
SKBF KÄRNKRAFTENS
SLUTSTEG

PLAN

82

Del 1

Plan för kärnkraftens radioaktiva restprodukter

Del 1. Allmän del
Juni 1982

Plan för kärnkraftens radioaktiva restprodukter

**Del 1. Allmän del
Juni 1982**

SKBF

POSTADRESS: SKBF, Box 5864, 102 48 Stockholm, Telefon 08-67 95 40

FÖRORD

Denna rapport utgör de svenska kärnkraftföretagens första redovisning, enligt "lag om finansiering av framtida utgifter för använt kärnbränsle m m" (1981:669), av planerna för slutligt omhändertagande av kärnkraftens radioaktiva restprodukter.

Rapporten består av två delar. I del 1 ges de allmänna förutsättningarna för verksamheten samt planerna för FoU-arbetet och erforderliga anläggningar (inklusive rivning). Kap 8 och 9 sammanfattar tidplaner respektive kostnadsbedömningar för verksamheten. I del 2 redovisas anläggningarna och kostnaderna mera i detalj.

Svensk Kärnbränsleförsörjning AB
Juni 1982

INNEHÅLLSFÖRTECKNING, DEL 1

1	<u>BAKGRUND</u>	5
	1.1 INLEDNING	5
	1.2 LAGAR OCH MYNDIGHETER	6
	1.3 ORGANISATION, ANSVARSFÖRDELNING OCH ALLMÄN MÅLSÄTTNING	7
2	<u>ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR</u>	11
	2.1 DET SVENSKA KÄRNKRAFTPROGRAMMET	11
	2.2 AVFALLSTYPER OCH MÄNGDER	13
	2.3 ALLMÄNNA PRINCIPER - MÖJLIGHETER OCH BEGRÄNSNINGAR	15
	2.3.1 Allmänt	15
	2.3.2 Nationellt oberoende	15
	2.3.3 Bördor på kommande generationer	17
	2.3.4 Hög långsiktig säkerhet	19
3	<u>ANLÄGGNINGAR</u>	21
	3.1 ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR	21
	3.2 TOTALT SYSTEM	22
	3.3 ENSKILDA ANLÄGGNINGAR	23
	3.3.1 Transportsystemet	24
	3.3.2 Centralt lager för använt bränsle, CLAB	24
	3.3.3 Centralt lager för förglasat avfall, CLG	25
	3.3.4 Centralt lager för låg- och medelaktivt (transuranhaltigt) upparbetningsavfall, CLU	25
	3.3.5 Behandlingsstation för förglasat avfall, BSG	25
	3.3.6 Behandlingsstation för använt bränsle, BSAB	26
	3.3.7 Slutförvar för drift- och rivningsavfall, SFR	26
	3.3.8 Slutförvar för långlivat avfall, SFL	28

4	<u>FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGSARBETE</u>	29
	4.1 ALLMÄNT	29
	4.2 AVFALLETS EGENSKAPER	32
	4.2.1 Högaktivt avfall	32
	4.2.2 Transuranhaltigt avfall	33
	4.2.3 Reaktoravfall	34
	4.3 NÄROMRÅDE	34
	4.3.1 Inkapsling	34
	4.3.2 Buffert och återfyllning	36
	4.3.3 Förvarsutformning	37
	4.3.4 Närområdeskemi	38
	4.4 GEOSFÄR	40
	4.4.1 Grundvattenrörelser	40
	4.4.2 Nuklidspridning	41
	4.4.3 Geologisk stabilitet	43
	4.4.4 Instrument och metoder för datainsamling	44
	4.4.5 Metoder för tätning av borrhål, tunnlar och schakt	45
	4.4.6 Platsundersökningar	46
	4.5 BIOSFÄR	48
	4.5.1 Global och regional spridning	48
	4.5.2 Platsspecifika förhållanden	49
	4.5.3 Långtidsförändringar	49
	4.5.4 Naturlig radioaktivitet	51
	4.6 METODER FÖR SÄKERHETSANALYSER	51
	4.6.1 Hantering, konditionering och transporter	51
	4.6.2 Förvaringsskedet	52
	4.7 SYSTEMUTFORMNING	52
	4.7.1 Allmänt	52
	4.7.2 Geometrisk utformning	53
	4.7.3 Temperaturer, barriärer, grundvatten	55
5	<u>RIVNING AV ANLÄGGNINGAR</u>	57
	5.1 ALLMÄNT	57
	5.2 UTLÄNDSK VERKSAMHET	57
	5.3 PLANERING	58
6	<u>ÅTERANVÄNDNING AV URAN OCH PLUTONIUM FRÅN UPPARBETNING</u>	59
	6.1 ALLMÄNT	59
	6.2 ANVÄNDNING AV URAN OCH PLUTONIUM	59
	6.3 STATUS FÖR ÅTERANVÄNDNING AV PLUTONIUM I LÄTTVATTENREAKTORER	60
	6.4 PLAN FÖR VERKSAMHETEN	60

		3
7	<u>INTERNATIONELLT SAMARBETE</u>	61
	7.1 ALLMÄNT	61
	7.2 STRIPA PROJECT	62
	7.3 JSS-PROJECT	63
8	<u>SAMMANFATTADE TIDPLANER</u>	65
9	<u>SAMMANFATTADE KOSTNADSBEDÖMNINGAR</u>	69
	9.1 FÖRUTSÄTTNINGAR	69
	9.2 BERÄKNINGARNAS GENOMFÖRANDE	70
	9.3 RESULTAT AV KOSTNADSBERÄKNINGEN	71
10	<u>EXTERN INFORMATION</u>	75

1 BAKGRUND

1.1 INLEDNING

De åtgärder som krävs för ett säkert omhändertagande av de radioaktiva restprodukterna från kärnenergiproduktionen i Sverige bekostas och samordnas idag av kärnkraftindustrin via Svensk Kärnbränsleförsörjning AB, SKBF.

Den verksamhet inom avfallsområdet som bedrevs i Sverige till i början av 70-talet begränsade sig väsentligen till hantering och lokal lagring av driftavfallet vid kraftstationerna. År 1973 breddades verksamheten genom att den statliga AKA-utredningen gavs uppdraget att studera möjligheterna till ett slutligt omhändertagande av det högaktiva avfallet från kärnkraftverken. Uppdraget kompletterades senare med att avse även låg- och medelaktivt avfall. För att fullfölja AKA-utredningens arbete organiserades år 1975 det statliga Programrådet för radioaktivt avfall, Prav. Som en följd av villkorslagen, SFS 1977:140, organiserade kraftindustrin vid årsskiftet 1976-77 det s k KBS-projektet. De formuleringar och krav som återfanns i villkorslagen och dess förarbeten bestämde arbetsinriktningen inom avfallsområdet i Sverige under resten av 70-talet.

Senare har genom finansieringslagen, SFS 1981:669, kraftföretagen givits ett mer formellt och preciserat ansvar för kärnkraftens avfall.

Denna rapport utgör SKBFs första redovisning enligt finansieringslagen, där det föreskrivs att kraftföretagen skall upprätta en plan för

- forsknings- och utvecklingsverksamheten,
- åtgärder för hantering och slutförvaring av använt bränsle och det radioaktiva avfallet från detta samt
- rivningen av reaktorläggningar

Enligt lagen skall "Planen dels innehålla en översikt över samtliga de åtgärder som kan bli behövliga, dels närmare ange de åtgärder som avses bli vidtagna inom en tidrymd om minst fem år". Dessutom anges att "Planen skall årligen ses över".

Enligt förordning SFS 1981:671 skall planen senast under juni månad varje år insändas till Nämnden för hantering av använt kärnbränsle, NAK. NAK skall senast under oktober månad varje år sända in planen till regeringen tillsammans med en egen plan över

- kompletterande FoU-verksamhet
- översikt över åtgärder för övervakning och kontroll av slutförvar
- kompletterande åtgärder för hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall som härrör från detta, samt för rivning av kärnkraftstationer.

1.2 LAGAR OCH MYNDIGHETER

Den verksamhet som avser omhändertagande av radioaktivt kärnkraftavfall regleras av nedan angivna svenska lagar. Övergripande tillstånd lämnas som regel av regeringen. Beredning av tillståndsärenden samt tillsyn av att gällande bestämmelser följs sker genom olika myndigheter.

Atomenergilagen (1956:306) anger de grundläggande villkoren för uppförande och drift av kärntechniska anläggningar. Tillsynsmyndighet är Statens Kärnkraftinspektion, SKI.

Strålskyddslagen (1958:110) innehåller bestämmelser som syftar till skydd mot joniserande strålning. Tillsynsmyndighet är Statens Strålskyddsinstitut, SSI.

Miljöskyddslagen (1969:387) innehåller bestämmelser som syftar till skydd av miljön. Tillståndsfrågor handläggs av Koncessionsnämnden för miljöskydd.

Byggnadslagen (1947:385) § 136a anger särskilda villkor för uppförande av s k miljöstörande industrialanläggningar. Bostadsdepartementet bereder ärenden och kommunen har vetorätt.

Villkorslagen (1977:140) anger bl a att innehavaren av en ny reaktor måste visa hur och var det högaktiva avfallet från reaktordriften kan slutligt och säkert tas om hand innan kärnbränsle får tillföras reaktorn. Regeringen fattar beslut efter hörande av utvalda remissinstanser.

Finansieringslagens (1981:669) anger att det tekniska och ekonomiska ansvaret för omhändertagande av radioaktivt avfall pri-

mårt ligger hos reaktorinnehavaren och att staten skall övervaka verksamheten samt säkra finansieringen av framtida åtgärder genom fonder som byggs upp med avgifter på kraftproduktionen. Övervakande och beredande myndighet under regeringen är Nämnden för hantering av använt kärnbränsle, NAK.

Atomenergilagstiftningen är för närvarande under revision och ett förslag väntas bli presenterat under 1982. Man kan i lagsystemet särskilja tre frågeställningar enligt nedan.

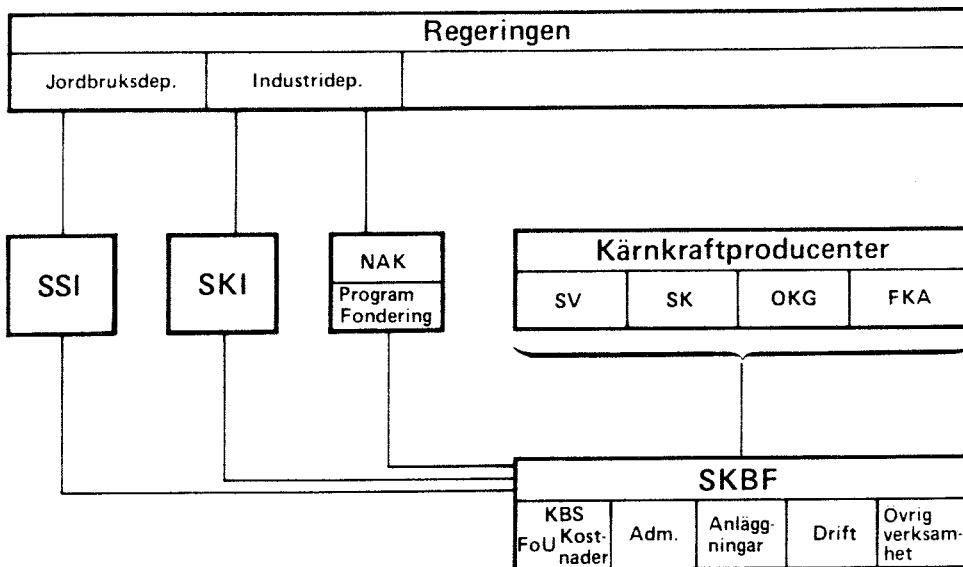
- Den första frågan - är det med dagens teknik möjligt att uppnå en säker slutförvaring i Sverige av det högaktiva radioaktiva avfallet - behandlas av villkorlagen. Där krävs att en reaktorinnehavare, innan en ny reaktor tillförs kärnbränsle, till regeringen redovisar hur och var högaktivt avfall eller använt bränsle slutligt kan förvaras på ett säkert sätt. Lagen avser sålunda inte att det nu skall fastställas hur och var slutförvaringen skall ske. Villkorlagen ställer inga krav med avseende på hanterings- eller slutförvaringens ekonomi.

Villkorlagen trädde i kraft år 1977 och dess bestämmelser äger tillämpning endast på reaktorer, som första gången tillförts eller kommer att tillföras kärnbränsle efter lagens tillkomst. Reactorer, som tagits i drift tidigare berörs således ej.

- Den andra frågan gäller att ta fram underlag och planer för hur och när de olika leden i ett slutligt omhändertagande av det radioaktiva avfallet och rivningen av kärnkraftverken skall förverkligas och hur åtgärderna skall finansieras. Denna verksamhet styrs av finansieringslagen, som även föreskriver att särskilda statliga fonder skall byggas upp för att inte framtida ekonomiska bördor skall läggas på dem som ej drar nytta av dagens kärnkraftproduktion. Finansieringslagen behandlar endast hantering av använt kärnbränsle och avfall som härrör från detta, men däremot inte sådant låg- och medelaktivt avfall, som kontinuerligt uppkommer vid kärnkraftverkens drift. För omhändertagande av sådant avfall kommer kärnkraftföretagen att själva avsätta erforderliga medel.
- Den tredje frågan gäller att åtgärderna för avfallets omhändertagande i detalj skall bli genomförda på sådant sätt att säkerheten tillgodoses på ett acceptabelt sätt. Hithörande frågor regleras i atomenergi- och strålskyddslagarna.

1.3 ORGANISATION, ANSVARFÖRDELNING OCH ALLMÄN MÅLSÄTTNING

Den svenska avfallsverksamheten är i stort organiserad enligt figur 1-1.



Figur 1-1. Huvuddragen i den svenska organisationen för omhändertagande av radioaktivt kärnkraftavfall

Såsom även förutses i förarbetena till finansieringslagen har de svenska kärnkraftföretagen uppdragit åt det gemensamt ägda, Svensk Kärnbränsleförsörjning AB, SKBF, att för deras räkning genomföra de utredningar och åtgärder, som krävs för ett säkert omhändertagande av kärnkraftens radioaktiva avfall. Inom SKBF sker handläggning av hithörande frågor enligt följande:

- 1 Avdelningen för Kärnkraftavfallets Behandling och Slutförvaring, KBS, svarar för forsknings- och utvecklingsarbete, förprojektering av anläggningar samt framtagning av kostnadsuppgifter.
- 2 Administrativa avdelningen svarar för ekonomisk uppföljning av upparbetningsavtal samt ekonomisk bearbetning av beräknade framtida kostnader för avfallsanläggningar.
- 3 För uppförande av anläggningar organiseras särskilda projektgrupper i samarbete med SKBFs delägare.
- 4 Innan anläggningarna tas i drift kommer driftorganisationer att etableras i samarbete med SKBFs delägare.

Allt arbete bedrivs i nära samverkan med SKBFs delägare, som finns representerade i olika samarbetsgrupper.

För genomförandet av olika uppgifter anlitar SKBF ett stort antal konsulter och specialister inom olika delområden. SKBFs egen personal har till främsta uppgift att initiera, planera och samordna arbetet, att sammanställa och dokumentera resultaten samt att svara för den praktiska tillämpningen.

Inom sektorn forsknings- och utvecklingsarbete är det SKBFs avsikt att täcka in alla de områden som kan vara av betydelse för val av hanterings- och förvaringsmetoder, för utvärdering av deras säkerhet samt för anskaffning och drift av erforderliga system och anläggningar. Som framgår av andra avsnitt i denna rapport är det inte möjligt att samtidigt bedriva en omfattande verksamhet inom hela fältet utan en viss prioritetsordning måste tillämpas. Detta, liksom en allmän flexibilitet i planeringen, motiveras särskilt av det mycket omfattande arbete som pågår internationellt och som kan förutses leda till resultat, som bör beaktas i det fortsatta svenska programmet. Hittills har hög prioritet givits dels åt studier av långtidsfunktionen hos slutförvar, dels åt projektering och anskaffning av anläggningar som behövs i ett tidigt skede (CLAB, transportsystem, SFR).

2 ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR

2.1 DET SVENSKA KÄRNKRAFTPROGRAMMET

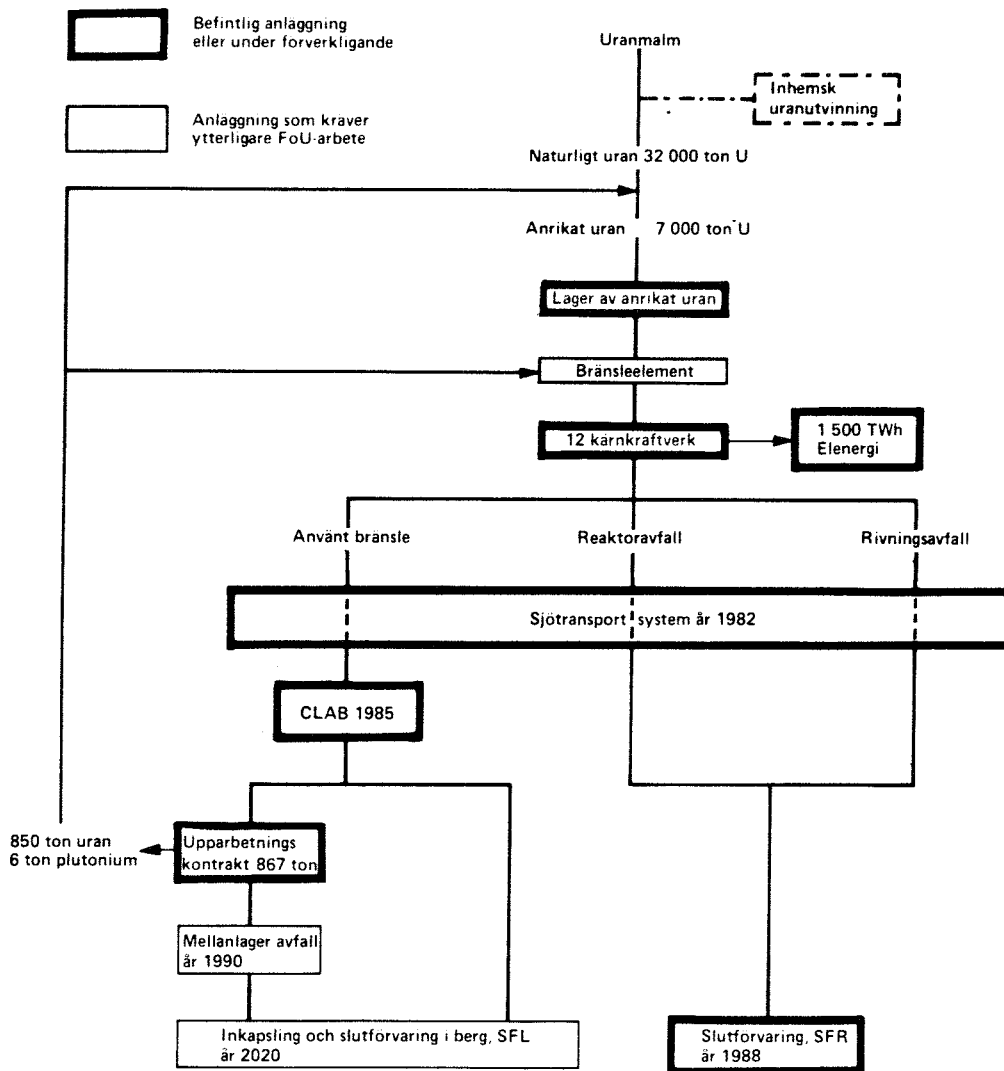
Det svenska kärnkraftsprogrammet omfattar idag 12 reaktorer varav 9 är i drift, 1 är under driftsättning och 2 är under byggnad.

