



---

# FUD-PROGRAM 92

---

## **Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring**

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

September 1992

---

**SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB**

BOX 5864 S-102 48 STOCKHOLM

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

# **FUD-Program 92**

## **Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring**

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

September 1992

# FÖRORD

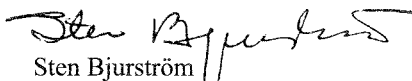
Lagen om kärnteknisk verksamhet (SFS 1984:3) föreskriver i sin 12§ att ett program skall upprättas för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som behövs för att på ett säkert sätt hantera och slutförvara det radioaktiva avfallet m m från kärnkraftverken. Skyldigheten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

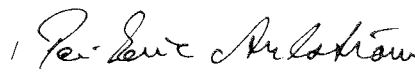
Syftet med detta tredje program är att fullgöra ovanstående redovisningskrav.

Programmet redovisas i en huvudrapport och i tre underlagsrapporter. Programmet kallas FUD-program 92 där FUD står för Forskning, Utveckling och Demonstration. Skälet till namnförändringen jämfört med tidigare FoU-program är att betona att verksamhetens tyngdpunkt förskjuts mot att demonstrera olika delar av valt försvarssystem i och med arbetena vid Äspölaboratoriet och de planer som redovisas i detta program. Huvudrapporten beskriver programmet i sin helhet, medan underlagsrapporterna ger mer detaljerade redovisningar av lokalisering av ett djupförvar, Äspölaboratoriet respektive FoU-arbetena 1993–1998. För att få en fyllig bild av kunskapsläge och program på specifika områden krävs att man tar del även av ifrågavarande underlagsrapport.

Stockholm i september 1992

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB

  
Sten Bjurström  
VD

  
Per-Eric Ahlström  
Forskningschef

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
<b>1</b>	<b>INLEDANDE ÖVERSIKT</b> <b>11</b>
1.1	KRAV OCH MÅL 11
1.2	SITUATIONEN I DAG 11
1.3	ÖVERSIKTLIG PLAN FÖR FORTSATT ARBETE 12
1.4	LOKALISERING 13
1.5	PLANERAT SYSTEM FÖR INKAPSLING OCH DJUPFÖRVARING AV ANVÄNT BRÄNSLE 16
1.6	FUD-PROGRAMMETS UPPLÄGGNING 17
1.7	RAPPORTENS UPPLÄGGNING 18
<b>2</b>	<b>FÖRUTSÄTTNINGAR</b> <b>19</b>
2.1	RIKTLINJER FÖR AVFALLSHANTERINGEN 19
2.2	GÄLLANDE LAGSTIFTNING M M 20
2.3	BAKGRUND 20
2.4	FoU-PROGRAM 89 – REMISSBEHANDLING 20
<b>3</b>	<b>AVFALL FRÅN SVENSKA KÄRNKRAFT- PROGRAMMET</b> <b>21</b>
3.1	KLASSIFICERING AV RADIOAKTIVT AVFALL 21
3.2	AVFALL FRÅN KÄRNKRAFTVERKEN 21
3.2.1	Använt bränsle 21
3.2.2	Driftavfall 21
3.2.3	Hårdkomponenter och reaktortankens interna delar 22
3.2.4	Rivningsavfall 22
3.3	ÖVRIGT RADIOAKTIVT AVFALL 22
3.3.1	Avfall från CLAB och inkapslingsstation 22
3.3.2	Avfall från Studsvik 22
3.3.3	Avfall från upparbetning 23
3.4	BERÄKNADE AVFALLSMÄNGDER 23
<b>4</b>	<b>EXISTERANDE SYSTEM FÖR HANTERING AV RADIOAKTIVT AVFALL FRÅN KÄRNKRAFTVERKEN</b> <b>25</b>
4.1	ALLMÄNT 25
4.2	ANLÄGGNINGAR OCH SYSTEM I DRIFT 25
4.2.1	Slutförvar för radioaktivt driftavfall, SFR 25
4.2.2	Centralt mellanlager för använt bränsle, CLAB 27
4.2.3	Transportsystemet 27
<b>5</b>	<b>METODER FÖR BEHANDLING AV ANVÄNT BRÄNSLE</b> <b>29</b>
5.1	ALLMÄNT 29
5.2	INKAPSLING AV BRÄNSLE 29
5.3	UPPARBETNING 30
5.4	SEPARATION OCH TRANSMUTATION 32

<b>6</b>	<b>METODER FÖR FÖRVARING AV LÅNGLIVAT RADIOAKTIVT AVFALL</b>	<b>35</b>
6.1	ÖVERSIKT	35
6.2	MELLANLAGRING AV ANVÄNT BRÄNSLE	35
6.2.1	Våtlagring av zirkaloykapslat UO <sub>2</sub> -bränsle	35
6.2.2	Torrlagring av zirkaloykapslat UO <sub>2</sub> -bränsle	37
6.3	TÄNKBARA SLUTFÖRVARINGSMETODER	37
6.4	GEOLOGISK DJUPFÖRVARING	37
6.4.1	Principer	37
6.4.2	Metoder i olika länder	38
6.4.3	Förvaring under havsbotten	39
6.4.4	System studerade i Sverige	40
6.5	SLUTSATSER FÖR FRAMTIDA ARBETE	46
6.5.1	Kapselalternativ	46
6.5.2	Djupförvarssystem	46
6.5.3	Slutsatser	47
6.6	HANTERING OCH FÖRVARING AV ANNAT LÅNGLIVAT AVFALL ÄN ANVÄNT BRÄNSLE	47
<b>7</b>	<b>PLAN FÖR ETAPPVIS UTBYGGNAD</b>	<b>49</b>
7.1	HUVUDFUNKTIONER I SYSTEMET	49
7.2	DEMONSTRATIONSDEPONERING	49
<b>8</b>	<b>INKAPSLING AV ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE</b>	<b>53</b>
8.1	ALLMÄNT	53
8.2	KAPSEL – UTFORMNING, TILLVERKNING OCH FÖRSLUTNING	53
8.3	INKAPSLINGSSTATION	54
8.3.1	Utformning	54
8.3.2	Tidplan	55
8.4	MELLANLAGRING AV INKAPSLAT BRÄNSLE	56
8.5	TRANSPORTER AV INKAPSLAT BRÄNSLE	56
8.6	PLANERAD VERKSAMHET FÖR 1993–1998	56
<b>9</b>	<b>LOKALISERING OCH UPPFÖRANDE AV ETT DJUPFÖRVAR FÖR DEMONSTRATIONSDEPONERING</b>	<b>59</b>
9.1	BAKGRUND, MÅL OCH ALLMÄNNA FÖRUT- SÄTTNINGAR	59
9.1.1	Juridiska förutsättningar	60
9.1.2	Naturvetenskapliga och tekniska förutsättningar	60
9.1.3	Samhälleliga förutsättningar	60
9.1.4	Politiska och opinionsmässiga förutsättningar	60
9.2	DJUPFÖRVARETS UTFORMNING	61
9.2.1	Allmän layout	61
9.2.2	Teknik för deponering	61
9.2.3	Återtagbarhet	61
9.2.4	Byggmetoder i berg samt buffert, återfyllnad och förslutning	61
9.2.5	Framtida insatser	64

	Sida
9.3	LOKALISERINGSPROCESS OCH TIDPLAN 64
9.3.1	Etapp 1. Översiktsstudier, förstudier och förundersökningar 64
9.3.2	Etapp 2. Detaljundersökningar 64
9.3.3	Etapp 3. Bygge av djupförvar för demonstrationsdeponering 65
9.3.4	Tidplan 65
9.4	GRUNDLÄGGANDE KRAV OCH VIKTIGA LOKALISERINGSFAKTORER VID VALET AV PLATSER 66
9.4.1	Säkerhetsmässiga krav 66
9.4.2	Tekniska krav 66
9.4.3	Samhälleliga krav 66
9.4.4	Sammanfattning av viktiga lokaliseringsfaktorer 66
9.5	ERFARENHETER FRÅN TIDIGARE PLATSUNDER-SÖKNINGAR OCH LOKALISERING 66
9.5.1	Tidigare platsundersökningar 66
9.5.2	Lokalisering av SKBs existerande anläggningar 69
9.6	PLANERAD VERKSAMHET 1993 – 1998 69
9.6.1	Planering och genomförande av geovetenskapliga förundersökningar 69
9.6.2	Tekniska och socioekonomiska studier 71
9.6.3	Miljökonsekvensbeskrivningar och säkerhetsanalyser 71
9.6.4	Planering av åtgärder för information och lokal medverkan 72
<b>10</b>	<b>SÄKERHETSANALYSER 75</b>
10.1	ALLMÄNT 75
10.2	MÅL 75
10.3	UTVECKLINGSLÄGE OCH INSATSBEHOV 76
10.3.1	Operativ säkerhet 76
10.3.2	Långsiktig säkerhet 76
10.4	PROGRAM FÖR PERIODEN 1993–1998 77
<b>11</b>	<b>STÖDJANDE FORSKNING OCH UTVECKLING – SAMMANFATTNING 79</b>
11.1	ALLMÄNT 79
11.2	EGENSKAPER HOS ANVÄNT BRÄNSLE 79
11.2.1	Kunskapsläge och utvecklingsbehov 79
11.2.2	Mål för perioden 1993–1998 81
11.2.3	Framtida insatser 81
11.3	KAPSEL OCH KAPSELMATERIAL 81
11.3.1	Allmänt 81
11.3.2	Kunskapsläge och utvecklingsbehov 82
11.3.3	Mål för perioden 1993–1998 och framåt 82
11.3.4	Framtida insatser 82
11.4	BUFFERT OCH ÅTERFYLLNAD 83
11.4.1	Allmänt 83
11.4.2	Teknikbeskrivning och kunskapsläge 83
11.4.3	Mål för 1993–1998 83
11.4.4	Framtida insatser 83

