speciella insatser i Sverige.

En uppföljning av reparations- och ombyggnadsarbeten sker på varje kärnkraftverk. För vissa större projekt är det av intresse att göra separata studier av vilka erfarenheter man kan dra för den kommande rivningen. Ett exempel på detta är det nyligen avslutade ånggeneratorbytet i Ringhals 2.

En studie har nyligen genomförts för att bedöma hur riksdagens beslut 1988 om riktlinjer för inledning av kärnkraftavvecklingen påverkar planeringen för rivning /6-3/. De två reaktorer som kan bli aktuella för en förtida avveckling, 1995/96, en i Barsebäck och en i Ringhals, är båda sammanbyggda med en annan reaktor som kommer att fortsätta att vara i drift. Av säkerhetsskäl är det därför klart olämpligt att påbörja rivningen av dem innan de övriga reaktorerna har tagits ur drift.

Planeringen av FoU-insatserna inom rivningsområdet utgår därför från att större rivningsarbeten inte kommer att påbörjas förrän tidigast efter år 2010.

De genomförda studierna visar dock på några områden som motiverar utvecklingsinsatser redan nu. Det gäller främst möjligheten att ta ut, transportera och deponera reaktortanken hel. En studie av detta pågår.

6.3.2 Andra länder

De viktigaste arbetena inom rivningsområdet görs i samband med verkliga nedläggningsprojekt för reaktorer och andra kärntekniska anläggningar, som har tagits ur drift. Hittills har ett 20-tal reaktorer totalavvecklats till stadium 3, dvs de har demonterats och de radioaktiva komponenterna har transporterats bort. Härtill kommer ett större antal anläggningar som har tagits ur drift och överförs till stadium 1 eller 2. De flesta nedläggningsprojekt har berört försöksreaktorer eller små kraftreaktorer. Det är först under de senaste åren som även en del halvstora reaktorer (<250 MW_e) har tagits ur drift.

Parallellt med direkta nedläggningsprojekt sker även viss utveckling av rivningsmetoder. Oftast är den emellertid kopplad till ett visst nedläggningsprojekt. Arbetet sker till stor del på nationell bas, men främst inom EG förekommer även internationellt samarbete.

OECD/NEAs samarbetsprogram inom rivningsområdet

Inom OECD/NEA har ett särskilt program för informations- och erfarenhetsutbyte mellan pågående nedläggningsprojekt organiserats. De flesta större nedläggningsprojekt ingår i detta program. Totalt omfattar det för närvarande 14 projekt i 8 länder. En sammanställning över ingående projekt ges i Tabell 6-1. Sju av projekten syftar till fullständig rivning till stadium 3.

Inom samarbetsprogrammet sker dels ett erfaren-

Tabell 6-1. OECD/NEA samarbetsprogram inom rivningsområdet. Lista över ingående projekt.

Anläggning	Typ	Planerat slutstadium
Eurochemic, Belgien	Upparbetningsanläggning	Stadium 3
Gentilly-1, Kanada	Tungvattenreaktor, 250 MW _e	Stadium 2
NPD, Kanada	Tungvattenreaktor, CANDU, 250 MW _e	Stadium 1
Rapsodie, Frankrike	Natriumkyld snabb, reaktor, 40 MW _{th}	Stadium 2
G2, Frankrike	Gaskyld reaktor 45 MW _e	Stadium 2
AT1, Frankrike	Upparbetningsanläggning för snabbreaktorbränsle	Stadium 3
Niederaichbach, Västtyskland	Gaskyld, tungvattenmodererad, 100 MW _e	Stadium 3
Lingen, Västtyskland	BWR, 256 MW _e	Stadium 1
MZFR, Västtyskland	Tungvattenreaktor, 58 MW _e	Stadium 1
Garigliano, Italien	BWR, 160 MW _e	Stadium 1
Japan Power Demonstration Reactor (JPDR), Japan	BWR, 13 MW _e	Stadium 3
Windscale Advanced Gas Cooled Reactor, Storbritannien	AGR, 33 MW _e	Stadium 3
BNFL Coprecipitation plant, Storbritannien	MOX-bränsletillverkning	Stadium 3
Shippingport, USA	PWR, 72 MW _e	Stadium 3
West Valley Demonstration Project, USA	Upparbetningsanläggning för LWR-bränsle	Stadium 3

hetsutbyte från den dagliga verksamheten, dels mera omfattande diskussioner och informationsutbyte rörande specifika tekniska frågor. Exempel på sådana frågor som diskuterats är smältning av metalliskt avfall, mätmetoder för lågaktivt avfall, rivning av asbest, samt metodik för kostnadsberäkningar och kostnadsredovisning.