Tabell 2:1 Svenska reaktorer.

Reaktor	Typ	Effekt	Kommersiell drift
Oskarshamn 1	BWR	440 MW	1972
Oskarshamn 2	BWR	570 MW	1974
Oskarshamn 3	BWR	1050 MW	(1986)
Barsebäck 1	BWR	570 MW	1975
Barsebäck 2	BWR	570 MW	1977
Ringhals 1	BWR	760 MW	1976
Ringhals 2	PWR	820 MW	1975
Ringhals 3	PWR	900 MW	1981
Ringhals 4	PWR	900 MW	1983
Forsmark 1	BWR	900 MW	1980
Forsmark 2	BWR	900 MW	1981
Forsmark 3	BWR	1050 MW	(1985)

Det förutses här att inga kärnkraftreaktorer är i drift efter år 2010 och att reaktorerna därefter skall rivas. Det har tills vidare schablonmässigt antagits att rivningen påbörjas ca fem år efter avställning och är avslutad ca år 2025.

Av de nu driftsatta reaktorerna har B2, R3 och F1 drifttillstånd till 1990, för R4 och F2 är drifttillståndet begränsat till 1986. Samtliga dessa reaktorer har tillförts kärnbränsle efter tillstånd enligt villkorslagen och tidsbegränsningarna är knutna till de bränslemängder som omfattas av ingångna avtal om uppärbetning.

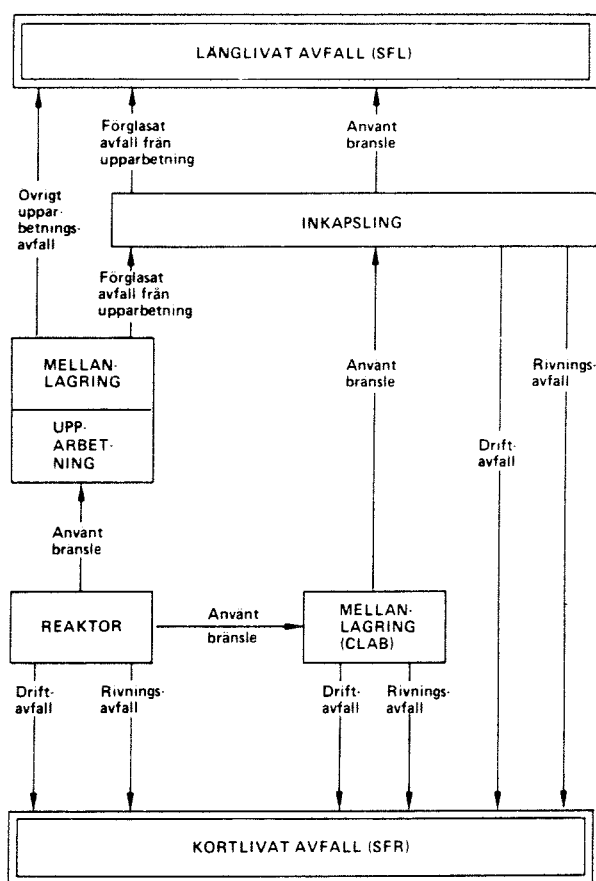


Figur 2-1. Det svenska kärnkraftsystemet

Ur de enligt villkorslagen godkända avtalen för upparbetning kan följande tidpunkter härledas. Använt bränsle avses börja transporteras till upparbetningsanläggningen 1982. Förutom separerat uran och plutonium förutses det vid upparbetningsprocessen bildade avfallet komma att återsändas till ursprungslandet. Detta sker tidigast 1990.

För mellanlagring av använt kärnbränsle är ett centralt lager (CLAB) under uppförande vid Oskarshamns kraftstation. Anläggningen skall tas i drift 1985 med en lagringskapacitet motsvarande 3 000 ton uran. En vidare utbyggnad planeras ske under 1990-talet.

Reaktorerna F3 och O3 är under uppförande med driftsättning planerad till 1984 resp 1985. För laddning erfordras tillstånd enligt villkorslagen. Ansökan kommer att baseras på en redovisning av hur och var en helt säker slutförvaring av använt kärnbränsle utan upparbetning kan ske. Dessa ansökningar planeras bli inlämnade första halvåret 1983.



Figur 2-2. Hanteringsgång för lång- resp kortlivat avfall

Det vid driften av reaktorerna bildade låg- och medelaktiva reaktoravfallet förvaras för närvarande vid stationerna. Ett för Sverige centralt slutförvar för reaktoravfallet (SFR) är under projektering. Ansökan har under 1982 inlämnats för en lokalisering av SFR till Forsmarks kraftstation. Med byggstart 1983 bedöms anläggningen kunna tas i drift 1988.

2.2 AVFALLSTYPER OCH MÄNGDER

Radioaktivt avfall erhålls i alla delar av kärnbränslecykeln, vid uranbrytning, bränsletillverkning, reaktordrift, upparbetning etc. I denna rapport behandlas de avfall som erhålls från reaktorernas drift och rivning samt från de olika stegen vid omhändertagande av det använda kärnbränslet, se figur 2-1.

Avfallet indelas normalt efter graden av radioaktivitet i hög-, medel- och lågaktivt avfall. Denna indelning är av intresse främst från hanteringssynpunkt, då den avgör kraven på strålskärning. Ur slutförvaringssynpunkt är en indelning i långlivat och kortlivat avfall lämpligare, se figur 2-2. Avgörande är därvid hur lång tid det tar innan avfallets aktivitet avtagit till ofarlig nivå. Långlivat avfall är framförallt sådant, som

innehåller α -strålade ämnen (transuraner). Gränsen mellan kort- och långlivat avfall sätts av praktiska skäl vid ca 500 år.

I tabell 2:2 ges en sammanställning av data för de olika typer av avfall, som förutses behöva tas om hand för slutförvaring i Sverige. Angivna mängder svarar totalt mot 25 års drift av varje aggregat i det svenska kärnkraftsprogrammet, dvs en total elproduktion av 1 500 TWh. Volymerna är framräknade med förutsättningen att de behandlingsmetoder, som nu används eller planeras bli använda, kommer att utnyttjas även i framtiden. Vidare antas mängden bränsle, som upparbetas, bli begränsad till nu kontrakterade mängder.

Framtida förändringar, t ex beträffande behandlingsmetoder, tillåtna utsläpp etc, kan ändra värdena i tabell 1. Dock påverkas totalaktiviteten endast marginellt. Exempel på radioaktiva ämnen, som idag släpps ut, men för vilka det internationellt diskuteras begränsningar, är Kr-85 och C-14 främst från upparbetning.

Förutom avfall från kärnenergiproduktionen uppkommer i Sverige radioaktivt avfall från användning av radioaktiva ämnen inom industrin, medicinen och forskningen. Den helt dominerande delen

Tabell 2:2. Avfallskategorier

Avfallskategori	Ursprung	Avfallsform	Egenskaper	Mängd ¹⁾	Total aktivitet ¹⁾
1a Använt bränsle	Drift av kärnreaktorer	Bränslestavar inkapslade i kopparkapslar	Till en början hög värmeavgivning och strålning. Innehåller långlivade nuklider	4 500 kapslar	10^{20} Bq
1b Högaktivt avfall	Från upparbetning	Förglasat avfall inkapslat i bly-titan-kapslar	Till en början hög värmeavgivning och strålning. Innehåller långlivade nuklider	730 kapslar	10^{19} Bq
2 Transuranhaltigt avfall	Från upparbetning	Solidifierat i betong eller bitumen	Låg- till medelaktivt. Innehåller långlivade nuklider	4 000 m ³	10^{16} Bq
3 Härdkomponenter	Metallskrot från reaktorhärden	Obehandlat eller ingjutet i betong	Låg- till medelaktivt. Innehåller vissa långlivade nuklider	5 000 m ³	10^{18} Bq ²⁾
4 Reaktoravfall	Från kärnkraftdrift m m	Solidifierat i betong eller bitumen. Kompakterat avfall	Låg- till medelaktivt. Begränsad livslängd	122 000 m ³	10^{16} Bq
5 Rivningsavfall	Från rivning av kärntekniska anläggningar	I huvudsak obehandlat	Låg- till medelaktivt. Begränsad livslängd	151 000 m ³	10^{15} Bq

1) Totalt år 2020.

2) Huvudsakligen Fe-55 och Co-60 ($T_{1/2} < 5$ år).

av detta avfall samlas f n i Studsvik. Det innehåller såväl långlivat som kortlivat avfall. En samordning av slutförvaringen av detta avfall med kärnkraftavfallet synes lämplig. SKBF är berett medverka till att så kan ske. I fortsättningen behandlas emellertid här endast kärnkraftavfallet.

2.3 ALLMÄNNA PRINCIPER – MÖJLIGHETER OCH BEGRÄNSNINGAR

2.3.1 Allmänt

Ramarna för de svenska insatserna för omhändertagande av radioaktivt kärnkraftavfall inkl erforderligt FoU-arbete bestäms av

- de fasta tidpunkter givna i riksdagsbeslut, tidsbegränsade drifttillstånd och uppdragskontrakt, som redovisas i avsnitt 2.1,
- de olika typer av avfall som måste tas om hand och vilka redovisas i avsnitt 2.2,
- de anläggningar som krävs för avfallshantering och slutförvaring samt erforderliga tider för projektering och uppförande, se kap 3,
- de möjligheter och begränsningar som följer av nedan diskuterade grundläggande principer.

Med utgångspunkt från gällande lagstiftning och rådande politiska inställning kan följande grundprinciper för slutförvaringen av radioaktivt avfall uppställas

- Erforderliga åtgärder skall kunna genomföras med största möjliga nationella oberoende.
- Bördor på kommande generationer skall undvikas.
- En mycket hög grad av långsiktig säkerhet krävs.

2.3.2 Nationellt oberoende

Av principen om största möjliga nationella oberoende följer i första hand att slutförvaringen skall genomföras i Sverige och med en teknologi som är tillgänglig i Sverige. De specifika förutsättningarna i landet gör att endast vissa av de internationellt diskuterade lösningarna kan tillämpas.

I tabell 2:3 anges olika principiella metoder och förvarsmedia som aktualiserats i den internationella diskussionen. Alternativen i de olika kolumnerna kan inte alltid kombineras.

Tabell 2:3. Tänkbara principer och media för slutförvaring av radioaktivt avfall.

A. PRINCIPIELL METOD	B. FÖRVARSMEDIUM
A.1 Övervakad lagring	B.1 Kristallint berg - granit
A.2 Ytlig deponering ~50 m	- gneiss - gabbro - övrigt
A.3 Djup geologisk deponering	B.2 Salt
A.4 Havsdumpning	B.3 Lera
A.5 Deponering i djuphavs-sediment	B.4 Sedimentära bergarter
A.6 Injektering i isolerade akviferer	
A.7 Förläggning under inlandsisar	
A.8 Utskjutning i rymden	
A.9 Separering och transmutation	

I fråga om den principiella metoden kan följande anföras (nr hänvisar till tabell 2:3).

- A.1 Övervakad lagring kan tillämpas under begränsad tid men utgör ingenslutgiltig lösning.
- A.2 Ytlig deponering i jordlager eller i berggrunden är möjlig för vissa typer av avfall. Djup, förvaringsmedium och möjligheter till restriktioner rörande markanvändning måste då sättas i relation till avfallets livslängd och farlighet. Sådan deponering är endast tillämplig för kortlivat avfall.
- A.3 Geologisk deponering på djup där yteffekter eller klimatvariationer inte längre påverkar berggrunden i någon grad av betydelse (>300 m) måste tillämpas för långlivat avfall.
- A.4 Havsdumpning kan uteslutas, då detta är förbjudet enligt svensk lag.
- A.5 Möjlighet till deponering i djuphavssediment föreligger ej inom svenskt territorium.

- A.6 Metoden att injektera flytande avfall i stora men isolerade permeabla akviferer har endast intresse i länder med sedimentär berggrund av stor mäktighet.
- A.7 Inlandsisar (jökler) eller permafrostområden av tillräcklig utsträckning finns ej i Sverige. Metoden kan dessutom starkt ifrågasättas när det gäller långlivat avfall bl a då eventuella klimatförändringar ej kan förutses under de tidsrymder det här gäller.
- A.8 Resurser för utskjutning i rymden kan ej förutses bli tillgängliga i Sverige under en överblickbar framtid.
- A.9 Tekniken att oskadliggöra radionuklider genom separering och transmutation är inte tillgänglig.

För Sveriges del leder ovanstående till inriktningen att genomföra en geologisk slutförvaring av kortlivat avfall enligt A.2 och av långlivat avfall enligt A.3.

Den geologiska förvaringen kan genomföras i olika media (se tabell 2:3).

- B.1 Huvuddelen av den svenska berggrunden består av kristallint berg, som således ligger närmast till hands vid val av förvarsmedium. Inga typer av kristallint berg (graniter, gnejser, gabbro, ultramafiter) bör f n uteslutas.
- B.2 Saltformationer är inte tillgängliga i Sverige.
- B.3 Lerformationer av tillräcklig omfattning förekommer ej i Sverige.
- B.4 Sedimentära bergarter förekommer inom landet men är normalt begränsade till både yta och djup. Endast i Skåne förekommer sedimentära formationer av tillräcklig storlek för ett slutförvar.

För djup geologisk slutförvaring i Sverige synes kristallina bergarter främst komma i fråga. De sedimentära bergarterna i Skåne bör dock på detta stadium inte uteslutas.

2.3.3 Bördor på kommande generationer

En allmänt accepterad princip är att omhändertagandet av det radioaktiva avfallet skall ske så att bördor på framtida generationer så långt möjligt undviks.

För att undvika ekonomiska bördor på dem som ej får nytta av dagens kärnkraftproduktion föreskrivs i finansieringslagen att

särskilda fonder skall byggas upp för att täcka den slutliga avfallshanteringen. Framtida bördor kan dock vara av annat slag än rent ekonomiska. Sålunda bör man beakta

- krav på framtida övervakning
- konsekvenserna av oavsiktligt inträngande
- krav på teknikutveckling och
- ianspråktagande av råvaruresurser.

För att undvika krav på omfattande framtida övervakning bör två förutsättningar gälla vid utformningen av ett slutförvarssystem.

- Förvarets långtidssäkerhet skall baseras på principer och mekanismer, vars funktion inte är beroende av mänsklig kontroll eller påverkan.
- Förvarets påverkan på omgivningen skall vara så liten att inga restriktioner för naturanvändning behöver upprätthållas efter det att förvaret förseglats.

Vid förvarets utformning och placering bör hänsyn tas till framtida mänskligt inträngande i förvaret och konsekvenserna av detta. Härvid måste dock gälla att ett avsiktligt inträngande varken kan eller behöver förhindras. Varje generation har givetvis frihet att besluta och ta ansvar för sina egna handlingar. Det kan t ex tänkas att man någon gång i framtiden vill återta avfallet på grund av dess råvaruvärde. För att i möjligaste mån underlätta för framtida generationer att grunda sådana beslut på ett fullständigt faktaunderlag bör information om förvarets läge, utförande och innehåll bevaras på ett sätt som reducerar risken för att informationen förloras.

Oavsiktligt inträngande förutsätter att informationen om förvaret förlorats. Slump eller geotekniska mätningar skulle då kunna föranleda en framtida teknisk kunnig mänsklighet att undersöka och tränga in i området. Det kan förutsättas att denna tekniknivå dock inte kan existera utan en medvetenhet om radioaktivitet och dess risker samt förmåga att mäta den. Risken bör minimeras genom att förvaret inte placeras i områden, där det förekommer mineral, som i framtiden kan utgöra brytvärda tillgångar.

För att undvika att en tekniskt outvecklad civilisation skulle av slump stöta på förvaret bör slutförvaret placeras på ett djup som gör att sannolikheten för detta blir låg.

För att inte i oskälig grad inteckna framtida teknikutveckling bör slutförvar och barriärer baseras på känd och beprövad teknik eller teknik, vars utveckling till ett tillämpningsstadium väl kan överblickas.

För att inte i väsentlig grad påverka framtida tillgång på viktiga råvaror bör förvarssystemet endast i begränsad omfattning utnyttja sådana material.

2.3.4 Hög långsiktig säkerhet

Slutförvaringens syfte är att även på lång sikt skydda människan från skadeverkningar av de radioaktiva ämnen som finns i avfallet.

Det långlivade avfallets farlighet kommer att till viss del bestå under tidsperioder som är långa jämfört med mänsklig erfarenhet av tekniskt utnyttjade material. Det totala systemets säkerhet bör därför bygga på flera av varandra oberoende barriärer. Säkerhetsfunktionen hos varje barriär bör bedömas försiktigt, vilket innebär att den med marginal skall klara den funktion som förutsetts. Systemet skall byggas upp så att den totala säkerheten inte äventyras vid eventuella brister hos en av barriärerna.

Utmärkande för det långlivade avfallets potentiella farlighet är den stora skillnaden mellan initial farlighet och kvarstående långlivad farlighet samt den mycket långa tidsperiod, under vilken farligheten består. För barriärer som skall fungera under mycket lång tid, bör geologisk evidens komplettera mänsklig erfarenhet.

En värdering av säkerheten sker normalt mot bakgrund av samhällets kriterier och normer. Många av slutförvaringens aspekter har emellertid utsträckning över tider som är av samma storleksordning som de som krävs för utveckling av nya arter. Det bör därför dessutom visas att förvarets omgivningspåverkan på sikt inte väsentligt förändrar de naturliga, regionala, radiologiska förhållandena.

3 ANLÄGGNINGAR

3.1 ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR

De olika anläggningar, som nu förutsättes ingå i systemet för omhändertagande av det radioaktiva kärnkraftavfallet har utformats och dimensionerats utifrån nedan angivna förutsättningar

- 1 Det svenska kärnkraftprogrammet har den omfattning som anges i avsnitt 2.1 och förutsättes ge upphov till de avfallstyper och -mängder, som anges i avsnitt 2.2.
- 2 Upparbetning av kärnbränsle genomförs i den omfattning som anges i träffade avtal (867 ton U). Övrigt använt bränsle skall direktdeponeras (5 880 ton U).
- 3 Använt bränsle och högaktivt avfall från upparbetning mellanlagras i ca 40 år i syfte att begränsa värmeutvecklingen i slutförvaret.
- 4 Högaktivt avfall och använt kärnbränsle förutsättes bli slutdeponerat i djupliggande bergförvar med ett isoleringssystem baserat på flerbarriärprincipen.
- 5 Långlivat låg- och medelaktivt avfall från upparbetning mellanlagras även det i ca 40 år så att slutdeponeringen kan ske i anslutning till slutdeponeringen av det högaktiva avfallet.