	Sida	
11.5	GEOVETENSKAP	83
11.5.1	Allmänt	83
11.5.2	Kunskapsläge	84
11.5.3	Mål för perioden 1993–1998	85
11.5.4	Framtida insatser	86
11.6	KEMI/RADIONUKLIDMIGRATION	87
11.6.1	Allmänt	87
11.6.2	Nuvarande kunskapsläge	87
11.6.3	Mål för FoU på kemiområdet	89
11.6.4	Framtida insatser	89
11.7	BIOSFÄRSSTUDIER	90
11.7.1	Allmänt	90
11.7.2	Kunskapsläge	90
11.7.3	Mål för perioden 1993–1998	91
11.7.4	Framtida insatser	91
11.8	KVALITETSSÄKRING	91
<b>12</b>	<b>ÄSPÖLABORATORIET</b>	<b>93</b>
12.1	BAKGRUND	93
12.2	MÅL	93
12.3	RESULTAT – ALLMÄNT	94
12.3.1	Avstämning av mål från FoU-program 86, FoU-program 89	94
12.3.2	Lokalisering, tillstånd	95
12.3.3	Internationellt deltagande	95
12.4	RESULTAT – VERIFIERING AV FÖRUNDER- SÖKNINGAR	95
12.5	RESULTAT – DETALJUNDERSÖKNINGS- METODIK	97
12.6	RESULTAT – TEST AV MODELLER FÖR GRUNDVATTENSTRÖMNING OCH RADIONUKLIDMIGRATION	98
12.7	TEKNISKT PROGRAM FÖR VERKSAMHETEN 1993–1998	99
12.7.1	Allmänt	99
12.7.2	Verifiering av förundersökningar	100
12.7.3	Fastställande av detaljundersökningsmetodik	100
12.7.4	Test av modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration	101
12.7.5	Demonstration av bygg- och hanteringsmetoder	105
12.7.6	Prov av viktiga delar i förvarssystemet	105
12.7.7	Anläggningsarbeten	105
12.7.8	Kvalitetssäkring	106
12.8	INTERNATIONELLT DELTAGANDE	106
12.9	GENOMFÖRANDE, ORGANISATION, INFORMATION	106

	Sida
<b>13</b>	<b>STRIPA-projektet</b> <b>109</b>
13.1	INLEDNING 109
13.2	STRIPA GRUVA 110
13.3	FAS 1 – 1980-1985 110
13.4	FAS 2 – 1983-1988 110
13.5	FAS 3 – 1986-1992 111
13.6	SAMMANFATTNING 112
<b>14</b>	<b>FoU BETRÄFFANDE ALTERNATIVA METODER SAMT ÖVRIGT RADIOAKTIVT AVFALL</b> <b>115</b>
14.1	ALTERNATIVA METODER 115
14.1.1	Alternativa behandlingsmetoder 115
14.1.2	Alternativa slutförvarsmetoder 115
14.2	ÖVRIGT LÅNGLIVAT AVFALL 115
14.2.1	Allmänt 115
14.2.2	Avfallskaraktisering 116
14.2.3	Utformning av slutförvar 116
14.2.4	Underlag till säkerhetsanalys 116
14.3	FRAMTIDA INSATSER BETRÄFFANDE SLUTFÖRVAR FÖR RADIOAKTIVT DRIFT- AVFALL, SFR 116
<b>15</b>	<b>RIVNING AV KÄRNTEKNISKA ANLÄGGNINGAR</b> <b>119</b>
15.1	BAKGRUND 119
15.2	MÅL OCH ÖVERSIKTLIG PLAN 119
15.3	PÅGÅENDE ARBETE 120
15.3.1	Sverige 120
15.3.2	Andra länder 120
15.4	FORSKNINGSPROGRAM 1993–1998 122
<b>16</b>	<b>PRIORITERINGAR OCH KOSTNADER</b> <b>125</b>
<b>17</b>	<b>INTERNATIONELLT SAMARBETE</b> <b>127</b>
17.1	UTLÄNDSK FoU AV INTRESSE FÖR SKBs PROGRAM 127
17.2	SKBs SAMARBETSAVTAL MED UTLÄNDSKA ORGANISATIONER 130
17.3	BRÄNSLELAKNING – SPENT FUEL WORKSHOP 130
17.4	INTRAVAL 130
17.5	DECOVALEX 131
17.6	SAMARBETE MED TVO, FINLAND 131
17.7	SAMARBETE MED CEA, FRANKRIKE 131
17.7.1	Lerfrågor 131
17.7.2	Naturliga analogier 131
17.8	SAMARBETE MED EURATOM, EG 131
17.8.1	COCO 131
17.8.2	CHEMVAL 131
17.8.3	Natural Analogue Working Group, NAWG 132



	Sida	
17.9	SAMARBETE INOM OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY	132
17.9.1	RWMC	132
17.9.2	TDB	132
17.10	SAMARBETE INOM IAEA	133
17.11	ÖVRIGT SAMARBETE	133
17.12	INSATSER UNDER PERIODEN 1993–1998	133
	<b>REFERENSER</b>	<b>135</b>

### **UNDERLAGSRAPPORTER:**

Underlagsrapport till FUD-program 92  
Kärnavfallens behandling och slutförvaring  
Lokalisering av ett djupförvar

Underlagsrapport till FUD-program 92  
Kärnavfallens behandling och slutförvaring  
Detaljerat FoU-program 1993–1998

Underlagsrapport till FUD-program 92  
Kärnavfallens behandling och slutförvaring  
Äspölaboratoriet

# 1 INLEDANDE ÖVERSIKT

## 1.1 KRAV OCH MÅL

Målet för hanteringen av radioaktivt avfall är att på ett säkert sätt ta hand om alla radioaktiva restprodukter som uppkommer vid de svenska kärnkraftverken. Vidare skall man på ett säkert sätt ta hand om allt övrigt radioaktivt avfall som uppkommer i Sverige.

Kärntekniklagen /1-1/ kräver att ägarna till kärnkraftverken vidtager de åtgärder som behövs för att uppnå detta mål. Ägarna till de svenska kärnkraftverken har uppdragit åt Svensk Kärnbränslehantering AB att genomföra de åtgärder som behövs. Kraven i kärntekniklagen innebär att industrin aktivt måste verka för att nödvändiga åtgärder vidtages.

## 1.2 SITUATIONEN I DAG

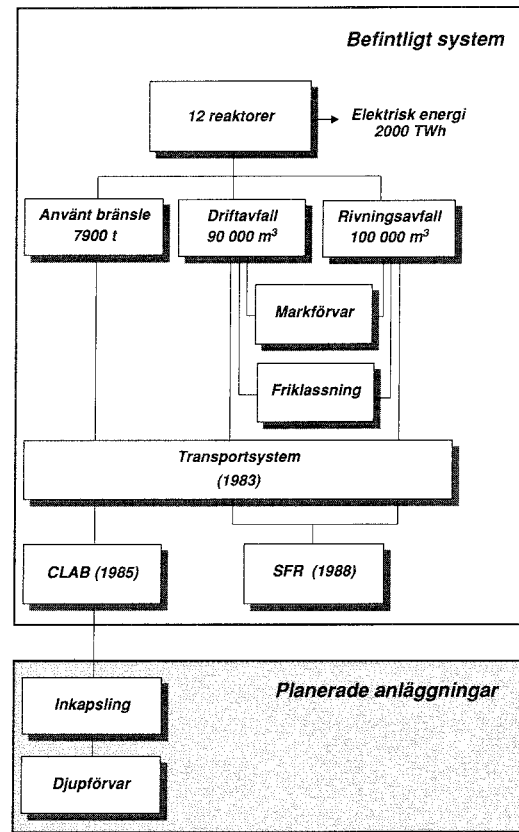
En säker hantering och slutförvaring av kärnkraftsavfallet kräver målinriktad forskning, utveckling och planering. Vidare måste erforderliga anläggningar och system uppföras och tas i drift. Figur 1-1 ger en översikt av de olika delarna i det svenska systemet för hantering av radioaktivt avfall. Dessa beskrivs utförligt i den årliga redovisningen av kostnaderna för att ta hand om avfallet – PLAN 92 /1-2/.

Väsentliga delar av avfallssystemet är redan i drift. Detta gäller det centrala mellanlagret för använt kärnbränsle, CLAB, slutförvaret för radioaktivt driftavfall, SFR, och transportsystemet. De delar som ännu ej beslutats är anläggningar för inkapsling av använt bränsle m m och slutförvaring av långlivat avfall särskilt använt bränsle.

Det existerande systemet har utvecklats och byggts upp systematiskt på basis av förslag som bl a lades fram av Aka-utredningen /1-3/ i mitten av 1970-talet samt den forskning och det utvecklingsarbete som inleddes med KBS-projekten under andra halvan av 1970-talet.

Förslag och alternativa möjligheter har därefter prövats och utretts av såväl myndigheter som kraftindustrin i omfattande FoU-arbeten under hela 1980-talet. Detta innebär att de viktiga frågorna för inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle i svensk berggrund fått en ingående belysning.

Liknande parallella arbeten har genomförts och genomförs i flertalet länder med betydande kärnkraftutbyggnad. Pga de stränga krav som infördes i den sk villkorlagen 1977 kom arbetet i Sverige i gång med stor målmedvetenhet och goda resurser. Detta har givit den svenska verksamheten en internationellt erkänd ställning och lett till ett brett internationellt samarbete.



Figur 1-1. Översikt av det svenska avfallshanterings-systemet.

Intresset i andra länder beror inte på att förutsättningarna för slutförvaring skulle vara bättre i Sverige utan på systematiken i det arbete som utförts och redovisats samt på kvaliteten hos de anläggningar som redan uppförts.

Det arbete som utförts under ca femton år i Sverige och motsvarande arbete i andra länder har lett till en bred enighet bland den internationella expertisen att det finns metoder för att genomföra slutförvaring av högaktivt avfall och använt kärnbränsle och att det också finns metoder att visa den långsiktiga säkerheten för sådan slutförvaring. Tydliga uttryck för denna enighet är t ex godkännandet av KBS 3-redovisningen /1-4/ i Sverige och av motsvarande studier i Finland /1-5/ och Schweiz /1-6/. Vidare bör nämnas de sk "collective opinions" som uttalats av internationella expertgrupper inom OECD/NEA, IAEA, och EG /1-7,8/. En viktig slutsats i den senaste av dessa "collective opinions" är att det fortsatta arbetet bör inriktas på bl a insamling och utvärdering av data från föreslagna slutförvaringsplatser.

De svenska studierna (liksom finska, schweiziska, kanadensiska och franska studier /1-5,6,9,10/) har visat att den kristallina berggrunden generellt har sådana egenskaper på djupet att den väl lämpar sig för anläggning av slutförvar. I djupt liggande geologiska formationer sker förändringar i miljön ytterst långsamt. Detta innebär att den säkerhet vi kan styrka idag på basis av omfattande analyser och mätningar i stort kommer att bestå under tusentals och tiotusentals år. Efter att ha granskat säkerhet, teknisk genomförbarhet och andra aspekter för ett antal olika alternativ har arbetet i Sverige nu nått ett skede som förutsätter att arbetet koncentreras till en huvudlinje.