De projekt som har speciellt intresse för svenskt vidkommande är Shippingport, JPDR och Niederaichbach. I Shippingport har huvuddelen av rivningsarbetet genomförts. Bland annat har reaktortanken lyfts ut hel och transporterats med pråm till slutförvaringsplatsen.

Inom JPDR-projektet, som gäller rivning av en kokvatten-reaktor sker en omfattande utprovning och utveckling av olika rivningsmetoder. Av speciellt intresse är den planerade sönderdelningen av reaktortanken, vilken påbörjas i slutet av 1989.

Även i Niederaichbach är sönderdelningen av reaktortanken av speciellt intresse.

SKB har genom Shankar Menon, Studsvik, åtagit sig programkoordineringsfunktionen, och ges därigenom tillfälle att tekniskt följa de olika projekten.

EGs forskningsprogram

Inom EG har sedan 1979 drivits ett gemensamt forskningsprogram inom rivningsområdet. För närvarande är EGs andra femårsprogram inne i slutfasen och ett tredje program skall starta.

Hittills har studierna i första hand omfattat olika rivningsmetoder, samt frågeställningar kring aktivitetssinnehåll och avfallshantering /6-4/. Följande forskningsområden har ingått:

- långtidshållbarhet för byggnader och system,
- dekontaminering,
- rivningsmetoder,
- behandling av vissa avfall: stål, betong och grafit,
- stora avfallsbehållare,
- uppskattning av avfallsmängder.

Vidare pågår arbete med att ta fram riktlinjer för rivningsområdet.

I det kommande femårs-programmet kommer tyngdpunkten att förskjutas mot tillämpning och provning av olika rivningsmetoder under verkliga förhållanden.

En viktig erfarenhet som kan dras av det pågående programmet är att mängden metalliskt avfall som behöver tas om hand kan reduceras avsevärt, tack vare framsteg inom dekontaminerings- och smältningsområdet /6-5/.

IAEA

Inom IAEA pågår arbeten, som syftar till att dels sammanställa kunskapsläget inom olika tekniska delområden, dels ta fram rekommendationer och råd inför kommande tillståndsansökningar för rivning.

Inom IAEA finns även ett koordinerat FoU-program inom rivningsområdet. SKB deltar i detta program med studien av hantering av hel reaktortank.

Övrigt

Utöver ovan nämnda internationella samarbetsprojekt sker utvecklingsarbete inom rivningsområdet i flera länder. Av speciellt intresse är härvid det franska programmet som drivs av CEA, samt de arbeten som görs i Tyskland, t ex vid reaktorerna Grundremmingen och Kahl.

6.4 FORSKNINGSPROGRAM 1990-1995

Tidplanen för att genomföra behövligt FoU-arbete inom rivningsområdet är nära förknippad med tidplanen för rivningen av kärnkraftverken. Som framgått ovan kommer den första rivningen inte att påbörjas förrän tidigast några år efter 2010.

Några år innan den planerade rivningstidpunkten kommer en projektgrupp att organiseras för att i detalj planera rivningsarbetet. Till denna tidpunkt skall nödvändigt underlag beträffande rivningsmetoder, klassning av avfall, transportsystem mm finnas tillgängligt. Huvuddelen av de metoder som behövs finns redan tillgängliga och utnyttjas i Sverige. I samband med planeringen av rivningen kommer de att anpassas till detta arbete. För en del utrustning kommer utvecklingsinsatser behövas. Då mycket utvecklingsarbete görs utomlands är det inte motiverat att starta några separata svenska arbeten under den kommande sexårsperioden.

De genomförda studierna av rivning av svenska kärnkraftverk har visat på några områden där det är motiverat med tidiga insatser. De viktigaste är:

- studie av möjligheten att ta hand om en hel reaktortank (se ovan),
- teknik för sönderdelning av interna delar,
- teknik för rivning av biologiska skyddet,
- omhändertagande av asbestisolering,
- metoder och utrustning för aktivitetsmätning av avfallet för friklassning, eller enklare slutförvaring,
- dekontaminering för friklassning,
- volymreduktion av avfallet genom kompaktering eller smältning.