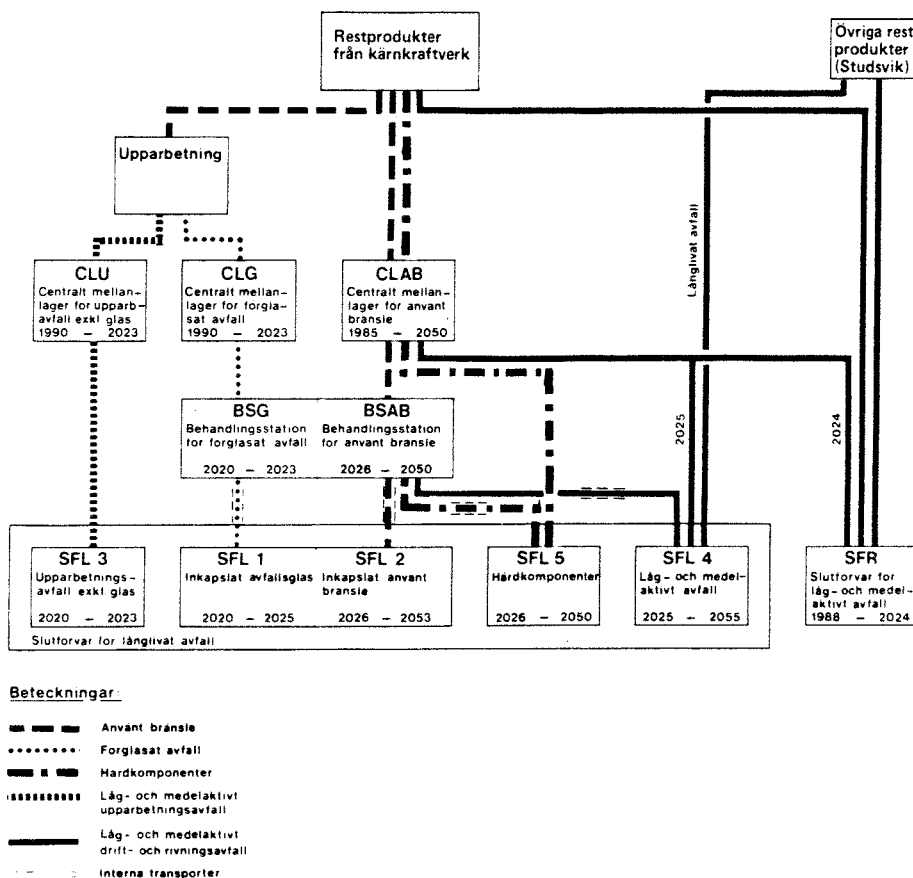
Dessa förutsättningar kan komma att ändras eller modifieras dels med hänsyn till resultaten av det fortsatta FoU-arbetet, dels som följd av framtida politiska beslut. Det här redovisade systemet av anläggningar utgör emellertid en tekniskt möjlig lösning baserad på dagens kunskaper och nu gällande politiska ställningstaganden.

3.2 TOTALT SYSTEM

De i föregående avsnitt angivna förutsättningarna leder fram till det system av anläggningar som schematiskt visas på figur 3-1.

De olika delarna av systemet befinner sig i mycket olika mög-
nadsgrad. För de i tiden mest närliggande - CLAB och transport-
systemet med driftstart 1985 resp 1982 - pågår f n byggandet
resp tillverkningen. Detaljutformningen av dessa anläggningar
är sålunda i väsentliga delar fastställd. Nästa steg i syste-
mets förverkligande utgör byggandet av ett slutförvar för reakt-
toravfall, SFR. Tillståndsansökningar har under våren 1982 ingi-
vits till resp myndigheter och drifttagning förutses ske år
1988. Under förutsättning av myndigheternas godkännande kan
även denna anläggning anses vara bestämd i sina huvuddrag.

Mellanlager för upparbetningsavfall (CLG och CLU) behövs år
1990 och förprojekteringen har påbörjats. För behandlingsanlägg-
ningar (BSG och BSAB) och slutförvar för långlivade avfallspro-
dukter (SFL) anges i nu gällande planer lokaliseringsbeslut om-
kring år 2000 och driftstart år 2020. Omfattande specifika un-
dersökningar på olika platser förutses föregå ett lokaliserings-
beslut. Likaså återstår för dessa anläggningar ett betydande ar-



Figur 3-1. Anläggningar och hanteringsgång för kärnkraftens restprodukter

bete omfattande studier av alternativa dellösningar och en successiv optimering och detaljering.

3.3 ENSKILDA ANLÄGGNINGAR

De enskilda anläggningar, som ingår i systemet, deras lokalisering och förutsedda tidpunkt för driftstart m m har sammanställts i tabell 3:1.

Tabell 3:1. Anläggningar för kärnkraftavfallens behandling och slutförvaring

Anläggning	Förutsedd lokalisering	Planerad driftstart	Anm
1 <u>Transportsystem</u>	-	1982	Omfattar specialkonstruerat fartyg, transportbehållare och terminalanordningar
2 <u>Mellanlager</u>			
2.1 CLAB. Centralt lager för använt bränsle	Oskarshamn	1985	I en första etapp 3 000 ton bränsle.
2.2 CLG. Centralt lager för förglasat avfall	Samlokalisering med 2.1 eller 4.1 bedöms lämplig	1990	730 förglasade avfallsenheter
2.3 CLU. Centralt lager för transuranhaltigt avfall	Samlokalisering med 2.1 eller 4.1 bedöms lämplig	1990	Ca 4 000 m ³ avfall
3 <u>Behandlingsanläggningar</u>			
3.1 BSG. Behandlingsstation för förglasat avfall	Samlokalisering med 4.2 bedöms lämplig	2020	Inkapslingsstation med kapacitet att behandla 730 förglasade avfallsenheter under perioden 2020-24
3.2 BSAB. Behandlingsstation för använt bränsle	Samlokalisering med 4.3 bedöms lämplig	2026	Inkapslingsstation med kapacitet att behandla ca 6 000 ton använt bränsle under perioden 2026-2050
4 <u>Slutförvar</u>			
4.1 SFR. Slutförvar för drift- och rivningsavfall	Föreslagen lokaliseringssort: Forsmark	1988	Driftavfall (SFR 1) ca 100 000 m ³ Rivningsavfall (SFR 3 senare utbyggnad) ca 140 000 m ³
4.2 SFL 1. Slutförvar för förglasat avfall	Fastställes omkring år 2000 och baseras på resultat av geologiska undersökningar	2020	730 inkapslade avfallsenheter
4.3 SFL 2. Slutförvar för använt bränsle	Samlokalisering med 4.2	2026	4 500 kapslar vardera med ca 1.4 ton använt bränsle
4.4 SFL 3. Slutförvar för transuranhaltigt avfall	Samlokalisering med 4.2	2020	Ca 4 000 m ³
4.5 SFL 4. Slutförvar för låg- och medelaktivt drift- o rivningsavfall	Samlokalisering med 4.2	2025	Ersätter 4.1 (SFR) från år 2025
4.6 SFL 5. Slutförvar för hårdkomponenter m m	Samlokalisering med 4.2 eller eventuellt 4.1	2025	

Beskrivningar av de olika anläggningarna återfinns i del 2 av denna rapport varför här nedan endast ges några kortfattade kommentarer till de olika anläggningarnas betydelse i systemet samt till inplaneringen i tiden.

3.3.1 Transportsystemet

Transportsystemet är huvudsakligen baserat på sjötransporter och dess huvudkomponenter består av ett specialkonstruerat fartyg, transportbehållare och terminalutrustningar vid kraftverken och slutförvaren. Systemet utformas för att kunna användas för alla förekommande typer av avfall.

Man avser påbörja transportererna av använt bränsle från Sverige till Frankrike sent 1982. Därför krävs att fartyg, transportbehållare för bränsle och terminalfordon då är tillgängliga. Fartyget är sjösatt, ett terminalfordon är tillverkat, och transportbehållare är under tillverkning.

För transport av reaktoravfall behöver systemet kompletteras med särskilda transportbehållare av betong liksom med speciella transportbehållare för härdkomponenter.

3.3.2 Centralt lager för använt bränsle, CLAB

Ett mellanlager för använt bränsle krävs av två skäl. Det ena skälet är att en del av de bränslebassänger, som finns vid kärnkraftverken beräknas bli fyllda i mitten av 80-talet. En utbyggnad av dessa bassänger skulle bli både tekniskt komplicerad och mycket dyrbar. Ett centralt mellanlager för samtliga svenska kärnkraftverk har befunnits vara en förmånligare lösning. Därför byggs CLAB som förutses kunna tas i drift 1985.

Det andra skälet att bygga ett mellanlager för använt bränsle är önskemålet att det bränsle som skall direktdeponeras inte skall ha för hög värmeavgivning vid placeringen i slutförvaret. Genom en 40-årig mellanlagring erhålles ungefär en halvering av värmeavgivningen.

Pågående utbyggnad av CLAB avser en lagringskapacitet av ca 3 000 ton bränsle. En utbyggnad av bassängerna kan bli aktuell i mitten av 1990-talet. I CLAB avser man även att tillfälligt lagra härdkomponenter, som avses bli slutlagrade först på 2020-talet.

Enligt dagens planer skall CLAB hållas i drift till år 2050, varför det får förutsättas att en stor del av utrustningen kommer att kräva förnyelse.

3.3.3 Centralt lager för förglasat avfall, CLG

Detta lager har samma principiella funktion i systemet som CLAB, nämligen att ge avfallets värmeutveckling tillfälle att avklinga före slutdeponering.

Tidplanestyrande för CLG är upparbetningsavtalet mellan SKBF och Cogema där det anges att förglasat avfall skall kunna sändas till Sverige år 1990. Med utgångspunkt härifrån har preliminära studier av alternativa lösningar påbörjats under 1982.

Det egentliga projekteringsarbetet förutses bli genomfört under 1984 och 1985, varefter 4 år finns tillgängliga för byggandet.

Enligt dagens planer skall CLG hållas i drift till år 2024.

3.3.4 Centralt lager för låg- och medelaktivt (transuranhaltigt) upparbetningsavfall, CLU

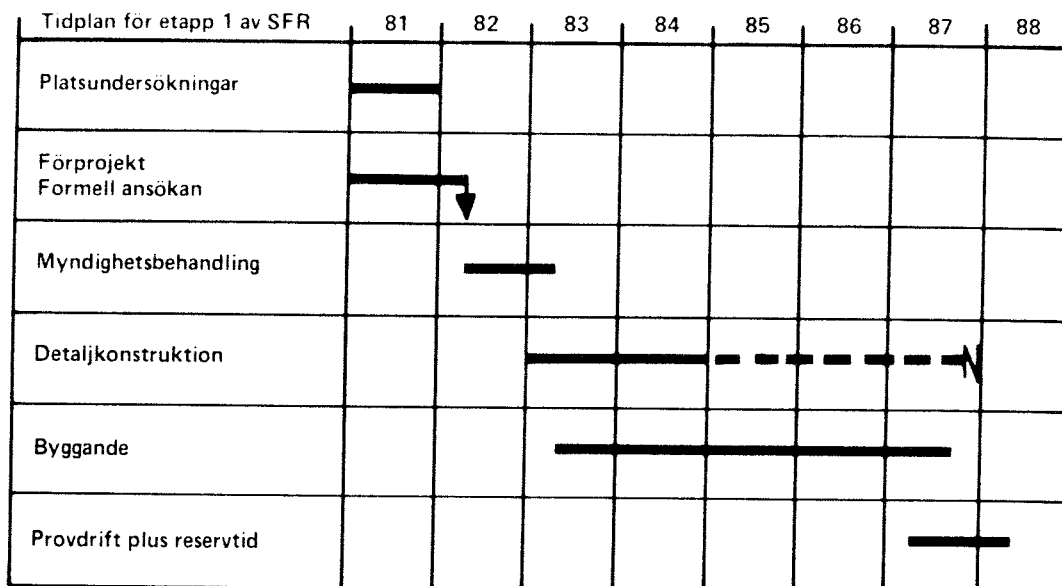
I likhet med vad som gäller för högaktivt avfallsglas följer av upparbetningsavtalet mellan SKBF och Cogema att SKBF skall vara berett att ta emot även annat avfall från upparbetningen år 1990. Detta avfall kommer att innehålla varierande mängder radionuklider med mycket långa halveringstider (α -strålande transuraner). Kraven på långtidfunktionen hos slutförvarets barriärer blir därför likartade med dem som gäller för avfallsglas. Av praktiska och ekonomiska skäl bör därför slutdeponeringen av det låg- och medelaktiva transuranhaltiga avfallet geografiskt och tidsmässigt samordnas med slutdeponeringen av det högaktiva avfallet. Detta leder till behov av mellanlagring fram till 2020-talet.

Planering, byggande och drift av CLU har förutsatts löpa parallellt med CLG.

3.3.5 Behandlingsstation för förglasat avfall, BSG

Före slutdeponeringen förutses det förglasade avfallet bli inneslutet i kapslar av beständigt material. Inkapslingen sker i BSG. Olika lösningar kommer att studeras men dagens förutsättning är en kapsel av bly omgiven av titan (KBS-1). Kapselns uppgift är dels att totalt isolera avfallet från omgivningen under den tid det fortfarande är högaktivt och avger betydande värmemängder, dels i ett senare skede sprida aktivitetsfrigörelsen i tiden. En sådan spridning erhålles genom att penetreringen av de enskilda kapslarna kommer att inträffa vid olika tidpunkter.

BSG kommer att behövas när slutdeponeringen påbörjas, dvs år 2020. Detaljprojektering, konstruktion och byggande förutses bli genomförda under 2010-talet.



Figur 3-2. Tidplan SFR, etapp 1

Det har tills vidare förutsatts att BSG hålls i drift under tiden 2020–23, då allt förglasat avfall slutdeponeras. Anläggningen byggs därefter om för inkapsling av använt bränsle (BSAB).

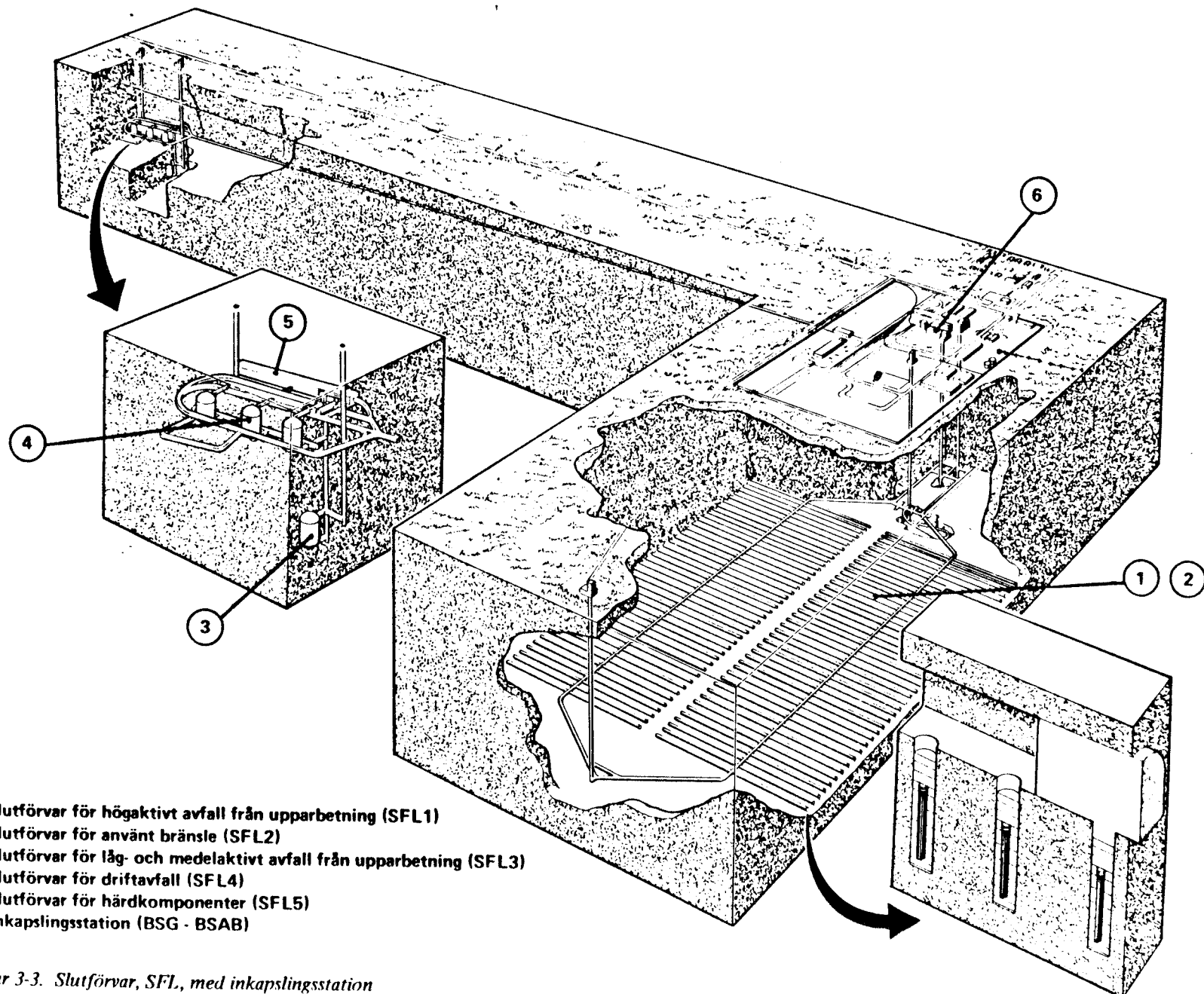
3.3.6 Behandlingsstation för använt bränsle, BSAB

På motsvarande sätt som förglasat avfall inkapslas det använda bränslet i kapslar av beständigt material. I dagens planer förutsättes för använt bränsle en tjockväggig kopparkapsel (KBS-2). Studier av andra material och utföranden kommer att genomföras.

BSAB, som utgör en ombyggd version av BSG, har en planerad driftperiod från år 2026 till 2050.

3.3.7 Slutförvar för drift- och rivningsavfall, SFR

Driftavfall eller reaktoravfall uppkommer kontinuerligt vid driften av kärnkraftverken. Liknande avfall uppkommer även vid driften av CLAB. Avfallet, som är låg- och medelaktivt, innehåller inte långlivade radionuklider i några mängder av betydelse. Detta avfall lagras för närvarande temporärt vid kraftverken. En ytterligare utbyggnad av dessa lager bör av praktiska och ekonomiska skäl undvikas. SKBF har därför våren 1982 ansökt om tillstånd att anlägga ett slutförvar för dessa avfallskategorier vid Forsmark. Gällande tidplan för en första utbyggnadsetapp av SFR visas på figur 3-2. En andra utbyggnadsetapp är förutsedd före sekelskiftet.