Principen för slutförvaring är att den skall ordnas så att avfallet hålls isolerat på ett säkert sätt under den tid som avfallet har högre radiotoxicitet än vad man eljest återfinner i naturen. Använt kärnbränsle innehåller stora mängder radioaktiva ämnen. De flesta av dessa har avklingat efter några hundra år. Efter tusen år återstår förutom uran och dess dotterprodukter ett fåtal långlivade ämnen bl a plutonium med mycket lång avklingningstid. Efter drygt 100 000 år har bränslets radiotoxicitet minskat till i nivå med den man har i uranmalmer.

För att åstadkomma den önskade långsiktiga isoleringen utformas ett slutförvar för använt bränsle enligt multibarriärprincipen. Det använda bränslet består primärt av urandioxid, ett keramiskt material som är svårslösligt i grundvatten. De viktigaste långlivade radionukliderna, som bildats vid bestrålning i reaktorn t ex plutonium, är inbäddade i det keramiska materialet och likaså svårslösliga i vatten. Bränslet innesluts i en kapsel med god mekanisk beständighet och av ett material med lång korrosionslivslängd. Kapslarna placeras i speciellt tillredda utrymmen i berget och omges med ett buffertmaterial. Materialen i de tekniska barriärerna har dokumenterad långtidsstabilitet och förvaret påverkar endast i ringa grad de naturliga förhållandena i berget. Nyligen genomförda säkerhetsanalyser – särskilt SKB 91 /1-11/ – visar att det finns utomordentligt goda förutsättningar för att utforma närområdet i förvaret så att de radioaktiva ämnena hålls isolerade för mer än en miljon år. Därutöver har berget en stark förmåga att sorbera de radionuklider som dominerar bränslets radiotoxicitet och utgör således en ytterligare barriär.

Säkerhetsanalysen SKB 91, som SKB genomfört under 1989–1992, visar att kraven på berggrundens egenskaper är begränsade. "...SKB 91 visar att ett förvar anlagt djupt ner i svenskt urberg och med långtidsstabila tekniska barriärer med god marginal uppfyller av myndigheterna föreslagna säkerhetskrav. Säkerheten hos ett sådant förvar är endast i ringa utsträckning beroende av det omgivande bergets förmåga att fördröja och sorbera radioaktiva ämnen. Bergets funktion är i första hand att under lång tid ge bestående mekaniska och kemiska förhållanden så att förutsättningarna för de tekniska barriärernas långtidsfunktion inte äventyras" /1-11/. De studier och undersökningar som gjorts

av berggrunden i Sverige under den senaste 15-årsperioden visar att dessa egenskaper finns på många ställen och att det således finns många platser med geologiska och tekniska förutsättningar för att anlägga ett säkert slutförvar.

Kunskaperna är i dag tillräckliga för att välja en prioriterad systemutformning, för att utse kandidatplatser för förvarets lokalisering, för att karakterisera dessa och för att anpassa förvaret till lokala förhållanden.

### 1.3 ÖVERSIKTLIG PLAN FÖR FORTSATT ARBETE

SKBs tidigare plan för lokalisering och byggande av ett förvar för använt bränsle innebar att efter förundersökningar på tre platser och detaljundersökningar på två under 1990-talet så skulle man några år in på 2000-talet besluta om att bygga ett förvar för cirka 8 000 ton bränsle på en av platserna. I remissbehandlingen av FoU-program 89 /1-12/ diskuterades ett förslag från SKN om att man först borde bygga "...ett förvar i demonstrationsskala, exempelvis 5-10% av fullskaleförvaret". I sitt beslut om FoU-program 89 /1-13/ framhöll regeringen "...att en av utgångspunkterna för den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten bör vara att ett slutförvar för kärnavfall och använt kärnbränsle skall kunna tas i drift stegvis med kontrollstationer och möjligheter till justerande åtgärder. SKB bör i nästa FoU-program enligt kärntekniklagen utreda möjligheterna att låta ett slutförvar i demonstrationsskala ingå som ett led i arbetet med att utforma ett slutförvar".

SKB har inför utformningen av föreliggande FUD-program övervägt dessa frågor om etappvis utbyggnad av förvaret. Resultatet är att SKB finner att en demonstrationsfas har betydande fördelar. Föreliggande program innebär därför att forsknings-, utvecklings- och demonstrationsarbetet fullföljs genom att som ett första steg slutförvaret byggs ut som ett djupförvar för demonstrationsdeponering av använt kärnbränsle. När demonstrationsdeponeringen har genomförts skall erfarenheterna utvärderas innan man beslutar om man skall bygga ut anläggningen till att rymma allt avfall. Planen medger även att man kan överväga om det deponerade avfallet skall återtas för en alternativ hantering. Det senare betyder att det måste vara möjligt att återta deponerat bränsle under den tid anläggningen drivs för demonstration. Lokaliseringsprocessen påverkas endast i begränsad omfattning av om man planerar för ett djupförvar för demonstrationsdeponering eller för ett komplett djupförvar. Kraven på underlag från SKB i de olika skedena (förundersökning, detaljundersökning, bygge av förvaret) blir i allt väsentligt desamma.

Det viktigaste skälet till SKBs plan att bygga ett förvar för demonstrationsdeponering är att man då, utan att man behöver ta vad som ibland beskrivs och

upplevs som definitiva beslut, kan demonstrera bland annat följande

- lokaliseringsprocessen med alla dess tekniska, administrativa och politiska beslut,
- processen och metoderna för stegvis undersökning och karakterisering av djupförvarsplatsen,
- systemutformning och byggande,
- inkapsling av använt bränsle i full skala,
- hanteringskedjan av använt bränsle från CLAB till deponering i förvar,
- driften av ett djupförvar,
- licensieringen av hantering, inkapsling och djupförvaring inklusive analysen av den långsiktiga säkerheten,
- (återtagbarhet av avfallskollin).

Härutöver kan man tänka sig att även studera barriärernas tillstånd en viss kortare eller längre tid efter deponeringen. Detta är dock något som i första hand kan och bör undersökas med icke radioaktivt material i Äspölaboratoriet, som är under byggnad vid Simpevarp ca 20 km norr om Oskarshamn.

Man kan inte genom fältförsök demonstrera slutförvarets långsiktiga säkerhet. Tillåtligheten i detta avseende måste alltid baseras på en teknisk-vetenskaplig analys av förvarets funktion under lång tid. Det underlag som tas fram i samband med att djupförvaret för demonstrationsdeponering byggs innebär emellertid att man kan genomföra en säkerhetsanalys baserad på platsspecifikt underlag i ”full skala”.

Anledningen till att SKB planerar en demonstrationsdeponering är inte tveksamhet om djupförvaringens genomförbarhet och säkerhet. Planen bör ses som ett uttryck för en insikt om och en respekt för att den lösning av kärnavfallsfrågan som FoU-arbetet resulterat i behöver förankras stegvis hos och konkret demonstreras för berörda kretsar i samhället långt utanför experternas krets. Det är SKBs uppfattning att en demonstrationsdeponering av använt kärnbränsle med bibehållen handlingsfrihet för framtiden är ett bra sätt att nå en bred uppslutning kring sättet att ta hand om kärnavfallet.

Den planerade demonstrationsdeponeringen innebär också att nuvarande generation beslutar för en tidrymd som motsvarar ungefär dess egen aktiva tid och lämnar öppet för efterföljande generation att ta ett eget beslut med ett så komplett beslutsunderlag som möjligt.

Arbetet fram till dess att allt kärnavfall i Sverige finns deponerat i ett slutet djupförvar planeras därför nu bli utfört i två huvudfaser: Demonstrationsdeponering och slutförvaring. Totalt sträcker sig arbetet över en period på mer än 60 år. Beslutet att ta steget till slutförvaring tas inte förrän efter genomförd demonstrationsdeponering, utvärdering av resultaten och övervägande av andra alternativ. Dessa beslut ligger i tiden efter år 2010. De planer som diskuteras i detta program handlar om den verksamhet som krävs för att lokalisera och uppföra de anläggningar som behövs för demonstrationsdeponering. Det är SKBs bedömning att

man senare kommer att bygga ut djupförvaret i full skala. Det är dock inte meningsfullt att nu närmare diskutera detaljerna i hur man då kommer att gå tillväga. Den aktuella, viktiga uppgiften är att demonstrera en möjlig metod för långsiktigt säker förvaring och att förse framtida tekniker och beslutsfattare med bästa möjliga beslutsunderlag.

Figur 1-2 visar en tidplan för de anläggningar som behövs för att ta hand om det långlivade radioaktiva avfallet.

Följande ytterligare enheter kommer som framgår av Figur 1-2 att behövas för demonstrationsdeponering av använt kärnbränsle:

- Inkapslingsstation för använt bränsle, inklusive ett buffertlager för det inkapslade bränslet. Buffertlagret skall kunna utvidgas så att det kan användas som mellanlager om demonstrationsdeponeringen avbryts och kapslarna återtas.
- Djupförvar för inkapslat använt kärnbränsle;
- Transportsystem mellan CLAB och inkapslingsstationen samt mellan denna och platsen för djupförvaret.

CLAB och sjötransportsystemet med tillhörande terminaltransportsystem är i drift idag. Figur 1-3 visar en tidplan för inkapslingsstationen 1993–1998 och Figur 1-4 för djupförvaret fram till genomförd demonstrationsdeponering.