Under de närmaste åren kommer huvuddelen av insatserna att koncentreras kring möjligheten att ta hand om en hel reaktortank. För övriga områden kommer främst uppföljning av verksamheten utomlands och från driften av kärnkraftverken att ske. Mot slutet av sexårsperioden kan det bli aktuellt att bearbeta de övriga områdena mera systematiskt. I samband därmed bör även en utvärdering göras av möjligheten att göra försök i den nedlagda Ågestareaktorn.

Den uppföljande verksamheten avses som tidigare ske genom programkoordineringsfunktionen inom OECD/NEA-programmet, samt genom deltagande i IAEA-arbetet m m.

Vid två tillfällen har SKB genomfört en fullständig studie av teknik och kostnader för att riva de svenska kärnkraftverken. I dessa studier tas hänsyn till de senaste erfarenheterna av rivningsarbeten och underhållsarbeten. En ny rivningsstudie planeras bli genomförd under perioden.

Vid rivningsarbetet erhålles en stor mängd lätt kontaminerat material, vilket skulle kunna friklassas, eventuellt efter en dekontaminering. Vissa erfarenheter finns från friklassning från kärnkraftverken. Det sker idag med tillstånd från SSI för varje separat tillfälle. Innan rivningen påbörjas är det väsentligt att regler och metoder för friklassning utvecklas så att detta kan göras rutinmässigt. Av stor vikt är därvid möjligheterna att mäta låga aktivitetsnivåer.

Inför rivning av kärnkraftverken måste även slut-

förvaret för rivningsavfall, SFR 3, stå färdigt. Tiden från förprojektering till färdig anläggning har beräknats till ca 7 år, vilket innebär att detta arbete inte kommer att påbörjas förrän en bit in på 2000-talet.

För att rivningsarbetet skall kunna genomföras på ett effektivt sätt är det väsentligt att även en del administrativa frågeställningar klargörs, t ex vilken form av tillstånd behövs och vilken redovisning till myndigheterna krävs härför. Detta arbete ligger inom myndigheternas ansvarsområde.

REFERENSER DEL I

Kapitel 1

- 1-1 Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall**
Betänkande av AKA-utredningen.
SOU 1976:30 Del 1
SOU 1976—31 Del 2
SOU 1976:41 Bilaga
- 1-2 Kärnbränslecykelns slutsteg**
November 1977
Förglasat avfall från uppärbetning.
Del I-V
Kärnbränslesäkerhet, KBS, Stockholm
- 1-3 Kärnbränslecykelns slutsteg**
September 1978
Slutförvaring av använt kärnbränsle.
Del I-II
Kärnbränslesäkerhet, KBS, Stockholm
- 1-4 Lag om finansiering av framtida utgifter för**
använt kärnbränsle m m, SFS 1981:669.
- 1-5 Kärnbränslecykelns slutsteg**
Maj 1983
Använt kärnbränsle KBS-3.
Del I-IV.
SKBF/KBS, Stockholm
- 1-6 Lag om kärnteknisk verksamhet, SFS**
1984:3.
- 1-7 Kärnbränslecykelns slutsteg**
Februari 1984
Använt kärnbränsle — KBS-3.
Program för forskning och utveckling.
SKBF, Stockholm
- 1-8 Annual research and development**
Report 1984
June 1985
SKB Technical Report TR 85-01, Stockholm
- 1-9 SKB Annual Report 1985**
May 1986
SKB Technical Report TR 85-20, Stockholm
- 1-10 SKB Annual Report 1986**
Maj 1987
SKB Technical Report TR 86-31, Stockholm
- 1-11 SKB Annual Report 1987**
Maj 1988
SKB Technical Report TR 87-33, Stockholm

- 1-12 SKB Annual Report 1988**
October 1989
SKB Technical Report TR 89-32, Stockholm
(In print)

Kapitel 2

- 2-1 Samma som ref 1-5.**
- 2-2 Lönnerberg B et al.**
May 1983
Encapsulation and handling of spent nuclear fuel for final disposal.
SKB/KBS Technical Report TR 83-20, Stockholm
- 2-3 Pettersson S, Hedman T**
Dec 1985
Managing power station wastes.
Nuclear Engineering International
- 2-4 Kärnkraftens slutsteg PLAN 89**
Juni 1989
Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter
SKB, Stockholm