- 1 Slutförvar för högaktivt avfall från upparbetning (SFL1)
- 2 Slutförvar för använt bränsle (SFL2)
- 3 Slutförvar för låg- och medelaktivt avfall från upparbetning (SFL3)
- 4 Slutförvar för driftavfall (SFL4)
- 5 Slutförvar för hårdkomponenter (SFL5)
- 6 Inkapslingsstation (BSG - BSAB)

Figur 3-3. Slutförvar, SFL, med inkapslingsstation

Avsikten är att senare bygga ut SFR med en del för slutdeponering av avfall från kärnkraftverkens rivning. Denna utbyggnad blir aktuell en bit in på 2000-talet.

SFR har förutsatts hållas i drift till år 2024. Låg- och medelaktivt avfall som därefter uppkommer vid CLAB och vid rivningen av BSAB har i planen förutsatts bli deponerat i anslutning till slutförvaret för långlivat avfall (SFL). Anledningen härtill är att rationellare hantering kan påräknas om verksamheten då koncentreras till en ort.

3.3.8 Slutförvar för långlivat avfall, SFL

SFL är slutstationen för allt långlivat avfall och dessutom för visst annat avfall, som av praktiska skäl dirigeras hit. Anläggningen omfattar följande delar (se även figur 3-3).

- SFL-1, Slutförvar för förglasat avfall, som beräknas fyllas under åren 2020-25.
- SFL-2, Slutförvar för använt bränsle, där deponering planeras pågå under perioden 2026-53.
- SFL-3, Slutförvar för upparbetsavfall (exkl glas), som planeras ta emot avfall under åren 2020-24.
- SFL-4, Slutförvar för drift- och rivningsavfall under perioden 2025-55 (ersätter SFR).
- SFL-5, Slutförvar för hårdkomponenter

Förslutning av de olika delarna av SFL planeras ske successivt under 2050-talet och den sista uppgiften för SFL blir att ta emot rivningsavfallet från CLAB och BSAB, vilket förutses ske mot slutet av 2050-talet.

4 FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGSARBETE

4.1 ALLMÄNT

FoU-insatsernas syfte är att bygga upp ett tillräckligt kunskaps- och erfarenhetsunderlag för att kunna

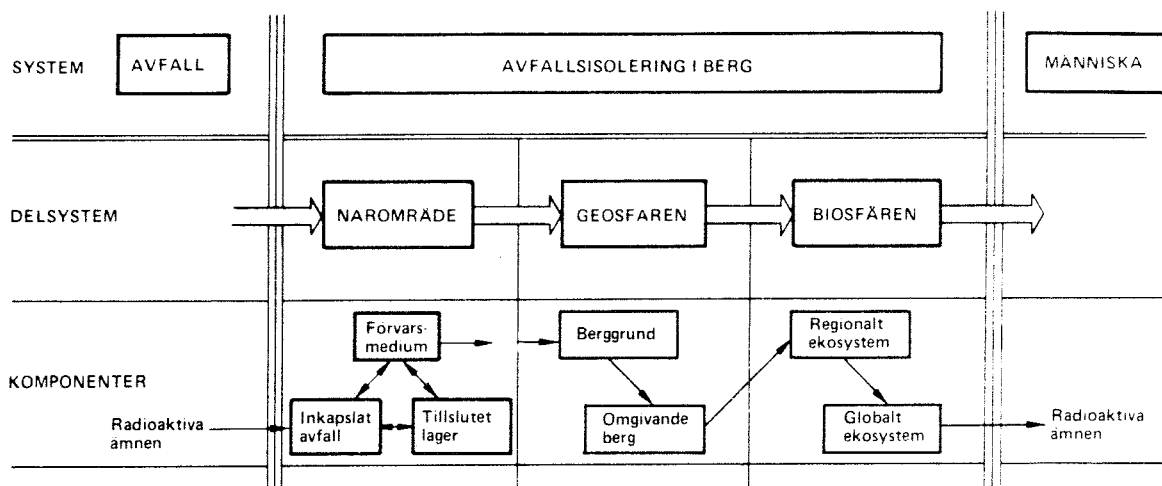
- utvärdera genomförbarhet och säkerhetsaspekter av olika sätt att hantera och slutförvara radioaktivt avfall,
- välja ut ett system som ger tillfredsställande säkerhet,
- förverkliga systemet på ett tekniskt-ekonomiskt riktigt sätt.

Härnedan diskuteras främst den första punkten dvs FoU för utvärdering av olika metoder.

SKBFs forskningsprogram har hittills haft tyngdpunkten på slutförvaring av högaktivt avfall och använt bränsle. Successivt kommer även större insatser att inriktas på de speciella problemen, som är knutna till slutförvaring av transuranhaltigt avfall från upparbetning. Planeringen av detta arbete pågår, men planerna är ännu inte så detaljerade, som för högaktivt avfall och använt bränsle. Framställningen i det följande är därför främst inriktad på de senare avfallskategorierna.

Slutförvaringen kan principiellt genomföras på olika sätt. Som framgått av kapitel 2 föreligger vissa nationellt betingade begränsningar vilket gör att studierna i första hand inriktas på slutförvaring i kristallin berggrund.

Den tidpunkt vid vilken det långlivade avfallet skall börja deponeras, år 2020, har valts för att erhålla en avklingningstid på 40 år mellan bränslets uttag ur reaktorn och deponeringen av motsvarande avfall. Detta ger samtidigt tillräcklig tid för en grundlig genomgång och val av alternativa förvaringsmetoder och förvarslokaliseringar, testning av system och metoder inklusive



Figur 4-1. Slutförvarets principiella uppbyggnad

möjligheter till pilotanläggningar. Mellanlagringstiden kan utan speciella komplikationer varieras med ± 10 år.

Syftet med ett slutförvar är att innesluta avfallet så att de radioaktiva ämnena inte skall nå människan i skadliga mängder. För att uppnå detta måste förvarssystemet uppfylla två krav. Det första är att isolera avfallet från grundvattnet under den tid då avfallets värmeutveckling, radioaktivitet och farlighet är hög. Det andra är att i ett senare skede, då huvuddelen av radioaktiviteten avklingat, begränsa utsläppstakten av då återstående lågaktiva men långlivade ämnena.

Det totala systemet för ett geologiskt slutförvar illustreras på figur 4-1.

De olika delsystemen uppvisar principiella skillnader vad gäller tillgängliga alternativ. Oavsett hur avfallsförvaringen genomförs kan i stort samma biosfär anses utgöra den slutliga kontaktvägen till människan eftersom de nuvarande regionala olikheterna inte kan förväntas bli bestående i de tidsperspektiv, som måste studeras. Geosfären kan anses bibehålla sina egenskaper åtminstone i stabila berggrundsområden, under de aktuella tidsepokena. Olika bergarter och djup samt olikheter i förläggingsplatsernas hydrogeologiska karakteristika kan medföra skillnader i geosfärens betydelse för säkerheten.

Utformningen av det tredje delsystemet, närområdet, är i högre grad valfritt. Hittills tillgängliga kunskaper pekar på att den nödvändiga funktionen hos ett närområde kan åstadkommas genom flera olika kombinationer av enskilda barriärer.

I de följande avsnitten presenteras FoU-arbetet under följande rubriker.

- 4.2 Avfallets egenskaper
- 4.3 Närområde
- 4.4 Geosfär
- 4.5 Biosfär

Vissa övergripande insatser behandlas därefter under rubrikerna

- 4.6 Metoder för säkerhetsanalys
- 4.7 System och Anläggningsutformning

Varje forskningsområde inleds med ett kortare avsnitt om dess betydelse för slutförvaringen och dagsläge inom området. En mer detaljerad bild av nuvarande forskningsinsatser kan erhållas i KBS årsrapport 1981 (TR 81-17). Därefter behandlas det behov av framtida insatser som i dag kan konkretiseras. Den detaljinriktning dessa insatser ges måste kontinuerligt revideras med hänsyn till resultatet av både pågående vetenskaplig och teknisk utveckling och de målinriktade studier som genomförs av SKBF eller motsvarande organisationer i andra länder.

Internationellt - särskilt inom IAEA - pågår arbete med formulering av riktlinjer för utförande av slutförvar. Dessa riktlinjer kan förväntas bli av följande allmänna karaktär

"The repository should be designed, constructed and operated to minimise any adverse effects due to the repository development including the emplaced wastes on the radionuclide retardation capability of natural geological and hydrogeological system."

I flera länder har man påbörjat arbetet med att ta fram mera kvantitativt preciserade kriterier. För dagen föreligger ingens stans något färdigt kriteriesystem.

Ansvar för att ta fram kriterier ligger hos de nationella säkerhetsmyndigheterna. Ett omfattande åsiktsutbyte länderna emellan förekommer.

I det hittills genomförda svenska arbetet har vissa interna allmänna kriterier tillämpats, exempelvis att man eftersträvar ett tillräckligt stort bergparti med låg och långsam grundvattenomsättning, områden med värdefulla mineraler skall undvikas etc. Endast ett kvantitativt kriterium har tillämpats nämligen att temperaturen på kapselytan inte i någon punkt skall överstiga 100°C. Syftet härmed är dels att förenkla bevisföringen rörande buffertmaterialens långtidsstabilitet, dels att de temperaturinducerade bergspänningarna skall begränsas. Dessutom önskar man förhindra kokning av grundvattnet, som kan komma i kontakt med kapseln, när atmosfärstryck fortfarande råder i förvaret. Dessa interna kriterier får inte uppfattas som förutsättningar för att uppnå en säker slutförvaring.

SKBF deltar i och följer det arbete med framtagning av allmänna riktlinjer för slutförvar som bedrivs inom IAEA och OECD/NEA. Sådana internationellt vedertagna riktlinjer bedöms - även om de blir tämligen allmänt formulerade - vara av stor vikt för det internationella utbytet och ömsesidiga förståelsen. Däremot är tiden inte mogen för att formulera mera preciserade och kvantitativa kriterier.

4.2 AVFALLETS EGENSKAPER

I detta avsnitt behandlas

- metoder för att behandla avfallet för att åstadkomma en lämplig form för hantering, transport, lagring och slutförvaring,
- karakterisering av olika avfallstyper med avseende på fysiska egenskaper, kemisk form och innehåll av radioaktiva ämnen.

Syftet med studierna är att för säkerhetsanalysen definiera mängden radioaktiva ämnen, restvärme, radiolys och lakningsegenskaper, att ge underlag för utvärdering av olika behandlingsmetoder ur slutförvarssynpunkt samt att definiera utgångsförutsättningarna för den kemiska samfunktionen i närområdet.

Avfallet behandlas nedan under följande rubriker

- Högaktivt avfall
- Transuranhaltigt avfall
- Reaktoravfall

4.2.1 Högaktivt avfall

För svensk del finns för närvarande två aktuella former av högaktivt avfall: använt kärnbränsle och förglasat avfall från upp-
arbetsprocessen.

Med hänsyn till avtalet med Cogema och det begränsade svenska kärnkraftsprogrammet har utvecklingen av andra avfallsformer endast indirekt intresse. Den internationella utvecklingen följs dock upp.

Internationellt pågår ett omfattande forskningsarbete kring förglasat högaktivt avfall. De svenska insatserna fram till 1985 har planerats med utgångspunkt från tidplanen för återsändande av avfallsglas från Cogema. En betydande del av dessa insatser ligger inom ramen för ett samarbetsprojekt mellan Japan, Schweiz och Sverige, det s k JSS-projektet, se avsnitt 7.3. Studierna inriktas i hög grad på växelverkan mellan avfallsglas och de omgivande materialen i deponeringsmiljön.

Ifråga om använt bränsle är de internationella instanserna fortfarande begränsade. I Kanada, Frankrike, Tyskland och USA genomförs dock vissa lakningsstudier.

Pågående och planerade svenska insatser omfattar lakningsförsök i oxiderande och reducerande miljöer. En särskild internationell referensgrupp har tillkallats för att följa försöken och utvärderingen av resultaten.

Beräkning av mängden radioaktiva ämnen i bränslet genomförs med etablerade matematiska modeller.

Den framtida forskningen inom området högaktivt avfall kommer att koncentreras på mekanismer och kinetik för frigörandet av radionuklider ur avfallsmatrisen.

För studierna av högaktivt avfall anlitas främst Studsvik Energiteknik, University of Florida, KTH, institutionen för organisk kemi, Glasforskningsinstitutet i Växjö samt EIR, Schweiz.

4.2.2 Transuranhaltigt avfall

Vid upparbetning erhålls utöver det högaktiva förglasade avfallet även olika former av låg- och medelaktivt avfall. En del av detta innehåller långlivad alfa-aktivitet (transuraner) i samma halter som det förglasade högaktiva avfallet. Värmeutvecklingen är dock väsentligt lägre.

Inneslutningsmatris för det transuranhaltiga avfallet har ännu inte fastställts. För närvarande undersöks främst cement- och bitumenmatriser men även andra matriser kan bli aktuella. SKBFs insatser kommer att anpassas till de specifikationer som kommer att fastställas och de undersökningar som genomförs av Cogema. En första beskrivning av avfallsformerna kommer att ges under 1982/83.

Hittillsvarande arbete har främst inriktats på att identifiera de frågeställningar som blir aktuella vid slutförvaring av cement- och bitumeningjutet långlivat avfall. Exempel på dessa är:

- Kemisk form för aktiviteten i avfallet.
- Inverkan av högt pH (cement) på de radioaktiva ämnas löslighets- och transportegenskaper i matrisen samt i omkringliggande buffertmaterial och berg.
- Risken för bildning av gas och organiska komplexbildare vid nedbrytning av organiskt avfall och bitumen.
- Inverkan av radiolys
- Långtidsförändringar i cement och bitumen.

- Växelverkan mellan betong och buffertmaterial.

Arbetet under den närmaste femårsperioden styrs av att ett godkännande av avfallet från svenska myndigheter krävs innan uppärbetning av svenskt bränsle i UP 3 i La Hague får påbörjas. Inriktningen är att en redovisning av hur detta avfall tas om hand skall föreligga 1985-86. Pågående arbeten utförs i huvudsak vid institutionen för kärnkemi, CTH, Cement och Betonginstitutet samt Studsvik Energiteknik AB.

4.2.3 Reaktoravfall

Behandlingen av reaktoravfall sker vid kraftverken och utvecklingen av behandlingsmetoderna handläggs normalt av kärnkraftföretagen. SKBFs insatser inom detta område är i första hand inriktade på att verifiera att de sålunda erhållna avfallsprodukterna är lämpliga för slutförvaring i SFR. Vidare genomför SKBF utvecklingsarbeten av gemensamt intresse för kraftföretagen.

4.3 NÄROMRÅDE

Med närområde avses det utrymme där avfallet deponeras och de angränsande bergpartier, som kan vara påverkade av det ingrepp, som slutförvaret innebär. I närområdet med dess innehåll av avfall, kapslingsmaterial och buffertmassa skiljer sig materialtransporten väsentligt från den som sker i de opåverkade delarna av geosfären.

Härnadan behandlas närområdet efter de ingående komponenterna

- inkapsling
- buffert och återfyllning
- förvarsutformning

Avsnitten avslutas med

- närområdeskemi

som behandlar den kemiska samfunktionen mellan de ingående materialen.

4.3.1 Inkapsling

Inkapslingen av det radioaktiva avfallet syftar främst till att åstadkomma en absolut barriär mot spridning av radioaktiva ämnen under ett första skede av förvaringstiden. Dessutom utgör kapseln en strålskärm som minskar radiolysen av grundvatten och underlättar hanteringen.

Material

Två väsentligen olika materialtyper och blandningar av dessa, förefaller mest intressanta för inkapsling av högaktivt avfall:

- Metalliska material
- Keramiska och vitrösa material

SKBFs arbete är för närvarande främst inriktat på studier av metalliska material.

Metallernas korrosionsbeständighet kan grunda sig antingen på termodynamisk stabilitet i vatten (koppar) eller på att ett passiverande ytskikt bildas (titan). Med tanke på de långa förvarstider som krävs för använt kärnbränsle och förglasat högaktivt avfall från upparbetning, har SKBF valt att f n lägga huvudvikten vid koppar som har hög termodynamisk stabilitet.

Studier av andra metalliska material exempelvis järn, stål, titan liksom även av keramer pågår vid ett flertal laboratorier utomlands. SKBF följer dessa arbeten.

De egna studierna är för dagen koncentrerade i första hand till olika former av kopparkorrosion (gropfrätning, spänningskorrosion etc) i reducerande miljö. Arbeten inom följande områden pågår:

- spänningskorrosion i koppar vid the University of Newcastle upon Tyne,
- arkeologisk/geologisk evidens för gropfrätning i koppar och kopparlegeringar främst vid Arkeologiska forskningslaboratoriet vid Stockholms Universitet,
- korrosionsbeständigheterna hos koppar i deponeringsmiljö. För insatsen svarar Korrosionsinstitutet som etablerat en särskild expertgrupp för ändamålet,
- passivfilmen på titan. Här utnyttjas främst institutionen för metalliska konstruktionsmaterial, CTH.

Inom 5-årsplanen förutses fortsatta studier av olika metaller och keramer som kan komma ifråga som inkapslingsmaterial. Det synes inte uteslutet att väsentligt enklare inkapslingsmaterial än koppar kan visa sig tillräckliga. Möjligheten till sådana förenklingar blir starkt beroende av vilka resultat som erhålles av närkemistudierna.

Inkapslingsteknologi

För inkapsling av använt kärnbränsle undersöks för närvarande två olika metoder för inneslutning i koppar.

Den ena metoden innebär en fortsatt utveckling av den teknik som beskrivits i KBS-2, med en kopparkapsel, där bly gjutes kring bränslestavarna, varefter ett lock svetsas på den förtillverkade kapseln.

Den andra metoden avser användning av het isostatisk pressning (HIP). Denna process, har tidigare prövats för tillverkning av keramisk kapsel av aluminiumoxid. Försök att med HIP-processen innesluta använt kärnbränsle i koppar pågår för närvarande. Metoden innebär att bränsleelement med tillhörande metalldelar placeras i en kopparkapsel där hålrummen fylls med kopparpulver. Ett lock läggs på och det hela pressas därefter till en massiv kropp.

Inom 5-årsperspektivet förutses fortlöpande studier av viktiga delar av inkapslingsteknologin, exempelvis nu pågående

- svetsprov med grov koppar hos Sciacy, Leybold-Heraeus och Welding Institute
- metodutveckling för HIP-process av inneslutning av använt bränsle i koppar hos ASEA i Robertsfors,
- uppföljning av blyteknologin.

Även alternativa utformningar av kapslar kommer att studeras liksom möjligheten att fördela sönderdelat bränsle i ett lämpligt matrismaterial.

Betongteknologi

En del långlivat radioaktivt avfall från upparbetning liksom långvarigt aktiva metalldelar från bränsleharder har föreslagits bli inneslutna i betong.

Studier av förhållandena nära kontaktytan mellan betong och lera har inletts. Liknande studier pågår utomlands. Preliminära resultat tyder på att degraderingen av betong under förvaringsförhållanden är mycket långsam.