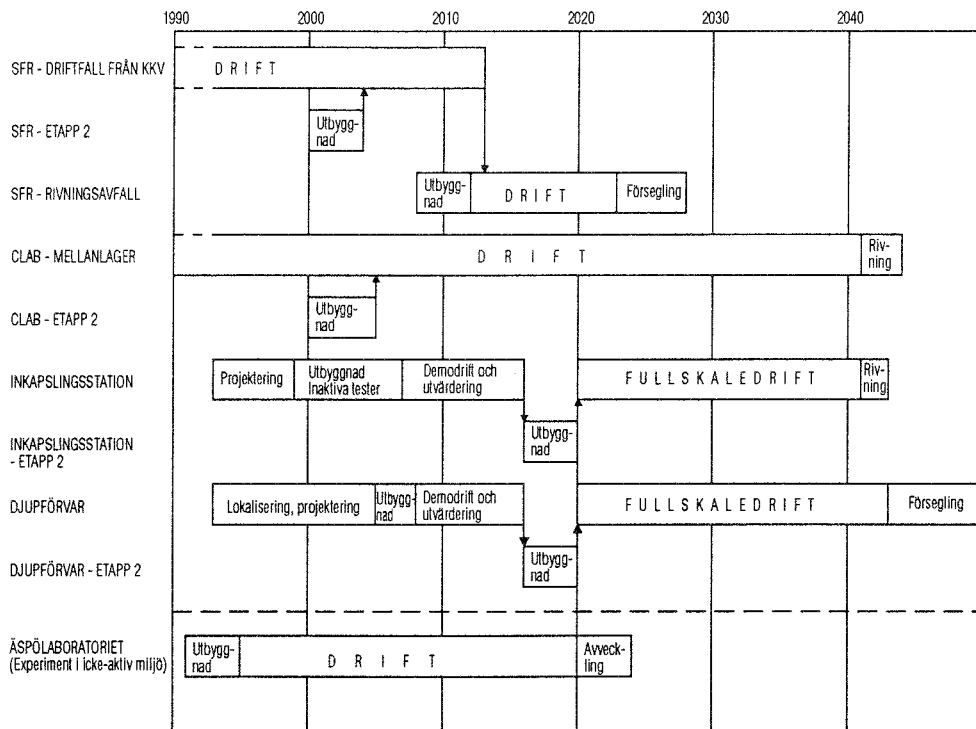
I princip kan man för den vidare planeringen bibehålla mellanlagringstiden 40 år även med den här förutsatta tidplanen för demonstration. SKB räknar med att demonstrationen kan genomföras inom ca 20 år. Det är således, som framgår av Figur 1-2, möjligt att fullfölja med slutförvaring av resterande bränsle och avfall strax efter 2020 om man så beslutar om ca 20 år.

## 1.4 LOKALISERING

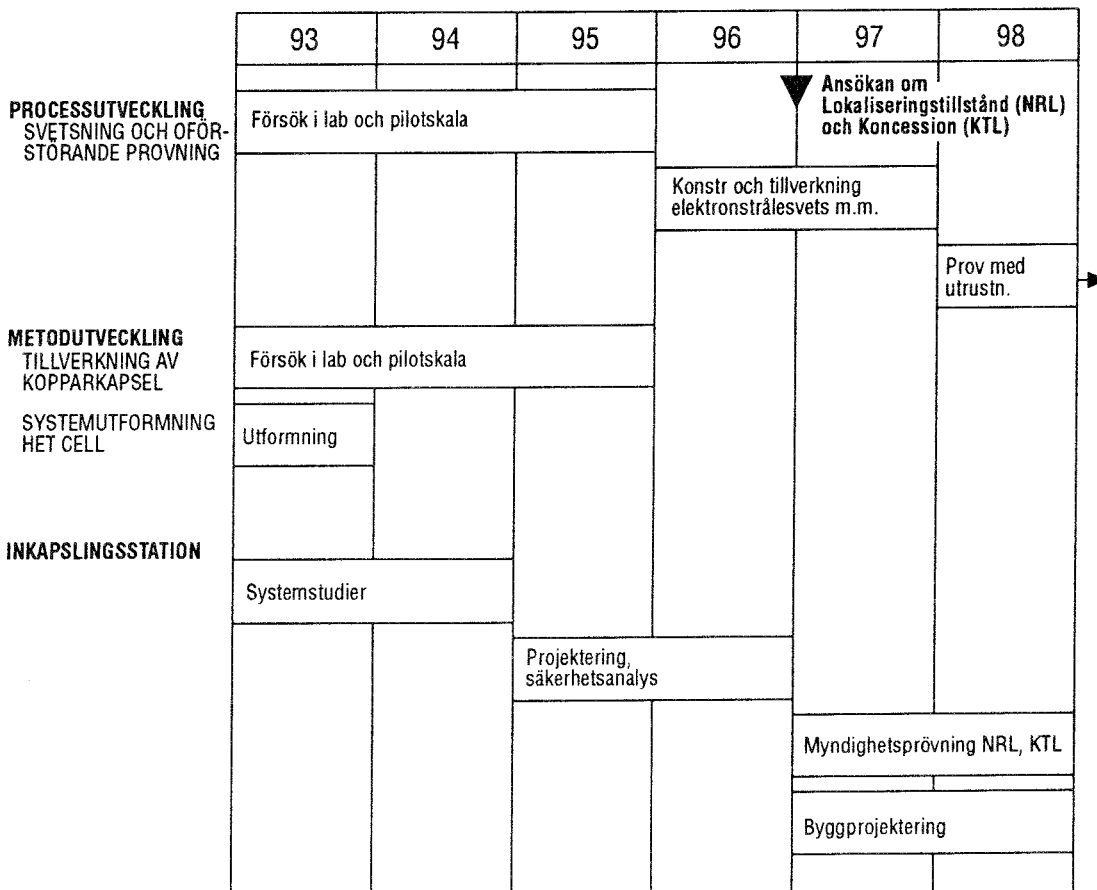
För inkapslingen av använt bränsle planerar SKB att bygga ut det centrala mellanlagret för använt bränsle (CLAB) vid Oskarshamnsverket. Det använda bränslet lagras redan nu vid CLAB och SKB bedömer att utbyggnad av CLAB med en inkapslingsstation har klara fördelar i fråga om logistik, resursutnyttjande och miljö. Om det under arbetet kommer fram speciella skäl för att inkapslingen bör ske vid djupförvaret, kommer SKB naturligtvis även att ta upp frågan om alternativ lokaliseringsstation.

Lokalisering och utbyggnad av ett djupförvar planeras ske stegvis under 1990-talet och några år in på 2000-talet. Enligt de bedömningar som nu kan göras av den tid som krävs för att ta beslut, genomföra nödvändiga utredningar och undersökningar och erhålla erforderliga tillstånd så skulle demonstrationsdeponeringen kunna påbörjas tidigast om ca 15 år.

Valet av kandidatorter för djupförvaret kommer att ske i enlighet med de grundläggande krav som måste ställas på en djupförvarsplats från säkerhetsmässig,



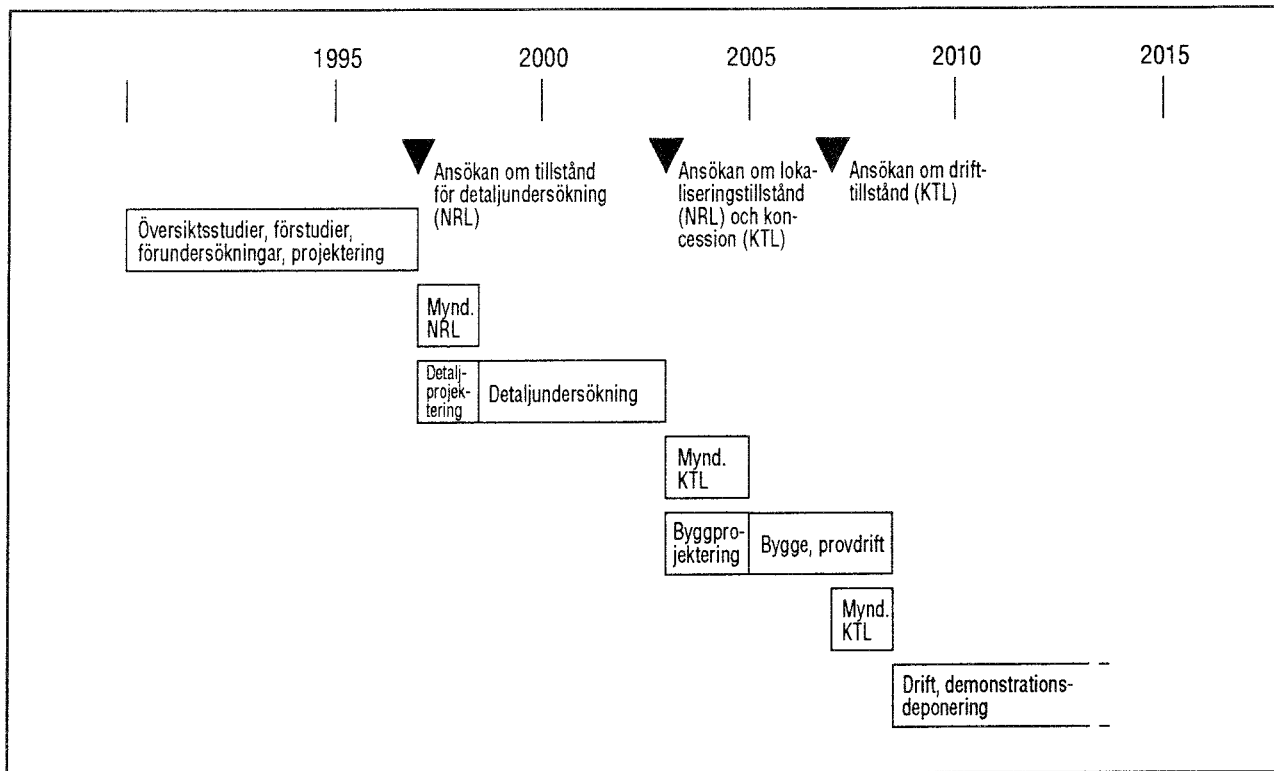
Figur 1-2. Översiktlig tidplan – anläggningar för hantering av kärnkraftens restprodukter.



Figur 1-3. Tidplan för inkapslingsstation 1993–1998.

NRL = Naturreсурslagen /1-20/

KTL = Kärntekniklagen



**Figur 1-4.** Exempel på tidplan för djupförvaret fram till genomförd demonstrationsdeponering. Planen beskriver tidigaste tänkbara tidpunkter för genomförandet.

NRL = Naturresurslagen /1-20/

KTL = Kärntekniklagen

teknisk, samhällelig och juridisk synpunkt. Man skall för vald plats och valt förvarssystem kunna visa att de av myndigheterna uppställda säkerhetskraven uppfylls. Man skall kunna bygga förvaret och tekniskt genomföra deponeringen på avsett sätt. Man skall genomföra lokaliseringen, undersökningarna och utbyggnaden så att alla relevanta, legala och planmässiga krav uppfylls. Sist, men inte minst, skall man kunna genomföra projektet i samverkan med kommunen och den berörda lokalbefolkningen.

En viktig utgångspunkt för planeringen av hur lokaliseringen skall gå till är regeringens beslut angående FoU-program 89 /1-13/. Där sägs följande: "Regeringen konstaterar att SKBs val av platser för ett slutförvar kommer att granskas av olika myndigheter i anslutning till att SKB ansöker om tillstånd för detaljundersökning av två sådana platser enligt lagen (1987:12) om hushållning med naturresurser m m, miljöskyddslagen (1969:387) plan- och bygglagen (1987:383)." Vidare underströk regeringen att SKB under lokaliseringsarbetets gång bör lämna information till berörda myndigheter, länsstyrelser och kommuner.