Kapitel 3

- 3-1 Samma som ref 2-4.**
- 3-2 SKN PLAN 87 och förslag till avgift för år**
1988
Oktober 1987
Statens Kärnbränslenämnd, Stockholm
- 3-3 Kärnkraftens slutsteg, PLAN 82**
Juni 1982
Plan för kärnkraftens radioaktiva restprodukter.
Del 1-2
SKBF, Stockholm
- 3-4 Slutförvar för reaktoravfall**
September 1987
Slutlig säkerhetsrapport.
SKB, Stockholm
- 3-5 Centralt lager för använt bränsle**
1985
Slutlig säkerhetsrapport.
SKB, Stockholm
- 3-6 Transportsystem för använt bränsle**
Mars 1982
Slutlig säkerhetsrapport.
SKBF, Stockholm

**3-7 Kärnbränslecykelns slutsteg
Maj 1983**

Använt kärnbränsle KBS-3.
Del I-IV.
SKBF/KBS, Stockholm

**3-8 Kärnkraftens slutsteg
December 1985**

Alternativa tidplaner för hantering av använt kärnbränsle. Konsekvenser för planering, säkerhet och kostnader.
SKB, Stockholm

**3-9 Kärnkraftens slutsteg
Maj 1986**

Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk.
SKB, Stockholm

**3-10 KASAM, Statens Kärnbränslenämnd:
Etik och Kärnavfall
Mars 1988**

Rapport från ett seminarium ...
SKN Rapport 28, Stockholm

**6-4 The Community's research and development programme on decommissioning of nuclear installations
1989**

Fourth annual progress report 1988, EUR 11715, Commission of the European Communities.

**6-5 Huber B
July 1989**

EC starts new research programme, Nuclear Engineering International.

Kapitel 4

4-1 Samma som ref 1-5.

4-2 Samma som ref 1-7.

**4-3 Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring
September 1986**

Alternativa slutförvaringsmetoder.
Underlagsrapport till FoU-program 86.
SKB, Stockholm

Kapitel 6

**6-1 Methodology and Technology of Decommissioning Nuclear Facilities
1986**

IAEA Technical Report Series No 267, IAEA, Vienna.

**6-2 Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk
Maj 1986**

SKB, Stockholm

**6-3 Rivning av svenska kärnkraftverk — En analys mot bakgrund av riksdagens beslut om riktlinjer för inledningen av kärnkrafts-
avvecklingen
April 1989**

SKB Arbetsrapport AR 89-07, Stockholm

BILAGA

Kort översikt över vissa legala krav på kärnkraftföretagen ifråga om kärnavfallshanteringen

Regering och riksdag har i olika sammanhang formulerat samhällets krav på ansvarstagande från kärnkraftverksägarna för hanteringen av kärnavfallet. I det följande ges ett kort sammandrag av de viktigaste bestämmelserna i lagar, förordningar m m, som har betydelse för FoU-programmet.

Lagen om kärnteknisk verksamhet (SFS 1984:3) innehåller de föreskrifter som reglerar kärnkraftverksägarnas skyldigheter med avseende på hantering och slutförvaring av radioaktivt avfall. Skyldigheterna framgår av lagens 10—12 §:

"Allmänna skyldigheter för tillståndshavare

10 § Den som har tillstånd till kärnteknisk verksamhet skall svara för att de åtgärder vidtas som behövs för

1. att med hänsyn till verksamhetens art och de förhållanden under vilka den bedrivs upprätthålla säkerheten.
2. att på ett säkert sätt hantera och slutförvara i verksamheten uppkommet kärnavfall eller däri uppkommet kärnämne som inte används på nytt, och
3. att på ett säkert sätt avveckla och riva anläggningar i vilka verksamheten inte längre skall bedrivas.

11 § Den som har tillstånd att inneha eller driva en kärnkraftsreaktor skall, utöver vad som sägs i 10 §, svara för att den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamheten bedrivs som behövs för att vad som föreskrivits i 10 § 2 och 3 skall kunna fullgöras.

12 § Den som har tillstånd att inneha eller driva en kärnkraftsreaktor skall i samråd med övriga reaktorinnehavare upprätta eller låta upprätta ett program för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som anges i 10 § 2 och 3 och 11 §. Programmet skall dels innehålla en översikt över samtliga åtgärder som kan bli behövliga, dels närmare ange de åtgärder som avses bli vidtagna inom en tidrymd om minst sex år. Programmet skall med början år 1986 vart tredje år insändas till regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer för att granskas och utvärderas."