Huvudvikten i arbetet under de närmaste åren kommer att läggas på grundläggande materialkunskap och långtidsbeständighet snarare än på utförandet.

Arbetet förutses främst bli genomfört av Cement- och Betonginstitutet och New York State University.

4.3.2 Buffert och återfyllning

Med buffert avses här den fyllning, som omsluter avfallskapslarna och fyller ut utrymmet mellan kapslar och deponeringshålens

väggar. Med återfyllning avses den massa som i övrigt ersätter den uttagna bergvolymen i tunnlar, schakt och borrhål.

Åtgärder, som syftar till tätning av borrhål, tunnlar och schakt behandlas i avsnitt 4.4.5.

De egenskaper hos buffert och återfyllning som främst är av intresse är dess förmåga att hindra grundvattenströmning, dess kemiska och mekaniska skyddsförmåga samt dess värmeledande egenskaper.

Kunskap om långtidsbeständighet när det gäller så lång tid som 100 000 år och mer kan erhållas dels genom studier av likartade naturliga material, dels genom studier av de grundläggande processer, som kan påverka materialets egenskaper.

SKBF har genomfört relativt omfattande undersökningar av lerbuffertar, främst sådana som varit baserade på bentonit av Wyoming-typ. Liknande undersökningar har nyligen påbörjats bl a i Schweiz och USA. De svenska studierna kommer att fortsätta och fördjupas och kompletteras med undersökningar av inhemska lermaterial.

Buffertens och återfyllningens beteende studeras i det storskaliga sk "Buffer Mass Test", som för närvarande pågår i Stripa (se avsnitt 7.2).

Under de närmaste åren kommer bl a lergelers reologiska egenskaper vid varierad densitet, temperatur och elektrolythalt samt deras stabilitet i kontakt med grundvatten att studeras.

Studier planeras av alternativa buffertmaterial och tillsatser (ex vis getters). Bl a bör möjligheten att omge kapslarna med bly, som anbringas direkt i deponeringshålen studeras.

För studierna av buffert och återfyllning är avdelningen för geoteknik, LuH huvudkonsult.

4.3.3 Förvarsutformning

Förvarets geometriska detaljutformning kan få betydelse för förhållandena i närområdet genom att den påverkar temperaturfältet och spänningsbilden. Vid utsprängningen skadas omgivande berg i viss omfattning. Sådana skador kan begränsas genom att använda sk fullortsborrning av deponeringstunnlarna.

Hittills har spänningsberäkningar med hjälp av FEM-analys utförts för de förvarstyper, som angivits i KBS-1 och KBS-2. Liknande analyser har genomförts för ett antal utländska förvarskoncept. Spännings- och deformationsmätningar i full skala har gjorts bl a i Stripa.

Ytterligare FoU insatser är motiverade inom följande områden:

- Inverkan på temperaturfältet av olika förvarsutformning.
- Temperaturfält och stabilitet vid olika bergartstyper.
- Olika metoder att åstadkomma tunnlar (sprängning, fullortsborrning) samt deras effekt på bergets hydrauliska konduktivitet.
- Påverkan av olika byggnadsmaterial och eventuella föroreningar på förhållandena i närområdet.

Även studier av förvarsutformningar, som radikalt skiljer sig från förslagen i KBS-1 och 2 förutses, t ex deponering i djupa borrhål.

För de bergmekaniska studierna är avdelningen för berg- och anläggningsteknik, LuH huvudkonsult.

4.3.4 Närområdeskemi

Närområdeskemin belyser interaktionen mellan komponenterna i förvaret.

De närområdeskemiska studierna har tre huvudmålsättningar, nämligen att

- visa hur kemiska förändringar i närområdet påverkar närområdets barriärfunktioner och geosfärens egenskaper,
- bestämma hastigheten för de processer som kan styra korrosionen av kapslingen,
- ange när, hur fort och i vilken form radionuklider kan lämna närområdet och börja transporteras med grundvattnet i geosfären.

Internationellt pågår, speciellt i USA, Kanada och Schweiz, geokemiska modellberäkningar av stabiliteten hos olika komponenter i närområdet.

För att kunna avgöra i vilken form och i vilken maximal koncentration som radionukliderna kan transporteras ut ur närområdet är det även nödvändigt att känna dessa ämnens växelverkan (redoxreaktioner, komplexbildning, upplösning, utfällning, medfällning och kolloidbildning) med övriga ämnen i närområdet (berg, buffert, grundvatten och avfallsmatris). Av vikt är framförallt då aktiniderna och teknetium. En fördjupning av kunskaperna om kemiska basdata liksom grundläggande studier av komplex och kolloidbildning under olika miljöbetingelser i närområdet har således en hög prioritet i det fortsatta arbetet.

Arbete pågår för att beräkna effekten av radiolys och experimentellt verifiera dessa beräkningar. Vätgasdiffusion i bentonit liksom halt och tillgänglighet av tvåvärt järn i bentonit och omgivande berg är viktiga parametrar i radiolysstudierna.

En viktig funktion hos bufferten är att förhindra strömmande vatten från att nå avfallskapslingen eller avfallet. All transport av lösta ämnen till eller från avfallet måste ske via diffusion genom buffertmassan. Huvuddelen av transportmotståndet uppkommer vid överföringen mellan bufferten och det långsamt strömmande vattnet i intilliggande bergsprickor. Tillgången till grundvatten kring ett deponeringshål utgör ett viktigt randvillkor.

Transportmodeller för närområdet är under utveckling i Sverige och i USA.

Diffusion av vätesulfid och kolloider i högkompakterad bentonit studeras i samarbete mellan institutionen för kärnkemi, KTH och institutionen för geofysik, LuH. Betydelsen av infångande tillsatser (getters) liksom diffusion av aktinider studeras vid institutionen för kärnkemi, CTH. Diffusionsförsök i olika leror pågår dessutom i USA, Kanada, Schweiz och Belgien.

Radiolysberäkningar genomförs av Studsvik och parallellt görs radiolysförsök på institutionen för kärnkemi, KTH.

En översiktlig kemisk karaktärisering av närområdet genomförs på Risø i Danmark och skall vara avslutad till årsskiftet. Här ingår även modellberäkningar.

Löslighet, komplexbildning, redoxjämvikter och kolloidbildning med speciell tonvikt på aktinider ingår i uppdrag till institutionerna för oorganisk kemi, KTH resp kärnkemi, CTH.

Grundläggande grundvattenkemiska studier baserade på vattenprover från de svenska undersökningsområdena kommer att genomföras vid Louis Pasteur-universitetet i Strassbourg.

Den kemiska karaktäriseringen av närområdet liksom de grundläggande studierna av aktinidernas kemi beräknas pågå hela 5-årsperioden.

En kontinuerlig bearbetning av närområdets kemi och dess betydelse för förvarets långtidfunktion förutses under en följd av år. Planeringen anpassas till den takt varmed nya och förbättrade basdata kommer fram.

4.4 GEOSFÄR

Med geosfär menas här den naturliga berggrunden med sina sprickor och krosszoner samt berggrundvattnet som utgör transportmediet för radionukliderna från förvaret till biosfären.

Närzonen slutar där de naturliga förhållandena inte längre väsentligt påverkas av förvaret. Biosfären tar vid där nuklidtransporten domineras av de ekologiska sambanden i biosfären.

Avsnittet har uppdelats enligt följande:

- Grundvattenrörelser
- Nuklidspridning
- Geologisk stabilitet
- Instrument och metoder för datainsamling
- Tätning av borrhål, tunnlar och schakt
- Platsundersökningar

4.4.1 Grundvattenrörelser

Kunskaper om berggrunden, och dess struktur samt grundvattenströmningen i förekommande sprickor är en av grundförutsättningarna för en säkerhetsanalys av ett slutförvar. Forskningen syftar till att belysa transporttider och transportvägar av i grundvattnet lösta ämnen från förvaret genom bergmassan till biosfären.

För beräkning av flödesmängder och grundvattnets strömningstider krävs kännedom om grundvattenytans lutning (gradient) samt bergmassans hydrauliska konduktivitet och porositet. Den hydrauliska konduktiviteten och porositeten varierar i bergskroppen beroende på bergmatrisens struktur och förekomsten av sammanhängande spricksystem.

Den pågående forskningen syftar bl a till att bättre definiera och klassificera förekommande sprickor och sprickzoner, då det är i dessa som den dominerande grundvattenströmningen sker. Spår försök har utförts i Finnsjön och Studsvik för att öka förståelsen av den hydrauliska ledningsförmågan och dispersionen samt av porositetens och sprickviddernas inverkan på dessa. Ytterligare spår försök har påbörjats i den lågpermeabla graniten i Stripa. Olika metoder för bestämning av den hydrauliska konduktiviteten har analyserats och testats. Geofysiska mellanhålmätningar är hjälpmedel för att lokalisera sprickzoner. Utveckling av elektriska, elektromagnetiska och seismiska metoder för detta har påbörjats och kommer att fortsätta under den närmaste 5-årsperioden.

En matematisk modell för att simulera 3-dimensionell hydrotermisk grundvattenströmning har utarbetats. Hänsyn tas här till

värmefflödet från förvaret, grundvattnets viskositetsförändring samt anisotropi hos den hydrauliska ledningsförmågan.

Målsättningen med det långsiktiga forskningsprogrammet är att förbättra metoderna för beräkning av grundvattnets strömning.

En utveckling av metoder för mätning och tolkning av grundvattenrörelserna i kristallint berg kommer att fortgå parallellt med de platsundersökningar som beskrivs i 4.4.6.

Parallellt med KBS egna insatser inom detta forskningsområde följs också utvecklingen i andra länder.

Som huvudkonsulter anlitas Sveriges Geologiska Undersökning för merparten av de forskningsinsatser som berör grundvattenströmning i berg. Modellutveckling sker främst vid institutionen för kulturteknik, KTH.

4.4.2 Nuklidspridning

Transport av radioaktiva ämnen i geosfären sker genom strömmande grundvatten.

Beräkningar av nuklidtransporten utgår från de hydrogeologiska strömningsberäkningarna varvid hänsyn tas till den kvarhållning och fördröjning av de olika radionuklider som sker genom sorptions- och utfällningseffekter. Hänsyn måste därvid tas till nuklidomvandlingen vid radioaktivt sönderfall. Beräkningarna ger den takt och den halt i vilken radionukliderna når biosfären.

Den kemiska växelverkan som sker i närområdet bestämmer när, hur fort och i vilken kemisk form nukliderna läcker ut till geosfären.

En geokemisk karakterisering av fjärrområdet sker i anslutning till platsundersökningarna. Geokemiska modellberäkningar för att belysa ursprung och utveckling av grundvatten och sprickfyllnadsmineral av betydelse ur förvarssynpunkt förekommer främst i USA men arbeten har också igångsatts i Kanada, Schweiz och Frankrike.

Sorptionen påverkas av jonernas laddning och valens. Den starkaste sorptionsbenägenheten finner man hos högre laddade metalljoner som dock genom sin högre polaritet har en tendens att bilda aggregat med annan laddning och andra sorptionsegenskaper. Det finns också en stark koppling mellan löslighet och sorption. Aktinider har allmänt lägre löslighet och högre sorption under de reducerande betingelser som råder nere i berget än vid närvaro av luft.

Komplexbildning har stor betydelse för transportprocessen. De viktigaste naturligt förekommande komplexbildarna är karbonat och hydroxid. Komplexbildning mellan organiskt material i grundvattnet (humus- och fulvosyror) och aktinider är av mindre betydelse vid djupt liggande förvar.

Radionuklider i form av kolloider eller pseudokolloider kan potentiellt minska sorptionen i geologiska system.

Det fortsatta arbetet inriktar sig på de för säkerhetsanalysen väsentliga elementen Th, Pa, U, Np, Pu och Tc. Redox- och komplexreaktioner liksom inverkan av olika sprickfyllande material beaktas i experimenten. Särskilda ansträngningar görs för att få fram bättre data för Np, Pu och Pa. Rörlighet och sorption av kolloidala specier studeras likaså.

De internationella insatserna har varit massiva då det gäller sorptionsförsök. Ett OECD-NEA projekt ISIRS syftar till att samla och organisera den tillgängliga informationen och SKBF deltar i detta.

Laboratoriemätningar och observationer av ostört berg visar att nuklider kan diffundera från de större vattenförande sprickorna genom ytbeläggningar in i bergets system av mikrosprickor. Sprickytorna i korngränserna sorberar radionukliderna på samma sätt som ytorna i de större sprickorna. Detta ger en mångfaldigt större yta för sorption och har en avgörande effekt på fördröjningen av radionuklidernas vandring i berget.

Arbeten pågår för att mäta bergmatrisens porositet och diffusivitet, ytbeläggningarnas genomsläpplighet och inverkan av bergtrycket på dessa parametrar.

För att verifiera modellberäkningar, teoretiska bedömningar och laboratorieförsök görs in situ-försök med spårämnen.

Den geokemiska karakteriseringen av berg- och grundvatten, liksom de grundläggande studierna av radionuklidernas kemi och retention i geosfären, beräknas pågå hela den kommande femårsperioden.

Den internationella utvecklingen på detta och angränsande områden kommer att följas. Den huvudsakliga uppläggningsen av nuvarande insatser enligt nedan, kommer att bibehållas.

- Geokemiska studier av grundvatten med sikte på att beskriva redoxförhållanden, löslighet och komplexbildning pågår på institutionen för oorganisk kemi, KTH. Här följs även den pågående vattenprovtagningen vid borrhållarna upp.
- Bildning och transport av kolloider studeras på institutionen för kärnkemi, CTH.

- Komplexbildning med humusämnen undersöks på New York State University i Buffalo.
- Sorption av aktinider och teknetium liksom tillhörande jämvikter studeras på institutionen för kärnkemi, CTH.
- Laboratoriemätningar av fördröjning i spricka samt mätning av diffusion i bergprover och på mineralytor görs på institutionen för kemisk apparatteknik, KTH.
- Geologisk evidens för indiffusion söks i samband med de studier av uranmobilitet som genomförs vid SGU i Luleå. Försök pågår även att konstatera kloriddiffusion kring saltvattenförande sprickor (SGU, Göteborg och institutionen för kemisk apparatteknik, KTH).
- In situ-studier av radionuklidmigration i berg utförs av Studsvik.
- In situ-försök för att bestämma porositeten och därmed kapaciteten för volymsorption i ostört berg utförs i Stripa av institutionen för kemisk apparatteknik, KTH.
- En matematisk modell för att beskriva geosfärstransport av nuklider med grundvatten är under utveckling vid institutionen för kemisk apparatteknik, KTH. Modellen inkluderar bl a matrissorption i berget samt dispersion.

4.4.3 Geologisk stabilitet

Det svenska urberget tillhör den sk Baltiska skölden och utgörs av kristallina bergarter. Urbergsskölden, betraktas som ett av de mest stabila områdena i jordskorpan. Lokala sprickrörelser och regionala landhöjningar har dock förekommit även efter det att urbergets bergskedjor eroderades ner för ca 600 miljoner år sedan. Inga tecken tyder på att genomgripande berggrundsörelser kommer att äga rum under de närmaste årmiljonerna men det kan inte helt uteslutas att spänningsförhållanden i berggrunden kan utlösa lokala sprickrörelser.

Spänningsomlagringar och rörelser i berggrunden kan ge upphov till jordskalv. Med tillgång till data från seismometerregistreringar kan mekanismen för jordskalvet analyseras till rörelsens storlek, riktning och läge.

Syftet med studierna av de kristallina bergarternas stabilitet är således att göra en prognos över framtida förändringar och effekten av dessa på förvaret och grundvattenströmningen.

Jordskalven har visat sig i flera fall ha sk efterskalv. Dessa anses vara av samma typ som huvudskalven. Genom att installera mobila seismometrar i omgivningen av ett observerat jordskalvs-

epicentrum, kan rörelserna i berggrunden vid efterskalv studeras mera i detalj. Detta ger data för en kvantitativ beskrivning av hur berget berörs av pågående spänningsomlagring och en möjlighet att korrelera till tektoniska svagheter. I det nu pågående programmet ingår insamling av data från efterskalv för att tolka rörelsemekanismerna.

En fältstudie har genomförts, där man sammanställt frekvenser och förskjutningar av enskilda sprickor i bergblottningar.

Den närmaste 5-årsperioden kommer dels att innefatta forskning kring påvisade och förmodade neotektoniska fenomenen i Sverige, dels bedömning av sannolikheten att sprickrörelser skall ske inom typområdena.

Möjligheterna att utnyttja bergspänningsmätningar och åldersbestämning av förekommande sprickmineral för tolkning av ett områdes tektoniska historia kommer att studeras.

Undersökningarna av berggrundsrörelser med seismometri och analys av efterskalv kommer att fortsätta.

För denna forskning är för närvarande Sveriges Geologiska Undersökning och därtill knutna konsulter samt seismologiska avdelningen vid Uppsala Universitet engagerade.

4.4.4 Instrument och metoder för datainsamling

En stor del av forskningsinsatserna beträffande geosfären gäller instrument och metoder för datainsamling.

Omfattande insatser har under de senaste åren gjorts av SKBF för utveckling av instrument och metoder för hydrogeologiska mätningar. Bl a har en ny utrustning tagits fram för mätning i borrhål av bergets hydrauliska konduktivitet. Denna utrustning är nu färdigställd och utprovad och användes rutinmässigt vid mätningar i undersökningsområdena. Alla data samlas på band och en preliminär bearbetning av resultaten sker direkt på platsen via en dator.

En utrustning för kemiprovtagning av grundvatten har testats i fält. Provtagningen styrs av förändringar i pH, Eh, pS^{2-} eller pO_2 som mäts kontinuerligt och registreras digitalt. Vidare pågår arbete med en utrustning för att mäta dessa storheter direkt i borrhålet mellan avgränsande manschetter.

Utveckling av instrument och metoder för att bättre karakterisera bergmassans struktur och egenskaper mellan tillgängliga undersökningspunkter pågår. Tonvikten har lagts på seismiska, elektriska och elektromagnetiska metoder.

Insatserna under den närmaste femårsperioden kommer att omfatta en fortsatt utveckling av geofysiska instrument och metoder för mellanhålmätningar och mätningar mellan borrhål och markyta. Ett programförslag för en sådan utveckling, där insatserna koncentreras till fortsatt utveckling av seismiska och elektromagnetiska metoder, har tagits fram för ett eventuellt genomförande i Stripa (jfr avsnitt 7.2).

Framtagning av instrument och metoder för bergspänningsmätningar i lutande vattenfyllda hål och med diametern 56 mm är under förberedande och en utveckling förutsätts ingå i den kommande femårsperioden.

För framtagning av instrument och metoder anlitar SKBF främst Sveriges Geologiska Undersökning, IPA-Konsult, Försvarets Forskningsanstalt, avdelningen för bergmekanik, LuH och institutet för oorganisk kemi, KTH.

4.4.5 Metoder för tätning av borrhål, tunnlar och schakt

Återfyllning av bergutrymmen som inte upptas av avfall, kapslar eller buffert utgör en del av barriärsystemet.