Utifrån dessa riktlinjer planeras arbetet med lokalisering och uppförande av djupförvaret ske i följande etapper, se Figur 1-4.

#### Etapp 1:

Översiktsstudier. Analys av lokaliseringsfaktorer. Eventuella förstudier av presumtiva kandidatorter. Val av kandidatorter. Förundersökningar på ett par platser, inklusive projektering. Tekniska och socioekonomiska utredningar. Utvärdering av resultat. NRL-ansökan för detaljundersökning inkluderande miljökonsekvensbeskrivning (MKB) med en första säkerhetsanalys.

#### Etapp 2:

Detaljundersökning inklusive anläggning av nödvändiga schakt och tunnlar till planerat förvarsdjup. Utvärdering av resultat. Säkerhetsrapport. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB). Detaljprojektering. Ansökan om lokaliseringstillstånd och koncession (NRL, KTL).

#### Etapp 3:

Bygge och installation av utrustning för hantering/deponering. Slutlig säkerhetsrapport. Ansökan om drifttillstånd (KTL).

#### Etapp 4:

Driftsättning. Demonstrationsdeponering.

## 1.5 PLANERAT SYSTEM FÖR INKAPSLING OCH DJUPFÖRVARING AV ANVÄNT BRÄNSLE

Under perioden 1986–1992 har SKB studerat olika alternativa utföranden av ett djupförvar för slutdeponering av använt bränsle.

Referensalternativ för SKBs arbete t ex med PLAN-rapporterna /1-2/ har varit en kapsel- och förvarsutformning enligt beskrivningen i KBS-3 rapporten /1-4/ alltsedan denna godkändes i samband med driftsättningsstillstånden för Forsmark 3 och Oskarshamn 3 år 1984. Under åren 1986-1988 studerades det s k WP-Cave-alternativet. Såsom redovisades i FoU-program 89 var slutsatsen av denna utvärdering att alternativet bedömdes som mindre fördelaktigt än en mer "utspriidd" utformning t ex enligt KBS-3 /1-14/. SKB har ej funnit skäl att ändra denna slutsats.

Under perioden 1989-1992 har några andra alternativ studerats, nämligen:

### Djupa hål

Deponering av ett stort antal kapslar mellan 2 och 4 km djup i 4 km djupa borrhål /1-15/.

### Långa tunnlar

Horisontell deponering av relativt stora kapslar i centrum av fullortsborrade tunnlar med flera km tunnllängd /1-16/.

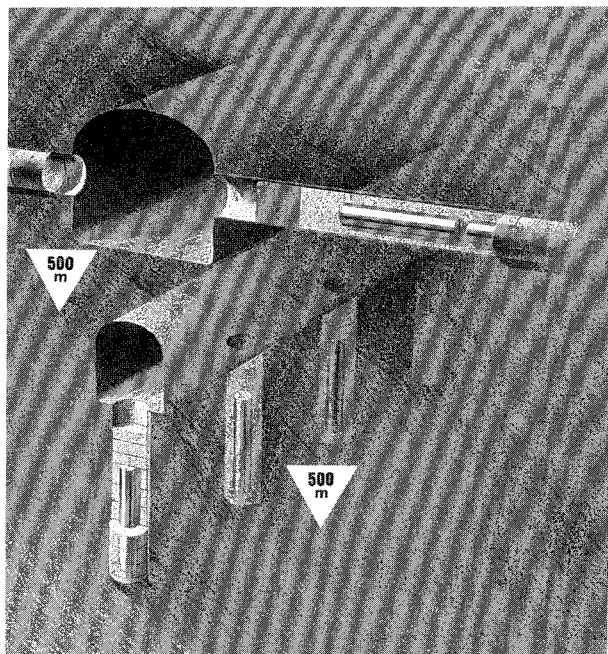
### Medellånga tunnlar

Ett mellanting mellan KBS-3 och långa tunnlar, kapselstorleken är densamma som för KBS-3 men deponeringen sker horisontellt i centrum av fullortsborrade tunnlar /1-17/.

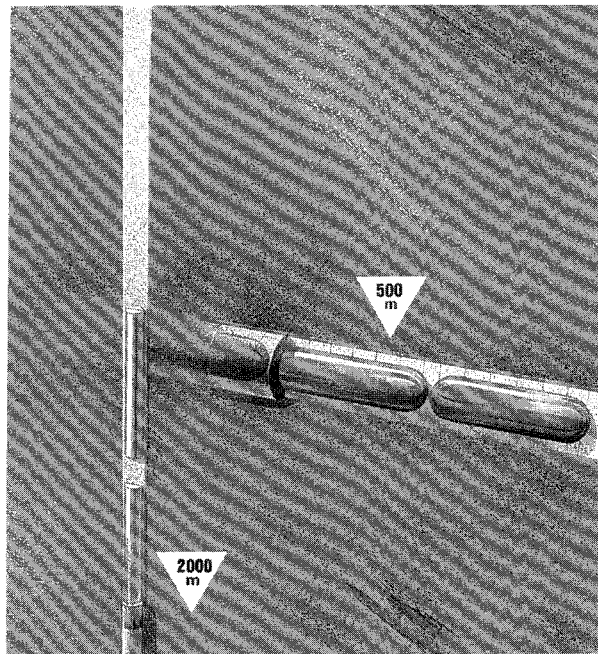
Figur 1-5 illustrerar de olika alternativen. För alla alternativ, utom Djupa hål, används högkompakterad bentonit som buffertmaterial runt kapslarna. Inom ramen för de studier som genomförts av dessa alternativ har också olika kapselkonstruktioner utvärderats. Se Figur 1-6. Studierna har genomförts som ett sammanhållet projekt PASS /1-17/.

Slutsatserna av genomförda studier är att det fortsatta arbetet för utformning av ett djupförvar för demonstrationsdeponering bör inriktas på ett alternativ. Härigenom uppnås den erforderliga koncentrationen och målriktningen i utvecklings- och projekteringsarbetet.

Av de studerade kapselalternativen är den s k kompositkapseln rymmande 12 BWR-element klart fördelaktigast och väljs som huvudalternativ i det fortsatta arbetet. Denna kapsel består av en stålbehållare, som ger mekaniskt skydd, med en utanpåliggande kopparchållare, som ger långvarigt korrosionsskydd. Kapselns livslängd mht korrosion bedöms till mer än en miljon år vilket är väsentligt längre än den tid som krävs för att isolera avfallet /1-11/. Kapselns mekaniska integritet har utvärderats av en expertgrupp /1-18/. Eftersom kapseln är en vital barriär bör viss vidareutveckling ske för alternativet blyfylld kopparkapsel som reservalternativ till kompositkapseln.

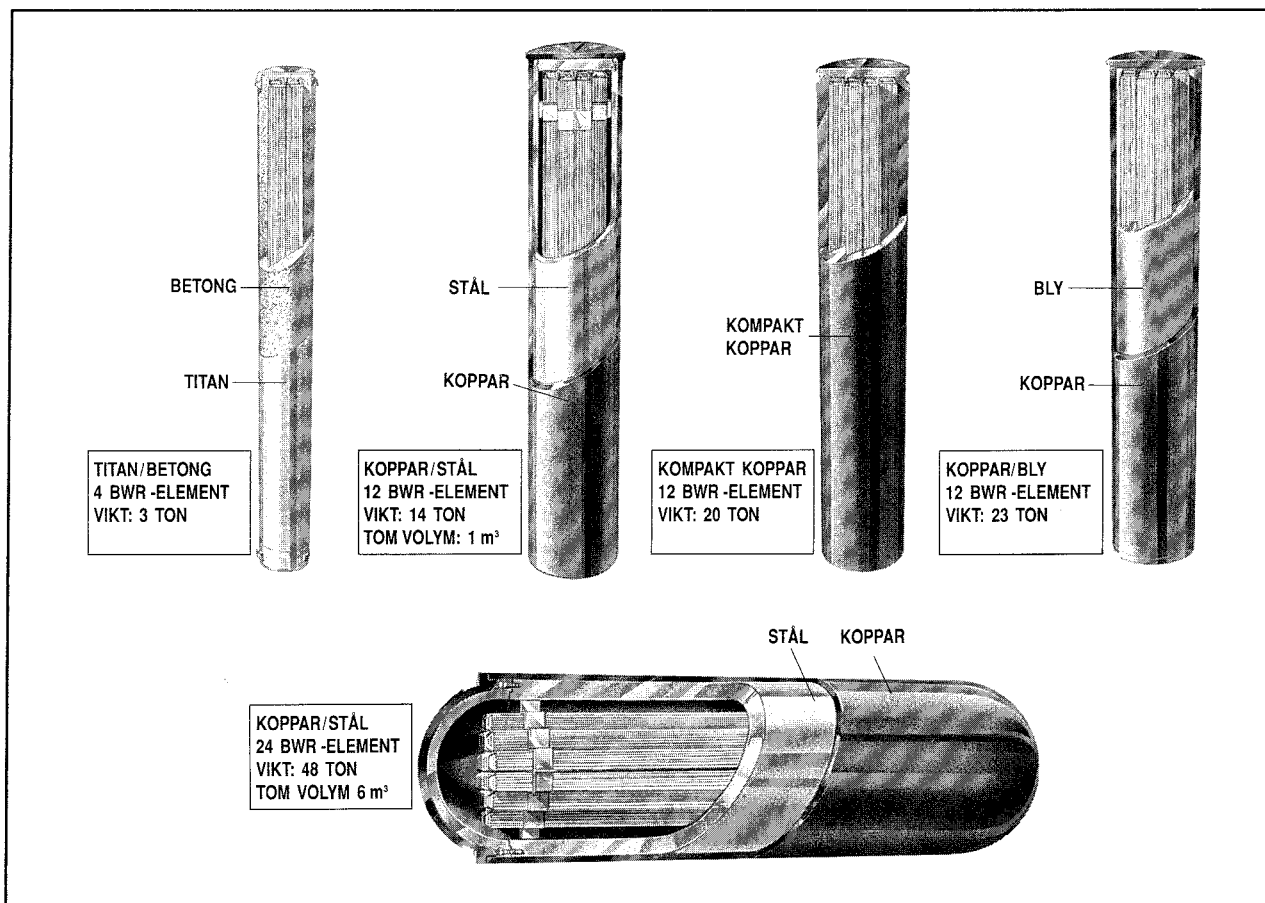


KBS-3 och Medellånga tunnlar



Djupa hål och Långa tunnlar

Figur 1-5. Alternativa utformningar av djupförvar.