Av 11—12 §§ framgår att forsknings- och utvecklingsverksamheten skall vara allsidig. Detta innebär dels att verksamheten måste vara heltäckande dvs avse alla led i kedjan, dels även omfatta redovisning och uppföljning av alternativa metoder. I *specialmotivering till lagen* (prop 1983/84:60) anges att syftet med bestämmelsen om allsidighet

"är att någon bindning till en viss från början bestämd hanterings- och förvaringsmetod inte skall ske förrän man fått tillräckliga kunskaper för att kunna överblicka och bedöma föreliggande säkerhets- och strålskyddsproblem. Framkommer under det fortsatta ar-

betet en ny och bättre metod bör i stället denna väljas".

I *förordning om kärnteknisk verksamhet* (SFS 1984:14) anges följande bestämmelser i 25—26 §§:

"25 § Det program som avses i 12 § lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet skall senast under september månad vart tredje år med början år 1986 insändas till nämnden för hantering av använt kärnbränsle för att granskas och utvärderas.

26 § Nämnden för hantering av använt kärnbränsle skall senast sex månader efter den tidpunkt som anges i 25 § med eget yttrande över det program som där avses överlämna handlingarna i ärendet till regeringen.

Yttrandet skall innehålla en granskning och utvärdering av programmet i fråga om

1. planerad forsknings- och utvecklingsverksamhet,
2. redovisade forskningsresultat,
3. alternativa hanterings- och förvaringsmetoder, och
4. de åtgärder som avses bli vidtagna".

Den forskningsplan som redovisas skall således även innehålla en redovisning av uppnådda resultat.

Statens syn på FoU-programmet har ytterligare utvecklats i de "*riktlinjer för 1986 års granskning av åtgärdsprogram i fråga om använt kärnbränsle m m*". som regeringen utfärdade 1985-12-12. Av dessa riktlinjer framgår bl a "Under sexårsperioden (1987-1992) torde den nu pågående etappen av berggrundsundersökningar — som alltså är av grundläggande tekniskvetenskaplig natur och inte syftar till platsval — slutföras och förberedelser göras för följande faser av fältundersökningar. Den nu pågående fasen, som hör 80-talet till, får inte innebära bindningar i fråga om metoder eller lokalisering för framtida slutförvar. Av yttrandet bör framgå vilka ytterligare berggrundsundersökningar, som avses genomföras under 1980-talet och vilka platser som berörs.

I nästa etapp, dvs i huvudsak under 1990-talet, får man räkna med att fortsatta platsundersökningar även kommer att bli underlag för det successiva urvalet av lämpliga platser för framtida slutförvar. I yttrandet över forsknings- och utvecklingsprogrammet i denna del bör ingå förslag till ett samlat program för fortsatta provborrningar och vidgade platsundersökningar, som bygger på de resultat som erhållits under nuvarande provborrningar. I granskningsyttrandet bör belysas en ändamålsenlig ordning för hur statsmakterna på grundval av vunna erfarenheter, resultat från berggrundsundersökningarna och andra delar av forsknings- och utvecklingsprogrammet, m m skall fatta beslut i platsvalsfrågor. Vidare bör förslag läggas fram om hur information på berörda orter skall ordnas och vem som bör svara för den."

Såsom framgår av texten är de nyss nämnda riktlinjerna främst ställda till Statens Kärnbränslenämnd, som skall svara för granskningen av FoU-programmet. Vid utarbetandet av detta har emellertid regeringens riktlinjer beaktats.

I regeringens beslut 1987-11-26 angående ”Program för forskning m m angående kärnkraftsavfallens behandling och förvaring” anges följande:

”Regeringen konstaterar att FoU-program 86 uppfyller de anspråk som ställs i 12 § kärntekniklagen.

Regeringen finner att forsknings- och utvecklingsarbetet i huvudsak bör bedrivas i enlighet med den inriktning och tidplan som anges i programmet. De synpunkter som kärnbränslenämnden framfört i sitt yttrande över programmet bör så långt som möjligt beaktas.

Som framgår av den upprättade promemorian finns det inte något författningsstöd för att ge kärnbränslenämnden i uppdrag att meddela föreskrifter, som innebär normgivning, rörande FoU-programmet. Däremot kan nämnden i egenskap av tillsynsmyndighet enligt kärntekniklagen och lagen (1981:669) om finansiering av framtida utgifter för använt kärnbränsle m m vidta olika åtgärder. Nämnden kan också besluta om allmänna råd.

Regeringen beslutar att FoU-program 86 läggs till handlingarna.

Regeringen vidtar ingen åtgärd med anledning av kärnbränslenämndens framställning om rätt att meddela föreskrifter.”