Metoder att packa och täta material har länge använts inom dammbyggnads- och vägbyggnadstekniken. Inom gruvtekniken har fyllning av utsprängda utrymmen använts för mekanisk stabilisering, dock utan speciella täthetskrav. För att förbättra tätheten hos sprickigt berg kan t ex cementbruk injekteras i borrhål. Från slutförvarssynpunkt är metoder att varaktigt täta hål i berget av stort intresse och speciellt metoder som minskar den hydrauliska konduktivitet som härrör från störningar i det utsprängda bergets ytzon.

Metoder att plugga borrhål med cementblandningar studeras i USA, främst för salt- och basaltförhållanden.

Högkompakterad bentonit kan genom sin svällande förmåga täta sprickor. En återfyllning av borrhål med pluggar av detta material i perforerade rör har testats i laboratorium och i fält.

Under de närmaste fem åren kommer huvudvikten att läggas vid utveckling av metoder att plugga tunnlar och schakt, speciellt partier med öppna sprickor och krosszoner. Härvid kommer förutom bentonit även andra material (t ex MgO) och blandmaterial att prövas.

I FoU-programmet för de närmaste fem åren ingår

- pluggningsexperiment i Stripa med högkompakterad bentonit (jfr avsnitt 7.2),

- laboratorietester av blandmaterial (t ex bentonit/MgO),
- studier av geologiska analogier för svällmaterials självtätningensförmåga i berggrunden.

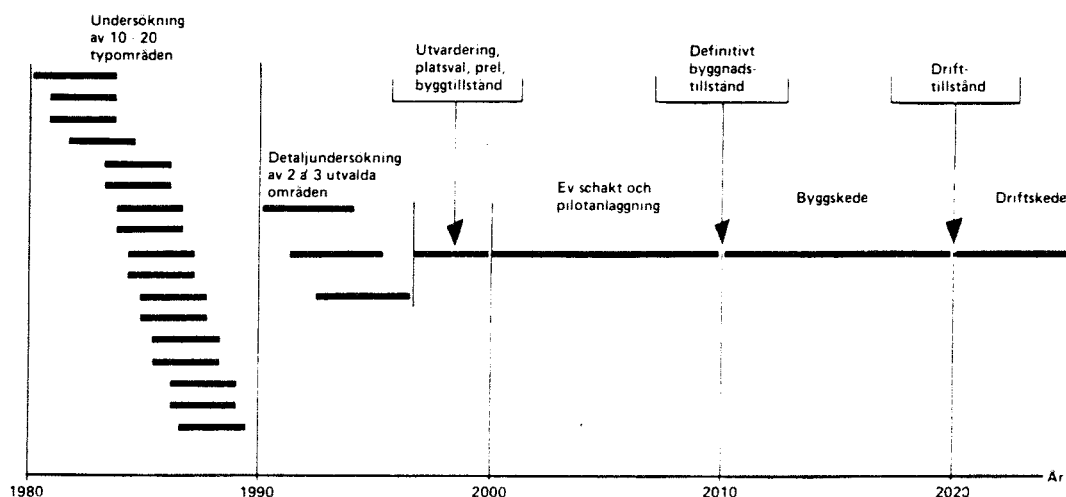
Arbetena genomförs huvudsakligen av avdelningen för geoteknik, LuH.

4.4.6 Platsundersökningar

En översiktlig tidplan för platsundersökningarna visas i figur 4-2.

Vid det slutliga valet av plats för ett slutförvar är de lokala geologiska och hydrologiska förhållandena av avgörande betydelse. Innan detta val träffas krävs därför omfattande undersökningar av flera tänkbara områden så att valet kan grundas på tillräckliga kunskaper om flera "typområden". För dessa undersökningar har SKBF och SGU utarbetat ett s k standardprogram med i stort följande innehåll.

Ett 1 omfattar ett inledande studium av regionala förhållanden inom ett antal områden med hjälp av tillgängliga geologiska, geofysiska och topografiska kartor, satellit- och flygbilder, brunnarkivdata, markägaruppgifter mm. Dessa studier leder fram till ett mindre antal intressanta områden som därför översiktligt fältrekognosceras.



Figur 4-2. Översiktlig tidplan för geologiska undersökningar och byggande av slutförvar, SFL

Om ett område därefter fortfarande bedöms vara av intresse inhämtas markägarnas tillstånd för vidare undersökningsarbeten och borrning och ett första djupt borrhål utföres. Dess uppgift är att visa om området erbjuder gynnsamma bergförhållanden även på större djup, innan man går vidare med de följande, mer tids- och kostnadskrävande arbetena.

Etapp 2 består i huvudsak av detaljerade geologiska och geofysiska ytundersökningar med uppgift att klargöra områdets hydrogeologiska huvuddrag, samt ta fram underlag för planeringen och inriktningen av kommande djupundersökningar.

Man försöker här att från ytan urskilja de befintliga större partierna av bra berg, och att kartlägga de störningszoner som kan påverka grundvattenrörelserna och det tillgängliga utrymmet för ett förvar.

Ytundersökningarna följs därefter av hammarborrade hål till 100-200 m djup. Därvid undersöks framförallt de ytindikerade störningszonernas karaktär, riktning mot djupet och deras eventuella samband.

I denna etapp ingår också undersökningar av de större störningszoner, som utgör undersökningsområdets hydrologiska gränser. Pumpning i borrhål riktade genom sådana zoner och mätning av grundvattensänkningen i omgivande observationshål, kan ge en uppfattning om vatten både i störningszonen och omgivande partier av bra berg.

Den geologiska tolkningen av resultaten från denna etapp ger en första bild av störningszonernas sannolika läge på större djup och av utbredningen av bra berg mellan dessa. Med ledning härav planeras de djupundersökningar som följer.

I etapp 3 undersöks fördelning av och egenskaper hos bra berg och störningszoner på större djup. Detta sker i ett begränsat antal djupa kärnborrhål ned till och förbi avsett förvaringsdjup. Hålen ger möjlighet till provtagning av berg och dess sprickzoner samt till geofysiska och hydrauliska mätningar. Provtagning och analys av grundvattnet från avgränsade sektioner belyser de kemiska förhållandena kring ett tänkt förvar.

I etapp 4 sammanställs och utvärderas erhållna data.

De utförda mätningarna ger de indata som krävs för en beräkning av grundvattenrörelserna i området.

Under utvärderingsetappen kan det visa sig önskvärt att utföra vissa kompletterande fältundersökningar för att täcka luckor i tidigare observationsmaterial.

I ett tidigare skede har områdena Finnsjön, Kråkemåla och Sternö undersökts. F n pågår undersökningar i Ovanåkers, Nyköpings, Örnsköldsviks och Kalix kommuner.

Hittills genomförda studier har praktiskt taget helt avsett bergarter med granitisk sammansättning. Andra bergarter, exempelvis gabbro och de i fjällkedjan förekommande ultramafiterna, kan enligt preliminära bedömningar ha goda förutsättningar att uppfylla de krav som ställs på en omgivande bergbarriär. Sådana bergarter kommer att undersökas.

Som framgår av figur 4-2 avses 10 å 20 områden representerande olika bergartsammansättning att undersökas enligt det "standard-program" som beskrivits ovan. Omkring år 1990 förutses en utvärdering av det samlade materialet att göras, varvid 2-3 av dessa områden väljs ut för mer detaljerade studier. Under mitten av 1990-talet kommer så valet av område för en avfallsanläggning att ske. Tid finns då för utförande av schakt ner till förvarsnivån för verifiering av bergbeskaffenheten samt utförande av en eventuell pilotanläggning.

4.5 BIOSFÄREN

4.5.1 Global och regional spridning

Kunskap om radioaktiva ämnens spridning i biosfären är en förutsättning för beräkning av dosbelastningar från utsläpp av radionuklider i olika biosfärsrecipienter. Kunskapen syftar också till att ge en kvalitativ förståelse för vikten av de olika överföringsleden i spridningsprocessen samt konsekvensen av förändringar i dessa.

Spridningen i biosfären kan beskrivas på två nivåer; den regionala spridningen definierar koncentrationer av radionuklider i de delar av biosfären som ger upphov till de maximala individdoserna. I denna nivå dominerar spridningen ofta av förhållanden i den initiala recipienten och människornas utnyttjande av denna.

Den globala spridningen styrs i hög utsträckning av den storskaliga transporten i världshaven, sedimentationsförhållanden i dessa och den globala fördelning mellan biologiskt tillgänglig och otillgänglig del av de olika ämnena.

Då de svenska strålskyddsnormerna syftar till att begränsa både den individuella dosen och den totala populationsdosen från radiologisk verksamhet, måste båda spridningsnivåerna studeras.

För att beräkna biosfärsspridningen finns ett flertal matematiska modeller tillgängliga i världen. SKBF använder idag en av Studsvik Energiteknik utvecklad modell (BIOPATH). En internatio-

nell jämförelse - utvärdering av biosfärmodeller pågår i IAEAs regi.

En stor mängd nuklidspecifika data om överföringsfaktorer mellan olika reservoarer i biosfären finns tillgängliga i den internationella litteraturen. De uppvisar emellertid en avsevärd spridning, vilket medför en betydande osäkerhet i beräkningarna.

Den internationella verksamheten kommer att bevakas. Provtagning kommer att ske i intressanta områden inom landet. De egna insatserna knyts till isotoper som dominerar riskbilden för de aktuella förvarsutformningarna och till miljöer som är karakteristiska för svenska förhållanden. Materialinsamlingen planeras ske kontinuerligt.

För närvarande utnyttjas främst Studsvik Energiteknik till dessa insatser tillsammans med lantbrukshögskolan i Ultuna och SGU.

4.5.2 Platsspecifika förhållanden

En stor del av osäkerheten i våra data om överföringsfaktorer i biosfären föranses av olikheter i miljöförhållandena från plats till plats. Har man möjlighet att isolera dessa platsspecifika effekter så kan deras betydelse för spridningsbilden i biosfären bedömas.

För närvarande finns endast mindre insatser gjorda inom området i Sverige. Ett omfattande grundmaterial har dock tagits fram av Naturvårdsverket rörande exempelvis tungmetallers rörlighet i de svenska sjöarna. Viss platsspecifik information rörande om-sättningen av naturligt förekommande radioaktiva ämnen föreligger också från uranprospekteringen.

Ytterligare insatser knyts till isotoper intressanta ur slutförvaringssynpunkt och områden som är aktuella för platsundersökningar (se avsnitt 4.4.6).

Viss del av informationen tas fram i anslutning till platsundersökningarna och arbetet förutses bli genomfört i två etapper. Den första bedöms vara genomförd till slutet av 1988.

En andra etapp genomförs till 1995 och utgör en vidarebearbetning, inklusive provtagning av vissa kemiskt eller geologiskt speciella recipienter, för att förbättra kunskapen om spännvidden i betydelsefulla parametrar.

4.5.3 Långtidsförändringar

De långa transporttiderna genom geosfären medför att konsekvenserna för människan av ett slutförvar för radioaktivt avfall

ger sig till känna först efter mycket långa tider, troligen längre än den tid människan existerat som art.

Förändringar av betydelse för säkerhetsbedömningen sker i olika tidskalor:

Tidskala	Förändringar
10^2 år	Recipientförändringar som igenväxtning av sjöar etc
10^4 år	Klimatiska förändringar som istider etc
10^6 år	Evolutionssknutna förändringar som uppkomst av nya arter etc
10^8 år	Geologiska förändringar som bergskedjebildning etc

Vissa analyser av förändringarnas ramar och karaktär är av betydelse för att kunna bedöma säkerhetsanalysens resultat och den detaljeringsgrad som är meningsfull.

Dessa analyser bör inriktas på förändringar inom tidskalan 10^4 - 10^6 år då effekter av klimatiska och evolutionära förändringar dominerar bilden. Hänsyn till förändringar inom kortare tidsrymder tas genom att analysera specifika lokala förhållanden, som representerar ogynnsamma utfall av spridningen av utläckta ämnen.

Den fennoskandiska urbergssköldens höga stabilitet medför att geologiska förändringar av betydelse för biosfärsspridningen inte bedöms aktuella.

En beskrivning av de förändringar som förorsakas av en istid bör främst knytas till de skeden före och efter istiden, då de klimatiska förhållandena tillåter bofast befolkning. Beskrivningen bör beröra spännvidden av förändringar och vilka naturgeografiska fenomen som kan förväntas vara oföränderliga.

Evolutionära förändringar belyses genom spännvidden i nuvarande ekosystem på jorden.

Forskningsområdet styrs i hög grad av hur norm- och kriteriesystemet kring långtidsförvaring av radioaktivt avfall byggs upp och hur detta system kommer att bedöma betydelsen av möjliga effekter i en avlägsen framtid.

Insatser inom SKBF syns endast vara meningsfulla i mindre omfattning för att belysa betydelsen av långtidsförändringarna.

4.5.4 Naturlig radioaktivitet

Som framgått av övriga avsnitt under 4.5 innebär de långa tidsperspektiven ett betydande osäkerhetsmoment i biosfärsspridningen. Genom att även människan kan komma att förändras syns de idag accepterade riktlinjerna och normsystemen vara en alltför osäker grund för en långsiktig acceptansbedömning. Den enda jämförelsebas som kan förutsättas ha någon högre grad av långsiktig stabilitet är halten av naturligt förekommande radioaktiva ämnen i det biologiska systemet och berggrunden. En utgångspunkt kan vara att ett slutförvar även under mycket långa tider inte skall förändra de radioaktiva förhållandena i omgivningen i väsentlig grad. Ett sådant acceptanskriterium är i stort oberoende av ekologiska förändringar och av framtida tillåtlighetsbedömningar.

Ett omfattande material om förekomst av radioaktiva ämnen i naturen har tagits fram genom bl a SSI och SGU.

Under 1980-talet kommer provtagning av grundvatten och vissa biosfärsreservoarer att ske vid varje undersökningsplats. Denna provtagning samordnas med provtagningen för att bedöma olikheter i platsspecifika förhållanden enligt 4.5.2.

Försök till verifikation av spridningsberäkningar i geosfär och biosfär kommer att göras genom studier av naturliga analogier. Sådana större insatser bör kunna genomföras i internationellt samarbete.

4.6 METODER FÖR SÄKERHETSANALYSER

I detta avsnitt behandlas behovet av utvecklingsinsatser för att utvärdera den totala säkerheten dels under driftskedet, dels under förvaringsskedet. De båda skedena behandlas separat då det i det första fallet handlar om säkerhetsanalys av aktiva system med möjlighet till kontroll och korrigerande åtgärder medan det under förvaringsskedet är en analys av ett passivt system där osäkerheten främst ligger i de yttre förutsättningarna.

4.6.1 Hantering, konditionering och transporter

Säkerhetsanalysen utgör en systematisk beskrivning av den radiologiska säkerheten i den normala hanteringen, risken för spridning av radioaktiva ämnen och de radiologiska konsekvenserna av sådan spridning.

Utvärderingen av verksamheten sker enligt de riktlinjer och normer som fastslagits av ansvariga myndigheter samt rekommendationer av internationella organisationer.

Metoder för säkerhetsanalys av radiologiskt arbete har inom kärnkraftverksamheten utvecklats så att de idag rutinmässigt kan tillämpas för tillåtlighetsbedömningar av verksamheten. Avfallshanteringen är till stora delar av likartad karaktär. Vissa material och miljöer är dock oprövade.

4.6.2 Förvaringsskedet

Svårigheten vid säkerhetsbedömning av långtidsförvaringssystem ligger främst i bredden av möjliga förändringar i omgivningen och tolkningen av förändringarnas inverkan på avfallssystemet. Genom att välja material och miljöer vars långtidsegenskaper kan styrkas med hjälp av geologisk evidens ges möjlighet till en generell och långsiktig säkerhetsmässig karakterisering av ett förvarssystem. Värdet av säkerhetsbedömningar i miljonårs-skala kan dock ifrågasättas.

Säkerhetsanalyser genomförs normalt i två steg

- a) Val och karakterisering av de processer eller händelser som skall behandlas (scenarioanalys)
- b) Beräkning av scenariots konsekvenser för omgivningen (konsekvensanalys).

Några speciella frågeställningar som blir aktuella vid säkerhetsvärderingen är:

- Hur skall man skall väga risker som uppkommer vid olika tider mot varandra, t ex hur värderas en hantering, som ger högre yrkesdoser idag mot nyttan av att man därmed kanske kan vinna 10 000 år i kapsellivslängd.
- Hur skall dosbidrag från mycket långlivade ämnen värderas. Speciellt gäller detta de radioaktiva ämnen som finns i uranmalm oavsett om den används i reaktorbränsle eller får ligga kvar som malm.

Frågor av denna typ bör behandlas i internationellt samarbete och i nära kontakt med säkerhetsansvariga myndigheter. Insatser görs för närvarande av IAEA och OECD/NEA. SKBF kommer att följa och delta i detta arbete.

4.7 SYSTEMUTFORMNING

4.7.1 Allmänt

Såsom framgått av det föregående finns inom gällande ramar möjligheter till alternativa utformningar av i slutförvaren ingående komponenter.

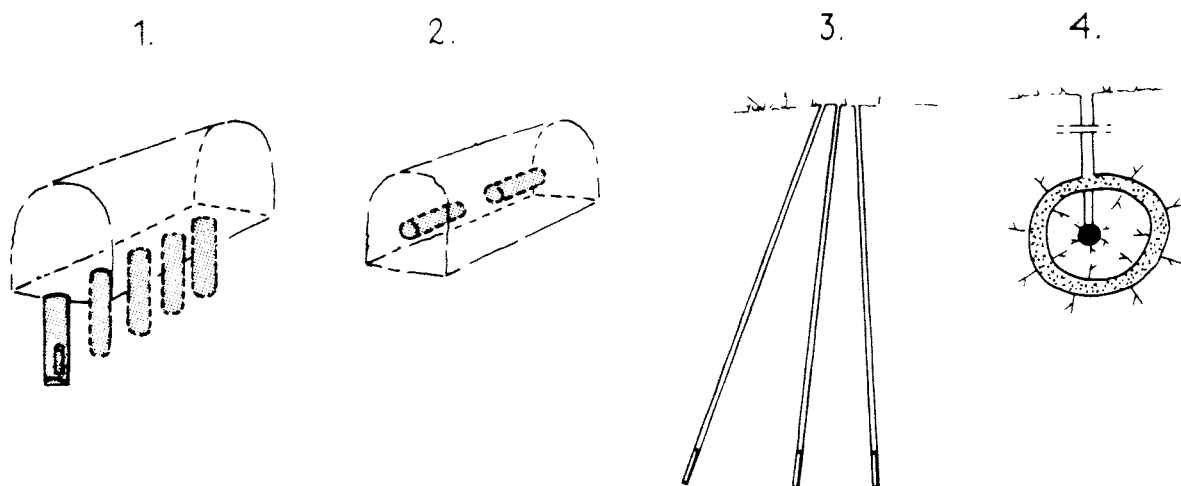
Därutöver föreligger möjligheter till principiellt olika utformning av slutförvaringssystemet.