Figur 1-6. Studerade kapselkonstruktioner för de olika alternativa utformningarna av djupförvaret.

Av de studerade förvarsutformningarna bedöms "Djupa hål" och "Långa tunnlår" ha klara nackdelar jämfört med KBS-3 och "Medellånga tunnlår". Jämförelsen mellan de två senare har dock ej givit lika klart utfall. Tekniskt bedöms "Medellånga tunnlår" som något besvärligare med avseende på driftverksamheten (inplacering av kapslarna i förvaret) men har å andra sidan en icke obetydlig potential till lägre kostnad. Vad avser långsiktig säkerhet är alternativen likvärdiga. Utformning enligt KBS-3 behålls som huvudalternativ för det fortsatta arbetet. Vid anpassning till de lokala förhållandena på vald plats kan denna utformning ytterligare optimeras varvid tekniskt närliggande varianter av utformningen kan ytterligare övervägas.

## 1.6 FUD-PROGRAMMETS UPPLÄGGNING

För att genomföra en demonstrationsdeponering av använt kärnbränsle i ett djupförvar krävs två huvudaktiviteter i utvecklingsarbetet – inkapsling respektive djupförvaring. Därtill behövs säkerhetsanalyser och stödjande forskning och utveckling.

Arbetet med inkapsling innebär slutligt val och utprovning av metod för tillverkning, förslutning och

kvalitetskontroll av kapslar samt projektering, byggande, licensiering, montage, provdrift och drift av en anläggning för inkapsling. Arbetet med djupförvaring innebär lokalisering, projektering, byggande, licensiering, montage, provdrift och drift av anläggning och utrustning för demonstrationsdeponering i ett djupförvar.

De stödjande FoU-arbetena avser vidareutveckling av metoder, modeller och data inom områdena bränsle, geovetenskap, kemi, material och biosfär. De syftar till att

- vidareutveckla kunskapsbas och förmåga att modellera processer som är viktiga för förvarets funktion för att bättre kunna kvantifiera osäkerheter och säkerhetsmarginaler,
- följa upp den internationella utvecklingen på relevanta områden.

Insatserna planeras så att en kontinuitet erhålles i arbetet och att en uppdatering av kunskapsbas och analysmetoder görs i god tid före större utvärderingar av funktion eller säkerhet. Mycket av den stödjande FUD-verksamheten blir koncentrerad till Äspölaboratoriet. Ett viktigt stöd för vidareutveckling av säkerhetsanalysen är också fortsatta studier av bränsle och naturliga analogier.



Förutom arbeten som utgör direkt stöd för huvudlinjen – djupförvar för demonstrationsdeponering – planeras viss uppföljning av alternativa metoder och system för att ta hand om använt bränsle så att kunskaperna om dessa bibehålls och vidareutvecklas. Härigenom skapas underlag för att i en framtid även kunna värdera sådana system i jämförelse med det som demonstreras i Sverige. Vidare planeras arbeten avseende annat långlivat avfall samt för SFR och för rivning av kärnkraftverk.

En viktig del av FUD-programmet är det internationella samarbetet. Detta är omfattande och sker i flera olika former.

## **1.7 RAPPORTENS UPPLÄGGNING**

Kapitel 2-5 presenterar de riktlinjer vi har i Sverige för kärnavfallens hantering, beskriver avfallens egenskaper och ger en kort översikt av befintliga anläggningar och system.

Kapitel 6 utgör en introduktion till programmets huvuddel i form av en genomgång av olika metoder för förvaring av långlivat avfall.

Kapitel 7-9 redovisar programmets huvudinriktning med en beskrivning av hela den etappvisa utbyggnaden (kapitel 7) samt lokalisering och uppförande av en

inkapslingsstation (kapitel 8) och ett djupförvar för demonstrationsdeponering (kapitel 9).

I kapitlen 10, 11 och 12 sammanfattas planerat arbete inom säkerhetsanalys, stödjande FoU och Äspölaboratoriet.

Kapitel 13 sammanfattar resultaten från det internationella Stripa-projektet som avslutas under 1992 /1-19/. FoU för alternativa metoder och övrigt avfall redovisas i kapitel 14 medan kapitel 15 behandlar rivning av kärntekniska anläggningar. Kostnader och prioriteringar behandlas i kapitel 16 och rapporten avslutas med en redovisning av internationellt samarbete.

Kapitel 6-12 utgör programmets kärna och rekommenderas i första hand för läsning tillsammans med kapitel 16.

Ett antal underlagsrapporter till denna huvudrapport ger mer detaljerad beskrivning av:

- Lokalisering.
- Detaljerat program för stödjande forskning och utveckling 1993–1998.
- Äspölaboratoriet.

Därutöver finns ett brett underlag i SKB Annual Report 1991 /1-21/, SKBs Tekniska Rapporter, i säkerhetsanalysen SKB 91 /1-11/, i Stripa-projektets rapportering /1-19/ samt i rapporteringen av PASS-projektet /1-17/.

## 2 FÖRUTSÄTTNINGAR

### 2.1 RIKTLINJER FÖR AVFALLSHANTERINGEN

Målet för avfallshanteringen är att på ett säkert sätt ta hand om alla radioaktiva restprodukter som uppkommer vid de svenska kärnkraftverken och andra kärntekniska anläggningar i landet. Vidare skall man på ett säkert sätt ta om hand allt övrigt radioaktivt avfall som uppkommer i Sverige.

Tidigt presenterades följande allmänna riktlinjer:

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

Dessa allmänna riktlinjer återgavs redan i SKBs FoU-program 86 /2-1/ och föranledde då inga speciella kommentarer från de granskande instansernas sida. De upprepades i FoU-program 89 /2-2/ och diskuterades och ifrågasattes då vad gäller det använda kärnbränslet i vissa stycken av kärnbränslenämnden. Nämnden anförde bl a:

- ”Enligt nämndens uppfattning kan det ifrågasättas om kommande generationer är bäst betjänta av att avfallsfrågan i allt väsentligt löses av vår generation, och att beslut om den definitiva utformningen av slutförvaret tas redan omkring år 2000. Vi kommer i Sverige i så fall antagligen att bli först om ett sådant beslut vad gäller slutförvaring i urberg. Andra länder kommer sannolikt att fortsätta bearbeta förvaringsproblemen långt in på 2000-talet.

Nya behandlingsmetoder eller deponeringstekniker, som har fördelaktigare säkerhetsegenskaper eller är mer kostnadseffektiva än dagens, kommer sannolikt att utvecklas efterhand för både radiotoxiskt och kemiskt avfall. De definitiva besluten om slutförvaring bör inte tas, förrän strategi och teknik för förvaring av långlivat riskavfall mognat så långt, att den metod som väljs inte inom överskådlig tid riskerar att framstå som felvald.

SKB bör sålunda utreda om slutförvaringen kan genomföras stegvis med ’kontrollstationer’ och möjligheter till åtgärder. ....”

- ”Kärnbränslenämnden anser att en demonstrationsanläggning bör inta slutförvarets plats i SKBs nuvarande planering....” /2-3/.

Regeringen tar upp SKNs synpunkter i sitt beslut över FoU-program 89 och anför följande:

- ”Regeringen betonar att någon bindning till en viss bestämd hanterings- eller förvaringsmetod inte bör ske förrän de säkerhets- och strålskyddsproblem som kan föreligga kan överblickas.

Regeringen vill som sin uppfattning framhålla att en av utgångspunkterna för den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten bör vara att ett slutförvar för kärnavfall och använt kärnbränsle skall kunna tas i drift stegvis med kontrollstationer och möjligheter till justerande åtgärder. SKB bör utreda möjligheterna att låta ett slutförvar i demonstrationsskala ingå som ett led i arbetet med att utforma ett slutförvar. ...” /2-4/.

Bakgrunden till dessa uttalanden av SKN och regeringen har diskuterats i olika sammanhang bl a av SKN och KASAM. SKB har noga övervägt de argument som förts fram i diskussionen. Vår slutsats är bl a att en bred politisk och allmän opinion torde vara överens om följande grundläggande principer för kärnavfallshandtering i Sverige:

- Vi har redan kärnavfall och detta måste tas om hand på ett säkert sätt i vårt eget land.
- Framtida säkerhet bör baseras på en förvaringsmetod som inte förutsätter tillsyn och/eller underhåll då detta skulle innebära att generation efter generation långt in i framtiden måste behålla kunskapen om avfallet och ha vilja, förmåga och resurser att sköta sådan tillsyn och underhåll. Vi vet för litet om framtidens samhälle för att bygga den långsiktiga säkerheten på denna förutsättning.
- Det finns skäl att, allt medan man arbetar konkret och målmedvetet mot att förverkliga en slutförvaring av allt kärnbränsle, så långt möjligt bibehålla handlingsfriheten med tanke på om alternativa och

på något sätt bättre eller enklare lösningar kommer fram eller på grund av att man t ex omvärderar nuvarande bedömning angående återutnyttjande (upparbetning) av en del av de klyvbara ämnena (U, Pu) i bränslet. De nordiska strålskyddsmyndigheterna har formulerat följande princip: *Början på framtida generationer skall begränsas genom att man vid lämplig tidpunkt genomför en säker deponering som inte beror av långsiktig institutionell kontroll eller förbättrande åtgärder som en nödvändig säkerhetsfaktor /2-5/*. Detta krav finns också formulerat på internationell nivå /2-6/ och har allmänt accepterats som en grundprincip av alla länder med kärnkraft.

Vad gäller driftavfallet från kärnkraftverken och en del annat avfall från forskning mm finns redan anläggningar och system i drift som fyller de krav som följer av de allmänna riktlinjerna.

De synpunkter som framförts med avseende på värdet av bevarande av handlingsfrihet har beaktats i nu föreliggande FUD-program, se vidare kapitel 7.

## 2.2 GÄLLANDE LAGSTIFTNING M M

Kärnkraftverksägarnas skyldigheter med avseende på hantering och slutförvaring av radioaktivt avfall regleras i lagen /2-7/ om kärnteknisk verksamhet och i förordningen om kärnteknisk verksamhet /2-8/ samt i vissa tillstånd och riktlinjer som regeringen utfärdat.