För det låg- och medelaktiva långlivade avfallet från upparbetning har hittills förutsatts en förvaring i anslutning till det högaktiva avfallet. Detaljutformningen av slutförvaret blir beroende på den kemiska sammansättningen av det låg- och medelaktiva avfallet. Enligt gällande planer skall specifikationer för detta avfall redovisas av Cogema i en första utgåva under 1982/83. Fördjupade studier av lämplig slutförvarsutformning kommer därefter att påbörjas.

För slutförvaret för högaktivt avfall eller använt bränsle belyses härnedan några tänkbara varianter i utformningen.

4.7.2 Geometrisk utformning

Följande olika geometriska typutformningar av ett slutförvar för högaktivt avfall eller använt bränsle i kristallint berg har diskuterats, se figur 4-3.



Figur 4-3. Möjliga utformningar av slutförvaret

1. Deponering av avfallet i korta borrhål, som borrar i utsprängda tunnlar på stort djup.
2. Deponering av avfallet i utsprängda tunnlar på stort djup.
3. Deponering av avfallet i mycket djupa borrhål, som borrar från markytan.
4. Deponering av avfallet i en isolerad bergkropp som avgränsas från omgivningen med ett tätande material.

De hittills genomförda svenska studierna liksom ett stort antal utländska har baserats på en geometri enligt punkt 1 ovan. Denna utformning har bedömts ha följande fördelar:

- Om en enstaka kapsel skulle vara eller bli otät kan de kemiska miljöbetingelserna försämrats till följd av radiolys. Genom att kapslarna är separerade från varandra i skilda borrhål begränsas risken för att en sådan händelse skall leda till följdskador på angränsande kapslar.
- Genom att varje enskilt borrhål kan granskas med avseende på sprickförekomst och vatteninläckning, innan man avgör om det skall användas för deponering, kan man förvissa sig om att närområdet runt varje kapsel är av tillfredsställande beskaffenhet.

En variant av alt 1, där förvaret fördelas på två eller flera nivåer kommer att studeras; likaså effekten av placering på olika djup.

En stor del av de undersökningar, som ingår i SKBFs program är tillämpliga på alla de ovan angivna typutformningarna. Alt 2 bedöms inte kräva några särskilda ytterligare studier. Alt 3 kräver en omfattande utveckling av undersökningstekniken. Sådan utveckling pågår utomlands, företrädesvis i Schweiz.

En översiktlig studie av en variant av alt 4 (WP-cave) har genomförts av SKBF. Därvid framkom att metoden

- baserar sin långsiktiga säkerhet enbart på en konstgjord barriär, ett lerskikt i en utsprängd slits runt förvaret
- metoden ger mycket höga temperaturer under långa tider
- är tekniskt komplicerad och bl a det lossprängda bergets och betongkonstruktionernas långtidsbeteende är svårbedömda

Då metoden ej heller ur "cost-benefit"-synpunkt synes överlägsen andra möjliga metoder, avser SKBF t v inte att ytterligare studera denna utformningstyp.

4.7.3 Temperaturer, barriärer, grundvatten

Härovan har olika alternativ för slutförvarets geometriska utformning berörts. Även variationer av annan typ är tänkbara. Således kan man tänka sig att

- medge högre temperaturer i förvaret
- variera barriärfunktionen hos kapsel resp buffert
- förlägga och utforma förvaret så att grundvattentransport av radionuklider förhindras.

Genom att medge höga temperaturer kan förvarets utsträckning och därmed kostnaden begränsas. I utländska koncept använder man sig ofta av högre temperaturer. Skälen varför man i Sverige inriktat sig på relativt låga temperaturer ($< 100^{\circ}\text{C}$) har redovisats i avsnitt 4.1. I det fortsatta arbetet är det naturligt att även belysa inverkan av höga temperaturer.

Kapseln har i de svenska koncepten givits en totaliserande funktion under mycket lång tid och senare en funktion att tillsammans med buffertmaterialet fördela utsläppen i tiden.

I de fortsatta studierna blir det en av uppgifterna att värdera betydelsen av varje barriär för sig och undersöka möjligheterna att minska eller omfördela funktionerna hos barriärerna. Sålunda kan en avvägning ske mellan olika dimensionsförändringar hos buffert och kapsel samtidigt som förvarsdjupet varieras. Dessa studier bör tidsmässigt samordnas med den utvärdering av platsundersökningarna, som förutses ske mot slutet av 1980-talet.

För att förhindra grundvattentransport av radionuklider från förvaret krävs, att det förlägges antingen i ett grundvattenfritt område eller att särskilda åtgärder vidtas för att förhindra grundvattenströmning. Sådana åtgärder kan bestå antingen i att man omsluter förvaret med en tätskärm (som i typfall 4) eller dränerar området. Dränerande system får sin fulla effekt endast om förvaret därigenom kan torrläggas. I annat fall kommer dräneringssystemet endast att utjämna den hydrauliska gradienten över förvarsområdet ("hydraulisk bur" beskriven i KTH:s remissyttrande över KBS 2), vilket även det utgör en säkerhetsmässig fördel.

För att fullständig avtätning eller dränering skall kunna tillgodoräknas i säkerhetsbedömningen krävs dock att funktionen skall bestå under mycket långa tider. En sådan bevisning syns idag vanskelig.

5 RIVNING AV ANLÄGGNINGAR

5.1 ALLMÄNT

När kärnkraftverken, mellanlagren och behandlingsanläggningarna tagits ur drift skall de rivas och områdena återställas, så att de kan användas utan strålskyddsmässiga restriktioner. Eftersom anläggningarna till stora delar innehåller material, som har radioaktiv kontaminering, ställs speciella krav på rivningens genomförande.

Ett flertal studier av hur kärntekniska anläggningar skall rivas har genomförts på olika håll i världen. I KBS TR 79-21 redovisas hur man kan gå tillväga för att riva en svensk BWR. Slutsatsen i denna studie liksom i övriga studier är att det är fullt rimligt att riva ett kärnkraftverk med nu tillgänglig teknik. De metoder, som föreslås bli använda, utnyttjas redan i stor utsträckning vid underhållsarbeten på reaktoranläggningarna. För vissa delar t ex reaktortanken föreslås dock metoder, som endast utprovats i inaktiv miljö.

Vid rivningen erhålls betydande mängder avfall. Dessa har genomgående en sådan karaktär att det inte bedöms ge några nya problem ur slutförvaringssynpunkt. Rivningsavfall planeras bli deponerat i SFR.

5.2 UTLÄNDSK VERKSAMHET

Flera kärnkraftverk har redan slutgiltigt tagits ur drift runt om i världen, Lingen och Gundremmingen i Västtyskland, Shippingport i USA etc. Under de närmaste tio åren kommer detta antal att öka. Man kan förutse att några av dessa även kommer att rivas relativt snart efter avställningen, medan andra placeras i malpåse efter rengöring.

Detta innebär att betydande erfarenheter kommer att erhållas från det praktiska tillvägagångssättet i samband med rengöring

(dekontaminering) och rivning. I detta sammanhang bör även samreringen av TMI-2 kunna ge värdefull information.

Parallellt med direkta rivningsarbeten förutses en utveckling av metoder för att förenkla rengörings- och rivningsarbetet. Detta planeras bl a inom OECDs och EGs program samt i Frankrike, Västtyskland och USA.

5.3 PLANERING

Under den närmaste 5-årsperioden koncentreras insatserna på en uppföljning av utvecklingen runt om i världen. Med detta som grund genomförs mot slutet av perioden en förnyad fullständig rivningsstudie.

I samband med större reparations- och underhållsarbeten på de svenska kärnkraftverken kommer parallellt en kompetens att byggas upp inom kärnkraftföretagen inom områden som är betydelsefulla vid rivning. Exempel på sådana områden är dekontamineringsmetoder, ombyggnadsarbeten i radioaktiv miljö och omhändertagande av avfallet.

På längre sikt, 5-10 år innan det första kärnkraftverket skall rivas, är det lämpligt att påbörja en metodutveckling, som direkt syftar till en tillämpning vid rivning av de svenska kärnkraftverken. Ågesta-reaktorn kan därvid komma att utnyttjas för praktiska prov av rivningsmetoder, på liknande sätt som nu planeras för dekontaminering.

En stor del av det avfall, som man får vid rivning, är praktiskt taget inaktivt. För att begränsa de avfallsmängder, som måste tas om hand som radioaktivt avfall är det därför betydelsefullt att regler och mätmetoder för friklassning tas fram. Ansvaret härför vilar främst på säkerhetsmyndigheterna.

6 ÅTERANVÄNDNING AV URAN OCH PLUTONIUM FRÅN UPPARBETNING

6.1 ALLMÄNT

Det använda bränslet innehåller när det tas ur reaktorn tre huvudbeståndsdelar:

96% uran
1% plutonium
3% fissionsprodukter och övriga transuraner

Vid upparbetningen separeras bränslet i dessa beståndsdelar. Fissionsprodukterna och övriga transuraner utgör det högaktiva avfallet, medan uran och plutonium framställs i en så ren form att de åter kan utnyttjas som bränsle.

Svensk kraftindustri har slutit kontrakt med BNFL och Cogema om upparbetning av totalt 867 ton uran varvid drygt 6 ton plutonium erhålles. Uranets innehåll av den klyvbara isotopen 235 är något högre än i natururan. Plutonet består till ca 67% av de klyvbara isotoperna 239 och 241.

6.2 ANVÄNDNING AV URAN OCH PLUTONIUM

Uran, som erhålls vid upparbetning, kan åter anrikas och användas som bränsle i svenska reaktorer. Det uppfyller utan förbehandling de krav på renhet som finns i anrikningskontrakten. Upparbetningsuranet ersätter i stort sett motsvarande mängd natururan.

För plutonium finns det två möjliga användningsområden, som bränsle i en brydreaktor eller i en lättvattenreaktor. I Sverige är endast lättvattenreaktoralternativet realistiskt.

6.3 STATUS FÖR ÅTERANVÄNDNING AV PLUTONIUM I LÄTTVATTEN-REAKTORER

Plutoniumberikat bränsle, s k MOX-bränsle, har använts på prov i lättvattenreaktorer på olika håll i världen under ca 15 år. Bland annat har tre element testats i Oskarshamn I. Den största erfarenheten från såväl tillverkning som användning av plutoniumberikat lättvattenbränsle finns i Västtyskland, där totalt mer än 200 bränsleelement använts med gott resultat.

En studie av hur plutonium, som erhålls från upparbetning av svenskt bränsle, kan återanvändas i de svenska reaktorerna pågår för närvarande och beräknas bli rapporterad under hösten 1982. En preliminär slutsats, som redan nu kan dras från denna studie, är att det inte finns några tekniska hinder för ett sådant förfarande.

6.4 PLAN FÖR VERKSAMHETEN

Det fortsatta arbetet för att förbereda för återanvändning av plutonium kommer huvudsakligen att utföras av kraftföretagen. Detta består dels i att genomföra de studier, som behövs för att licensiera de aktuella reaktorerna för plutoniumberikat bränsle, dels i att optimera bränsledesignen.

Tidigaste tidpunkten för när man mera regelmässigt kan sätta in plutoniumelement är mot slutet av 1980-talet, när upparbetning av svenskt bränsle påbörjas hos Cogema i La Hague.

7 INTERNATIONELLT SAMARBETE

7.1 ALLMÄNT

Ett omfattande internationellt samarbete och informationsutbyte sker inom det forsknings- och utvecklingsområde, som syftar till ett säkert omhändertagande av radioaktivt avfall. Internationellt utbyte sker på olika plan.

- Inom officiella organisationer såsom IAEA och OECD/NEA
- Genom bilaterala eller multilaterala avtal
- Genom internationella symposier och konferenser som arrangeras av olika organisationer
- Genom utländska konsultuppdrag och informella direktkontakter mellan experter eller expertgrupper från olika länder.

Det internationella samarbetet är av stor betydelse i två avseenden:

- Totalt tillgängliga resurser och kunskaper blir bättre utnyttjade
- Möjlighet ges till en önskvärd internationell samordning av regelsystem och acceptanskrav.

Från Sverige har hittills tillsynsmyndigheterna SKI och SSI, Studsvik, Prav samt SKBF deltagit i det internationella arbetet inom IAEA och OECD/NEA. Representanter för SSI har deltagit särskilt i arbetet inom ICRP.

SKBF har träffat bilaterala avtal om informationsutbyte med US Department of Energy, DOE, Atomic Energy of Canada Ltd, AECL och schweiziska Nationale Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver Abfälle, NAGRA. Inom ramen för dessa avtal sker kontinuerligt utbyte av rapporter samt regelbundet återkommande möten för ömsesidig information. Dessa möten har i vissa fall

lett till mer konkret samarbete mellan parternas specialister. Avtalen ger också möjlighet till gemensamt finansierade projekt samt utbyte av kvalificerad personal.

Informationsutbyte, utan att särskilda avtal träffats, äger dessutom rum mellan SKBF och organisationer i Finland, Frankrike, Japan och Västtyskland liksom med EGs grupp för avfallsfrågor.

Såväl inom IAEA och OECD/NEA som andra fristående organisationer organiseras ett mycket stort antal internationella möten, kommittéer etc. Omfattningen härav är i dag så stor att en fullständig uppföljning från SKBFs sida är omöjlig. De svenska organisationer, som främst har intressen att bevaka förutom SKBF och dess delägare torde vara NAK, SKI och SSI. För att erhålla bästa möjliga utbyte av det internationella informationsutbudet, synes en viss samordning och rollfördelning mellan de nämnda svenska organen önskvärd.

7.2 STRIPA PROJECT

För närvarande pågår under KBS ledning ett internationellt samarbete i Stripa gruva i Bergslagen. Projektet, vilket är ett fristående OECD/NEA-projekt, omfattar forskning i anslutning till förvaring av radioaktivt avfall från kärnkraftverk i kristallin berggrund. Förutom Sverige deltar Finland, Frankrike, Japan, Kanada, Schweiz och USA. Projektet består av tre fristående delprojekt.

- Hydrologiska och geokemiska undersökningar i djupa borrhål
- Migrationsförsök i en enskild spricka
- Undersökning av buffert- och återfyllningsmaterial i simulerad förvarsmiljö.

Projektet, som startades i maj 1980, skall vara avslutat i maj 1984. Totalkostnaden är beräknad till ca 50 MSEK.

Ett stort intresse har visats både av OECD/NEA och de nuvarande medlemsländerna för en fortsättning av Stripa Project i en andra fas. Studier diskuteras f n under följande rubriker:

- Crosshole techniques for the detection and characterization of fracture zones in the vicinity of a repository.
- A 3-dimensional tracer experiment.
- Borehole and shaft plugging tests.
- Diffusion Tests in Buffer Materials.

Denna andra fas är planerad att starta i januari 1983 och vara avslutad under 1986. Den kostnadsram, som diskuteras, är ca 65 MSEK.

7.3 JSS-PROJEKTET

JSS-projektet är ett japanskt-svenskt-schweiziskt samarbetsprojekt för undersökning av beständigheten av radioaktivt glas i geologisk miljö. Det radioaktiva glaset, som har samma sammansättning som det föreslagna glaset från UP3 i La Hague, ställs till projektets förfogande av Cogema. De experimentella undersökningarna kommer att utföras av Studsvik och av EIR, Schweiz. Projektet leds av KBS och kommer att genomföras under tiden 1982-1984. Kostnaden, som delas lika mellan CRIEPI, Japan, NAGRA, Schweiz och SKBF, beräknas till 7 MSEK för hela tidsperioden.

8 SAMMANFATTADE TIDPLANER

Avfallsverksamheten inom SKBF syftar till säker hantering och slutförvaring av de radioaktiva restprodukterna från kärnenergi-produktionen och rivningen av de kärntekniska anläggningarna.

Planeringen utgår från att nödvändig teknik och erforderliga system och anläggningar skall finnas tillgängliga i rätt tid för att genomföra

- hantering
- transport
- mellanlagring
- konditionering
- slutlagring av restprodukter

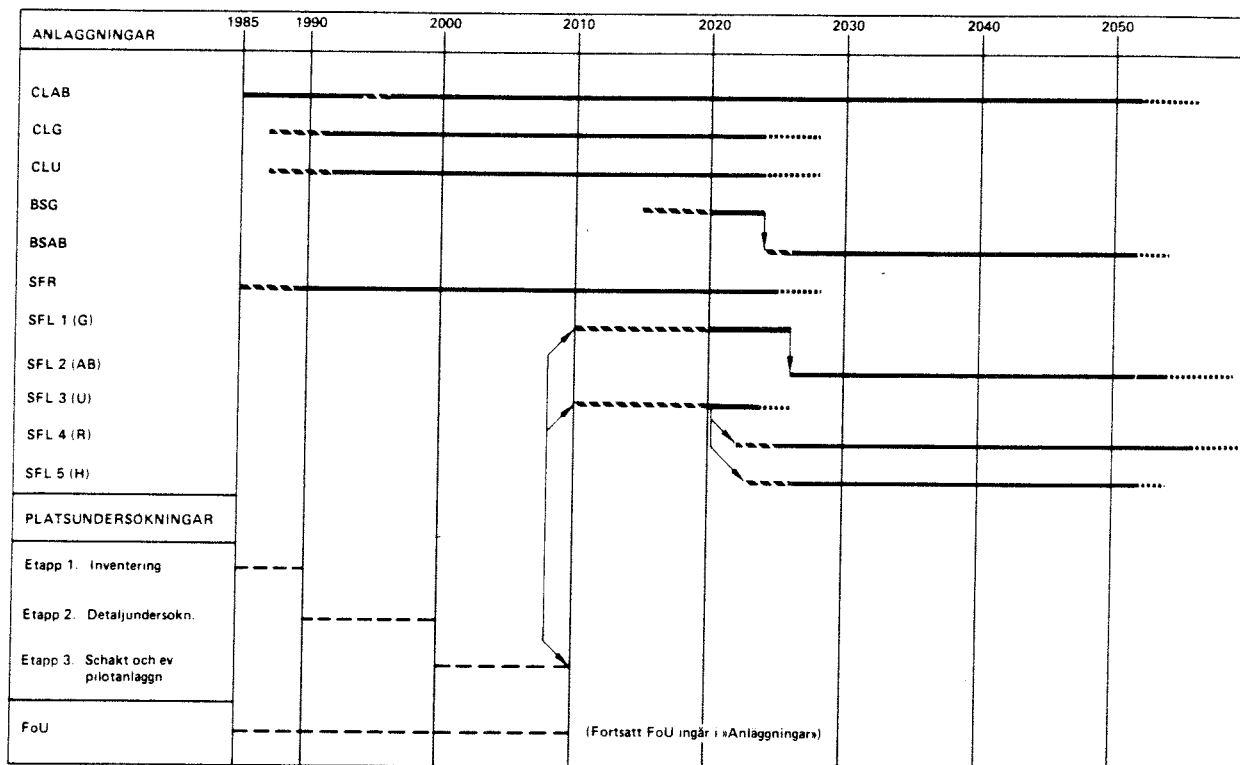
Milstolparna i planeringen ges av det svenska kärnenergi-programmet, ingångna avtal om uppärbetning av använt bränsle och en 40-årig period för avklingning före deponering i ett slutförvar, tidigast år 2020.