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

- att vidta de åtgärder som behövs för att hantera och slutförvara uppkommet kärnavfall på ett säkert sätt och för att avveckla och riva kärnkraftverken och tillhörande anläggningar,
- den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet som behövs för att genomföra dessa åtgärder inklusive studier av alternativa hanterings- och förvaringsmetoder,
- att var tredje år fr o m 1986 upprätta ett program för forskning och utveckling och övriga åtgärder samt därvid redovisa uppnådda forskningsresultat.

De ändringar som föreslagits av utredningen om "Översyn av lagstiftningen på kärnenergiområdet" /2-9/ ändrar inte de här aktuella bestämmelserna. Utredningen föreslår dock ett förbud mot att uppföra anläggningar för slutförvaring av använt kärnbränsle eller kärnavfall från kärnteknisk anläggning i annat land. Vidare föreslås att myndigheterna skall ges utvidgad möjlighet att föreskriva villkor i samband med granskningen av programmet för forskning och utveckling och övriga åtgärder.

## 2.3 BAKGRUND

Forskning rörande hantering och slutförvaring av radioaktivt avfall startade i större omfattning i Sverige i

samband med inrättandet av Programrådet för radioaktivt avfall (Prav) år 1975. Rådet inrättades på förslag av AKA-utredningen /2-10/. Forskningen intensifierades i samband med tillkomsten av den sk "villkorlagen" 1976/77. Härvid startades KBS-projektet av kärnkraftföretagen. Projektarbetet knöts administrativt till SKB. Projektet tog fram två slutförvaringsmetoder KBS-1 för förglasat högaktivt avfall från upparbetning (1977) /2-11/ och KBS-2 för slutförvaring av använt icke upparbetat kärnbränsle (1978) /2-12/.

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

I samband med tillkomsten av finansieringslagen /2-13/ avskaffades Prav och i stället inrättades Nämnden för Använt Kärnbränsle (NAK), sedermera Statens Kärnbränslenämnd (SKN). Denna myndighet hade bl a till uppgift att granska och övervaka kraftföretagens (SKBs) verksamhet inom avfallsområdet. Från 1 juli 1992 har SKNs uppgifter överförts på Statens Kärnkraftinspektion.

År 1983 presenterade SKB en ny rapport om slutförvaring av använt kärnbränsle. Rapporten baserades på samma metod som beskrivs i KBS-2, men den nya rapporten, KBS-3, byggde på ett väsentligt breddat och fördjupat kunskapsunderlag /2-14/.

KBS-3-rapporten utgjorde underlag för laddningstillstånd för reaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3. Regeringen beviljade sådana tillstånd enligt kärntekniklagen /2-7/ i juni 1984. Som grund för tillståndet låg även ett forskningsprogram /2-15/ som utarbetats av SKB i februari 1984. Sedermera har även drifttillstånd för Barsebäck 2, Ringhals 3 och 4 och Forsmark 1 och 2 överförts till att baseras på KBS-3.

I september 1989 presenterade SKB det andra forskningsprogrammet enligt kärntekniklagen /2-2/. Resultaten från SKBs forskningsarbeten rapporteras fortlöpande i SKBs tekniska rapporter. Årliga sammanfattningar ingår i SKB Annual Report /2-16, 2-17/.

## 2.4 FoU-PROGRAM 89 – REMISSBEHANDLING

Efter att FoU-program 89 inlämnats till SKN i september 1989 skickades programmet på remiss till ett stort antal institutioner i Sverige. Remisstiden utgick den 1 februari 1990.

På basis av de inkomna synpunkterna och egna överväganden sammanställde SKN en granskningsrapport till regeringen i mars 1990 /2-3/. En sammanställning av olika granskares synpunkter på SKBs forsknings- och utvecklingsarbete har gjorts /2-18/. Regeringens beslut med anledning av FoU-program 89 meddelades i december 1990 /2-4/.

SKB har i görligaste mån beaktat inkomna kommentarer till FoU-program 89 i föreliggande FUD-program.

# 3 AVFALL FRÅN SVENSKA KÄRNKRAFTPROGRAMMET

## 3.1 KLASSIFICERING AV RADIOAKTIVT AVFALL

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

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

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

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

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

I Tabell 3-1 ges exempel på klassificering av avfall från kärnkraftsprogrammet ur aktivitets- respektive livslängdssynpunkt.

**Tabell 3-1. Exempel på klassificering av radioaktivt avfall.**

LIVSLÄNGD	RADIOAKTIVITET		
	Hög	Medel	Låg
Lång (tusentals år)	Använt bränsle	Vissa hård- komponenter	
Medel (några hundra år)		Jonbytarmassor Kasserade komponenter Rivningsavfall	Underhålls- avfall

## 3.2 AVFALL FRÅN KÄRNKRAFTVERKEN

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

- Använt bränsle.
- Driftavfall.
- Hårdkomponenter och interna delar.
- Rivningsavfall.

### 3.2.1 Använt bränsle

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

I KBS-3 beskrivs några av de bränsletyper som används i svenska kraftreaktorer /3-1/. Ett bränsleelement för en kokvattenreaktor (BWR) innehåller ca 180 kg uran och för en tryckvattenreaktor (PWR) ca 460 kg uran. Konstruktionen skiljer sig något åt mellan olika tillverkare och mellan bränsle tillverkat vid olika tidpunkter. Ur slutförvaringssynpunkt är skillnaderna mellan olika bränsletyper allmänt sett av liten betydelse. Detta gäller även udda bränsleelementtyper med oxidbränsle kapslat i zircaloy, t ex MOX-bränsle och Ågesta-bränsle.

Det använda bränslet utgörs till största delen av icke förbrukat uran, medan huvuddelen av radioaktiviteten hänför sig till bränslets innehåll av klyvningsprodukter och transuraner. Exempel på sammansättning, aktivitetsnivå och andra data för använt bränsle ges i /3-2/.

Den höga aktivitetsnivån i använt bränsle medför att det fortsätter att avge värme lång tid efter att det tagits ut ur reaktorn. Detta har stor betydelse för hur det använda bränslet skall hanteras och slutförvaras. Mellan 1 och 40 år efter uttag sjunker resteffekten med ca en faktor 10. Därefter tar det ca 500 år innan resteffekten har sjunkit ytterligare en faktor 10.

### 3.2.2 Driftavfall

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

Driftavfallet är låg- och medelaktivt och det innehåller huvudsakligen radioaktiva ämnen med kortare halveringstider än 30 år. Halten långlivade radioaktiva ämnen är mycket låg. Inom några hundra år har farligheten hos driftavfallet avklingat till en nivå som är jämförbar med den naturliga radioaktiviteten i berg.

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

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

### 3.2.3 Härdkomponenter och reaktortankens interna delar

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

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

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

### 3.2.4 Rivningsavfall

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

Avfallet som erhålles vid rivning utgörs främst av komponenter av stål, t ex tankar, rör och ventiler, från reaktorns processsystem. Vidare erhålles stora mängder betong, som till mer än 90% är okontaminerad. I sam-

band med rivningsarbetet får man även en del processavfall från vatten- och luftreningsystem, som är i drift under rivningsperioden.

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

En stor del av aktiviteten utgörs av ytkontaminering, som kan tas bort med olika dekontamineringsmetoder. Mängden material, som kan friklassas är därför beroende av hur långt man vill driva dekontamineringsarbetet.

## 3.3 ÖVRIGT RADIOAKTIVT AVFALL

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

### 3.3.1 Avfall från CLAB och inkapslingsstation

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

### 3.3.2 Avfall från Studsvik

I Studsvik har kärnteknisk forskning bedrivits sedan mitten av 1960-talet. Den har bland annat omfattat drift av forskningsreaktorn R2 samt olika typer av undersökningar av radioaktiva produkter, t ex bränslestavar. Denna verksamhet har genererat avfall, som samlats i förvaringsanläggningar i Studsvik. Sedan 1986 pågår arbete med att behandla och klassificera detta avfall.

Driften av R2-reaktorn ger dels använt bränsle, dels driftavfall. Bränslet återsänds normalt till USA och behöver således inte tas om hand i Sverige. För några år sedan införde USA ett temporärt stopp för mottagning av denna typ av bränsle. I avvaktan på att stoppet skall hävas mellanlagras R2-bränslet i Studsvik.

Övrigt avfall från R2 är av liknande typ som driftavfallet från kärnkraftverken och behandlas också på likartat sätt.

Avfallet från FoU-verksamheten i Studsvik är däremot av annan karaktär. En del av detta avfall består av bränslerester och innehåller betydande mängder långlivade transuraner. Detta avfall ställer därför liknande krav på slutförvaringen som det använda bränslet. Det inkapslas i stålrör och förs successivt över till mellanlagring i CLAB. Även bränsle från Ågesta-reaktorn som tidigare lagrades i Studsvik har förts över till CLAB. Kvar i Studsvik finns bränsle från den nedlagda forskningsreaktorn R1. Detta bränsle måste behandlas ytterligare före slutförvaring.

Från FoU-verksamheten finns även olika typer av långlivat låg- och medelaktivt avfall, vilka också ställer höga krav på slutförvaringen. Detta avfall förpackas nu i olika typer av behållare lämpade för slutförvaring, och kommer att mellanlagras i Studsvik i avvaktan på att slutförvaret för långlivat låg- och medelaktivt avfall tas i drift.

### 3.3.3 Avfall från upparbetning

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

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

Endast 140 ton svenskt bränsle avses numera bli upparbetat. Det skall ske hos BNFL i Storbritannien som även tar hand om avfallet. De tidigare upparbet-

ningskontrakten med COGEMA har överlåtits till andra kunder och kommer inte att utnyttjas för svenskt bränsle.

Upparbetningsavfall ingår därför inte längre i de svenska planerna för kärnkraftens slutsteg.

## 3.4 BERÄKNADE AVFALLSMÄNGDER

I PLAN 92 har den totala mängden radioaktivt avfall från det svenska kärnkraftsprogrammet beräknats /3-4/. Resultatet framgår av Tabell 3-2.