Verksamheten kan uppdelas i följande huvudgrupper

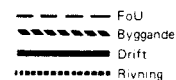
- projektering och byggande av system och anläggningar
- drift av system och anläggningar
- forskning, utveckling och utredningar för val av metoder, utformning och lokalisering samt för säkerhetsbedömningar.

De två första grupperna tidplanestyrts av behovstidpunkter angivna i kap 2 samt erfarenhetsbedömningar av erforderliga tider för projektering, tillståndsbehandling och byggande. Forsknings-, utvecklings- och utredningsinsatserna måste däremot tidplane-läggas på ett mer flexibelt sätt.

Arbetet skall genomföras så



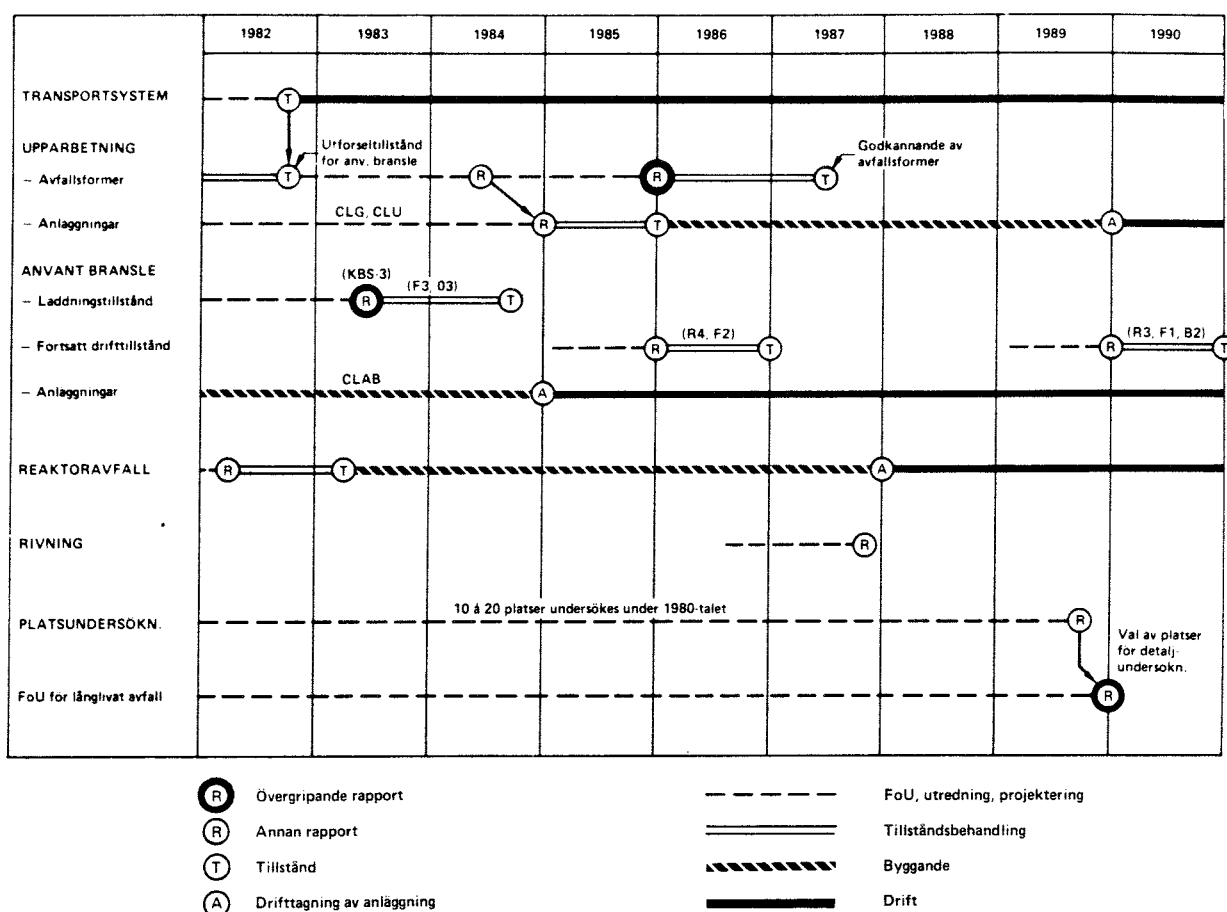
Figur 8-1 Totalplan för SKBF:s insatser inom avfallsområdet



- att en tillräckligt bred överblick erhålles som underlag för att ange inriktningen av den fortsatta verksamheten
- att en tillräckligt detaljerad information tas fram för att utvärdera alternativa utformningar av system och anläggningar
- att tillräckligt underlag finns för projektering, konstruktion och byggande av anläggningar och system samt för att fastställa nödvändiga krav på kvalitet och kontroll
- att tillräckligt underlag finns för de säkerhetsmässiga bedömningar, som krävs för tillståndsansökningar.

Omfattningen och inriktningen av dessa arbeten styrs i hög grad av fortlöpande resultat och utvärderingar. I de sammanfattande tidplanerna figur 8-1 och 8-2 har FoU- och utredningsinsatserna schematiskt markerats med streckade linjer, vars omfattning och betydelse kan variera avsevärt.

Långtidsplanen, figur 8-1, grundas på förutsättningen att anläggningarna för slutförvaring av reaktoravfall skall kunna förseglas kort tid efter att kärnreaktorerna tagits ur drift, att det använda bränslet eller det högaktiva avfallet skall slutde-



Figur 8-2. SKBF:s planerade insatser inom avfallsområdet 1982-1990

poneras med start år 2020 samt därefter i jämn takt under 30 år. Samtliga anläggningar planeras bli rivna när de fyllt sina funktioner.

Planen för perioden 1982 - 1990 visas på figur 8-2. För upparbetningsavfallet styrs arbetet av tidpunkterna för transport av bränsle och för upparbetning samt av tidpunkten för återsändning av avfall från upparbetningsprocessen.

För använt bränsle inriktas arbetet f n på en redovisning av hur och var en säker slutförvaring kan ske. Denna redovisning planeras bli ingiven till regeringen under första halvåret 1983 som stöd för laddningsansökningar för reaktorerna F3 och 03 enligt villkorlagen. Redovisningen kommer att utgöra en sammanställning och tillämpning av dagens kunskaper och förutses tillsammans med förväntade granskningsyttranden ge en god bas för fortsatt FoU-arbete.

Drifttillstånden för vissa reaktorer är tidsbegränsade. För reaktorerna R4 och F2 krävs sålunda nya tillstånd senast före utgången av 1986 och för B2, R3 och F1 före utgången av 1990. I anslutning till ansökningar om fortsatt drift av dessa reaktorer krävs förnyade redovisningar av avfallets hantering och slutförvaring.

Ifråga om rivning av kärnkraftverk är avsikten att under de närmaste åren följa den internationella utvecklingen och att om ca 5 år sammanställa en ny lägesrapport.

9 SAMMANFATTADE KOSTNADS- BEDÖMNINGAR

De beräknade kostnaderna för den verksamhet som syftar till ett säkert omhändertagande av det radioaktiva avfallet från svenska kärnkraftverk redovisas i del 2 av denna rapport "Anläggningar och kostnader". Härnedan ges en sammanfattning av några väsentliga delar av denna redovisning.

9.1 FÖRUTSÄTTNINGAR

Tidplanen för olika insatser och anskaffningar grundar sig på uppgifterna i avsnitt 2.1.

Ifråga om mängder och typer av avfall grundar sig kostnadsberäkningarna på de uppgifter som anges i avsnitt 2.2.

Såsom framgått av den tidigare framställningen är det i dag inte i detalj fastställt hur de olika avfallskategorierna skall hanteras, behandlas och slutförvaras. Särskilt gäller detta behandlingen och slutförvaringen av det långlivade avfallet. För kostnadsberäkningarna har därför definierats ett scenario, som bedöms som rimligt och tekniskt genomförbart. Detta scenario redovisas i del 2 av denna rapport.

I de fall där de slutliga förutsättningarna är oklara har antaganden gjorts, som rimligen inte skall leda till en underskattning av kostnaderna. Ett exempel härpå är antagandet att slutförvaret för långlivat avfall - vars lokalisering förutses bli fastställd först omkring år 2000 - förläggs ca 15 mil från kusten och ca 60 mil norr om Stockholm. Det skall understrykas att detta antagande gjorts enbart för att erhålla underlag för kostnadsberäkningarna och inte sammanhänger med någon bedömning av att där skulle föreligga speciellt goda geologiska och andra förutsättningar.

Ifråga om FoU-arbeten har det förutsatts att insatserna skall ligga på i stort sett årets nivå fram till år 2010. Därefter förutsätts utvecklingskostnaderna bli hänförliga till resp anlägg-

ningar. En särskild post på 500 MSEK har upptagits för eventuella provschakt och pilotanläggningar.

Någon särskild kostnadspost för övervakning av de tillslutna förvaren har ej upptagits. Om en sådan övervakning blir aktuell, torde kostnaden utgöra en i sammanhanget försumbar del av den totala kostnaden. Detsamma gäller kostnadstäckningen för NAKs verksamhet.

9.2 BERÄKNINGARNAS GENOMFÖRANDE

För byggnadskostnaderna har följande uppdelning av totalkostnaderna gjorts.

Baskostnad

- A Mängdkostnader
- B Gemensamma kostnader (allmänna arbetsplatskostnader och omkostnader, 48-61% av A)
- C Entreprenörarvode (10%)

Pålägg

- D För brist i underlagets detaljeringsgrad (10-40% av A + B + C)
- E För oförutsett (10 eller 25% av A + B + C + D)

Byggnadskostnaderna har baserats på ritningar och mängduppgifter, vars detaljeringsgrad varierar från anläggning till anläggning och även för olika delar av en och samma anläggning. För att kompensera för brister i underlagets detaljeringsgrad har olika osäkerhetsfaktorer tillämpats. För väl genomarbetade anläggningar har ett osäkerhetspålägg av 10% tillämpats och där osäkerheten är störst har pålägget satts till 40%. Härtill kommer sedan ett gängse pålägg för oförutsett, som satts till 10 eller 25% beroende på hur långt projekteringen eller byggandet framskridit.

Baskostnaderna grundar sig huvudsakligen på erfarenhetsvärden från byggandet av CLAB och Oskarshamn 3.

Kostnaden för processutrustningen har uppdelats enligt nedan

Baskostnad

- A Material och montage
- B Pålägg för upphandling och kontroll (15%)
- C Arbetsplatskostnader (15% på A + B)

Pålägg

D För brist i underlagets detaljeringsgrad
(20% på A + B + C)

E För oförutsett (10% på A + B + C + D)

Vad ovan angivits ger för hela systemet, dvs såväl byggnader som processutrustning, ett genomsnittligt pålägg på baskostnaderna av 25%.

Till summan av ovan angivna anläggningskostnader kommer byggherrens (SKBF) centrala kostnader (5-7% av den totala anläggningskostnaden) och byggprojektering (4-9% av byggnadskostnaden).

Vissa anläggningsdelar har förutsetts förslitas och behöva ersättas under anläggningarnas livstid. Sådana reinvesteringar har beräknats schablonmässigt (3-25% av investeringen).

Anläggningarnas driftkostnader har bedömts från fall till fall.

Kostnaderna för rivning av kärnkraftverk baserar sig på KBS tekniska rapport nr 79-21 efter indexuppräknings av däri angivna kostnadsuppgifter.

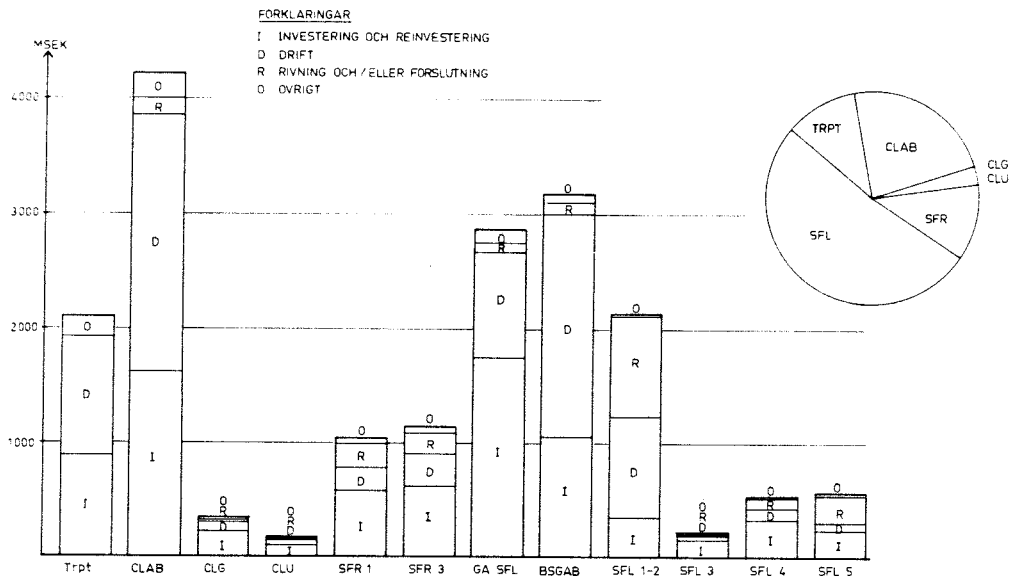
Upparbetningskostnaderna har ansatts i ett intervall 2 750 - 3 500 kr per kg uran i det använda bränslet. Värdet av återvunnet uran har ansatts till 400 kr/kg. Återvunnet plutonium har inte åsatts något värde.

För sammanställning och analys av kostnadsuppgifterna har ett datorbaserat system utarbetats, med vars hjälp man snabbt kan ta fram delkostnader i olika grupperingar och belysa inverkan av olika variationer i förutsättningarna.

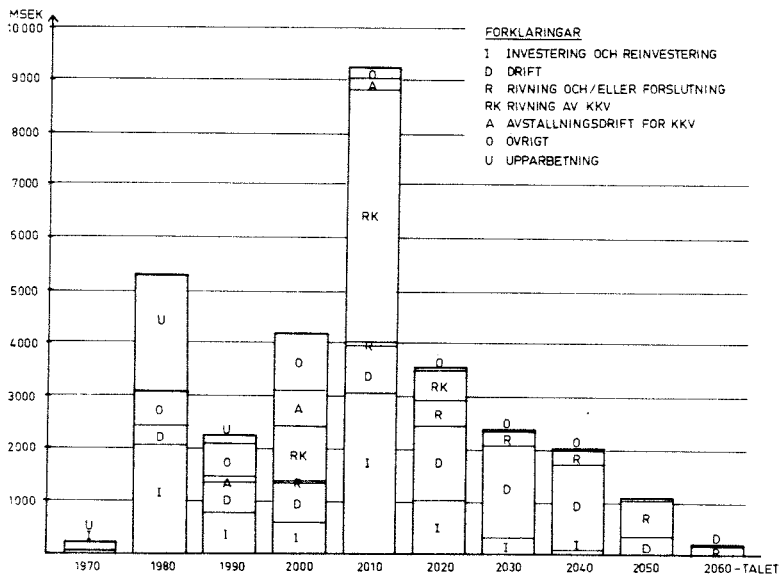
De redovisade kostnaderna hänför sig till prisläget i januari 1981. Prisläget i början av 1982 torde ligga ca 10% högre.

9.3 RESULTAT AV KOSTNADSBERÄKNINGEN

Med avdrag för de kostnader för vilka finansieringslagens bestämmelser inte är tillämpliga (reaktoravfall och icke kärnkraft-anknutet avfall sammanlagt ca 1 500 Mkr), har totalkostnaden för hela systemet inkl drift och förslutning av anläggningar samt rivning av kärnkraftstationer beräknats till ca 29 000 MSEK (prisnivå januari 1981) fram till år 2060, då samtliga slutförvar enligt föreliggande plan skall vara tillslutna. I det långsiktiga program som här beskrivits kan det inte uteslutas att idag helt okända faktorer kan komma att påverka kostnaderna. I detta skede har det därför ansetts motiverat, att utöver de pålägg för oförutsett, som gjorts i grundkalkylen, göra



Figur 9-1. Kostnader per anläggning. (Prisnivå jan. -81)



Figur 9-2. Kostnader fördelade i tiden. (Prisnivå jan. -81)

ett speciellt riskpålägg av storleksordningen 3.000 SEK. Den nu bedömda totalkostnaden skulle då uppgå till 32.000 MSEK, angivet i prisnivån januari 1981. Det scenario som lagts till grund för kostnadsberäkningarna innehåller betydande säkerhetsmarginaler för att kompensera de begränsningar som finns i kunskapsunderlaget. Allteftersom FoU-arbetet fortskrider förutses dessa marginaler kunna minskas. Det angivna totalbeloppet, 32.000 MSEK (jan 1981) får därför anses väl täcka förväntade kostnader. Under perioden januari 1981-januari 1982 har kostnadsnivån stigit med ca 10%.

Angiven totalkostnad utgör ungefär 10% av värdet av motsvarande elkraftproduktion.

Då anläggningar och processutrustningar erfordras vid olika tider kommer även de redovisade kostnaderna att uppkomma vid olika tider. Hänsyn till detta har inte tagits i beräkningarna men kan tas genom diskontering.

Angivna kostnaders fördelning på olika objekt framgår av figur 9-1. (FoU och rivning av kärnkraftverken ingår ej). Kostnaderna fördelar sig i tiden enligt figur 9-2. Av de totala kostnaderna uppkommer ca 70% efter det att kärnkraftproduktionen i Sverige förutses ha upphört.

10 EXTERN INFORMATION

I förarbetena till finansieringslagen understryks betydelsen av en öppen och fullständig information till myndigheter och allmänhet rörande frågor som berör kärnkraftavfallet. Det anges särskilt att detta blir en viktig uppgift för NAK. SKBF är givetvis berett att biträda NAK vid sådan information. Därtill har SKBF uppfattat det som sin uppgift att lämna berörda kommuner och länsstyrelser information om planerade geologiska undersökningar innan några borrhningar påbörjas. Detsamma gäller orter där anläggningar planeras, t ex SFR. Sådan information lämnas såväl skriftligen som vid sammanträffanden med kommunens och länets representanter.

När så bedöms vara av allmänt intresse sammanställer och distribuerar SKBF broschyrer eller informationsskrifter, som beskriver olika avsnitt av verksamheten. Även korta filmer (Stripa, SFR) och bildband ingår i informationsplanerna.

Den tekniska informationen publiceras i en serie av tekniska rapporter som årligen avslutas med en årsrapport. Dessa rapporter distribueras till svenska och utländska organisationer och personer i en begränsad upplaga. De finns också tillgängliga på mikrokort i biblioteket vid Studsvik Energiteknik AB.

Kärnkraftföretagen har etablerat en grupp för utåtriktad information om radioaktivt avfall. SKBF medverkar i detta arbete.