**Tabell 3-2. Huvudtyper av radioaktiva restprodukter.**

Produkt	Huvudsakligt ursprung	Enhet	Antal enheter	Volym i slutlager m <sup>3</sup>
Använt bränsle		ton U	7 900	9 800
Alfa-kontaminerat avfall	Låg- och medelaktivt avfall från Studsvik	fat, kokiller	1 600	1 500
Hårdkomponenter	Reaktordelar	kokiller	2 400	19 700
Låg- och medelaktivt avfall	Driftavfall från kärnkraftverk och behandlingsanläggningar	fat, kokiller	56 000	91 500
Rivningsavfall	Från rivning av kärnkraftverk och behandlingsanläggningar	10-20 m <sup>3</sup> behållare	5 500	111 500

# 4 EXISTERANDE SYSTEM FÖR HANTERING AV RADIOAKTIVT AVFALL FRÅN KÄRNKRAFTVERKEN

## 4.1 ALLMÄNT

En säker hantering och slutförvaring av kärnkraftavfallet kräver planering, uppförande och drift av ett flertal anläggningar och system. Figur 4-1 ger en översikt av de olika delarna i det planerade svenska avfallshanteringsystemet. Dessa beskrivs utförligt i den årliga redovisningen av kostnaderna för att ta hand om kärnkraftens radioaktiva restprodukter, PLAN 92, som kraftföretagen genom SKB lämnat /4-1/. Här ges endast en kortfattad översikt.

Anläggningarna planeras med hänsyn även till det radioaktiva avfall i Sverige som inte hänför sig till elkraftproducerande reaktorer, se kapitel 3.

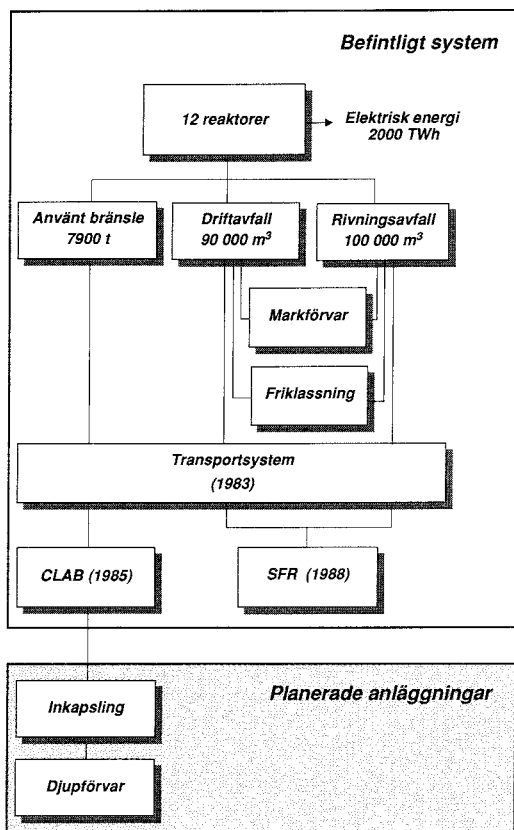
Utformningen av systemet baseras på följande grundläggande principer:

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

Väsentliga delar av avfallshanteringsystemet är redan i drift, nämligen det centrala lagret för använt bränsle, CLAB, slutförvaret för reaktoravfall, SFR, och transportsystemet. Under början av 2000-talet planeras CLAB och SFR byggas ut för att kunna ta hand om allt använt bränsle och avfall från det svenska programmet.

Återstående delar är en inkapslingsstation för använt bränsle och ett slutförvar för långlivat avfall. För dessa systemdelar pågår ett omfattande FoU-arbete, som syftar till att bestämma en lämplig utformning och plats.

I åtgärden för att ta hand om kärnkraftens radioaktiva restprodukter ingår även att riva kärnkraftverken och övriga anläggningar, när dessa har tagits ur drift, samt att slutförvara avfallet från rivningen, se kapitel 15.



Figur 4-1. Översikt av det svenska avfallshanterings-systemet.

## 4.2 ANLÄGGNINGAR OCH SYSTEM I DRIFT

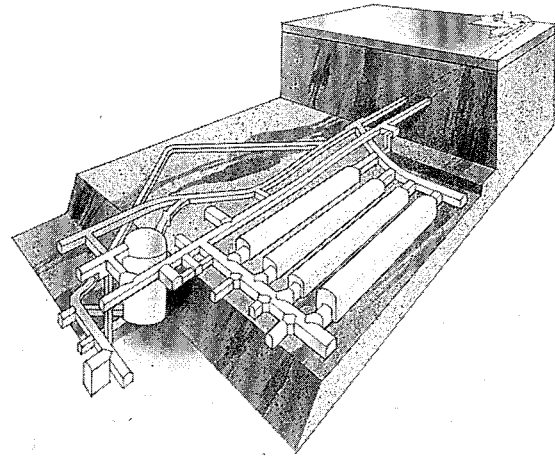
### 4.2.1 Slutförvar för radioaktivt driftavfall, SFR

Slutförvaret för radioaktivt driftavfall, SFR, ligger vid Forsmarks kärnkraftverk /4-2/. I SFR deponeras driftavfall från de svenska kärnkraftverken, samt motsvarande avfall från CLAB och Studsvik. I Studsviksavfallet ingår även avfall från användning av radioisotoper inom forskning, industri och medicin.

Det avfall som deponeras i SFR är låg- och medelaktivt och kortlivat, vilket innebär att farligheten har avklingat till samma nivå som för den naturliga radioaktiviteten i berget inom några hundra år. I Tabell 4-1 visas mängden avfall som planeras bli deponerat i SFR. I djupförvaret för högaktivt avfall kommer en mindre mängd driftavfall och rivningsavfall från CLAB respektive inkapslingsstationen att deponeras. Detta förklarar skillnaden i avfallsmängderna mellan Tabell 3-2 respektive Tabell 4-1.

Tabell 4-1. Avfall som planeras bli deponerat i SFR.

	Lagervolym (m <sup>3</sup> )
<i>Driftavfall</i>	
Medelaktivt	65 000
Lågaktivt	25 000
	<u>90 000</u>
<i>Rivningsavfall</i>	
Medelaktivt	12 000
Lågaktivt	88 000
	<u>100 000</u>



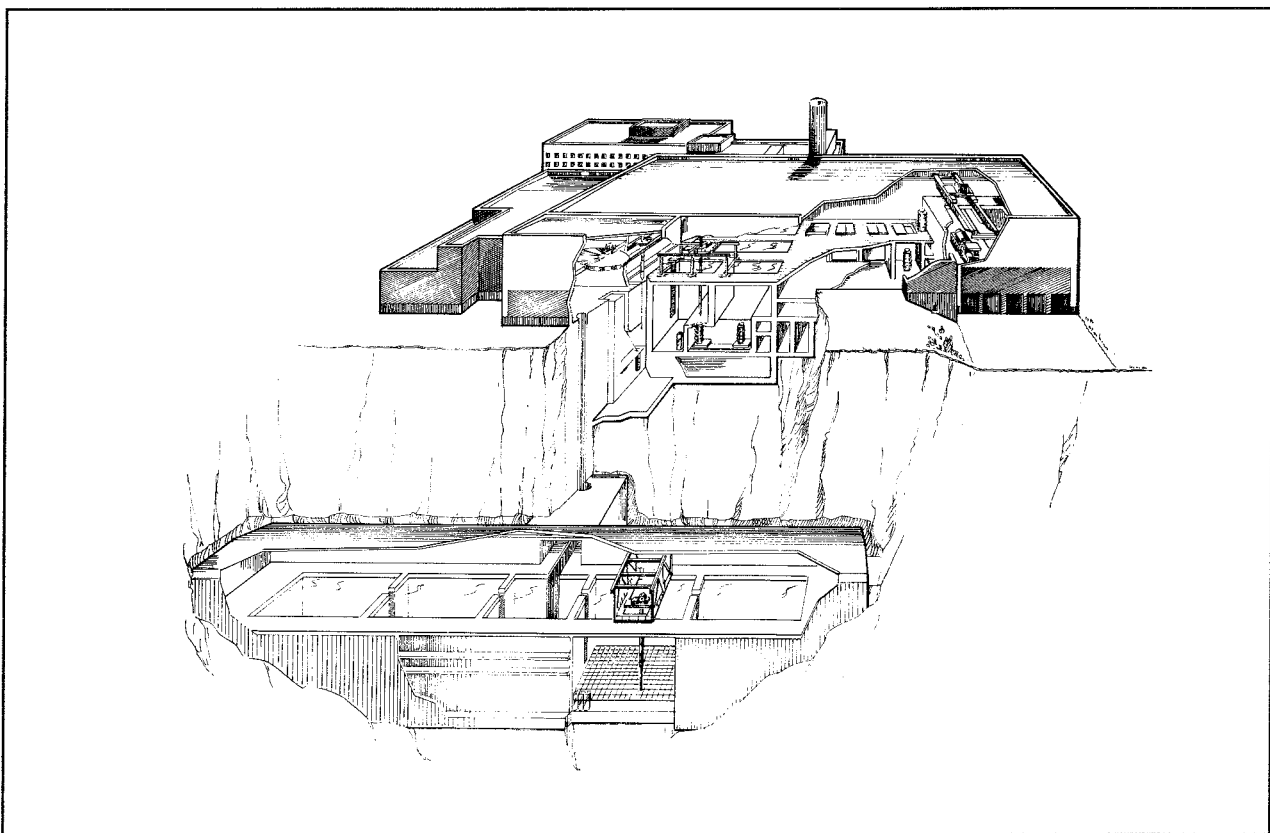
Figur 4-2. Översikt av bergrum och tunnlar i slutförvaret för radioaktivt driftavfall, SFR.

SFR har placerats i berg med ca 50 m bergtäckning. Det består av olika bergrum, som utformats med hänsyn till avfallens olika aktivitetsinnehåll, se Figur 4-2.

SFR togs i drift 1988. I anslutning till SFR planeras även utrymmen för slutförvaring av rivningsavfall. Dessa kommer att beslutas och byggas när det blir aktuellt att riva kärnkraftverken. Dessförinnan krävs ett nytt regeringstillstånd.

I ansökan om lokaliseringstillstånd för SFR angavs även att anläggningen senare kan utökas så att även

härddkomponenter och interna delar kan deponeras där. Nu antas av praktiska skäl att detta avfall i stället deponeras i anslutning till slutförvaret för långlivat avfall. Möjligheten att deponera det i SFR bör dock hållas öppen.



Figur 4-3. Översikt av mottagningsbyggnad och bergrum i det Centrala lagret för använt bränsle, CLAB.



#### 4.2.2 Centralt mellanlager för använt bränsle, CLAB

I det centrala mellanlagret för använt bränsle, CLAB, som ligger intill Oskarshamnsverket, kommer bränslet att mellanlagras under ca 40 år. Under mellanlagringen minskar bränslets aktivitetsinnehåll och resteffekt med ca 90%. CLAB togs i drift 1985 och avlastade därmed lagringsbehovet vid kärnkraftverken /4-3/.

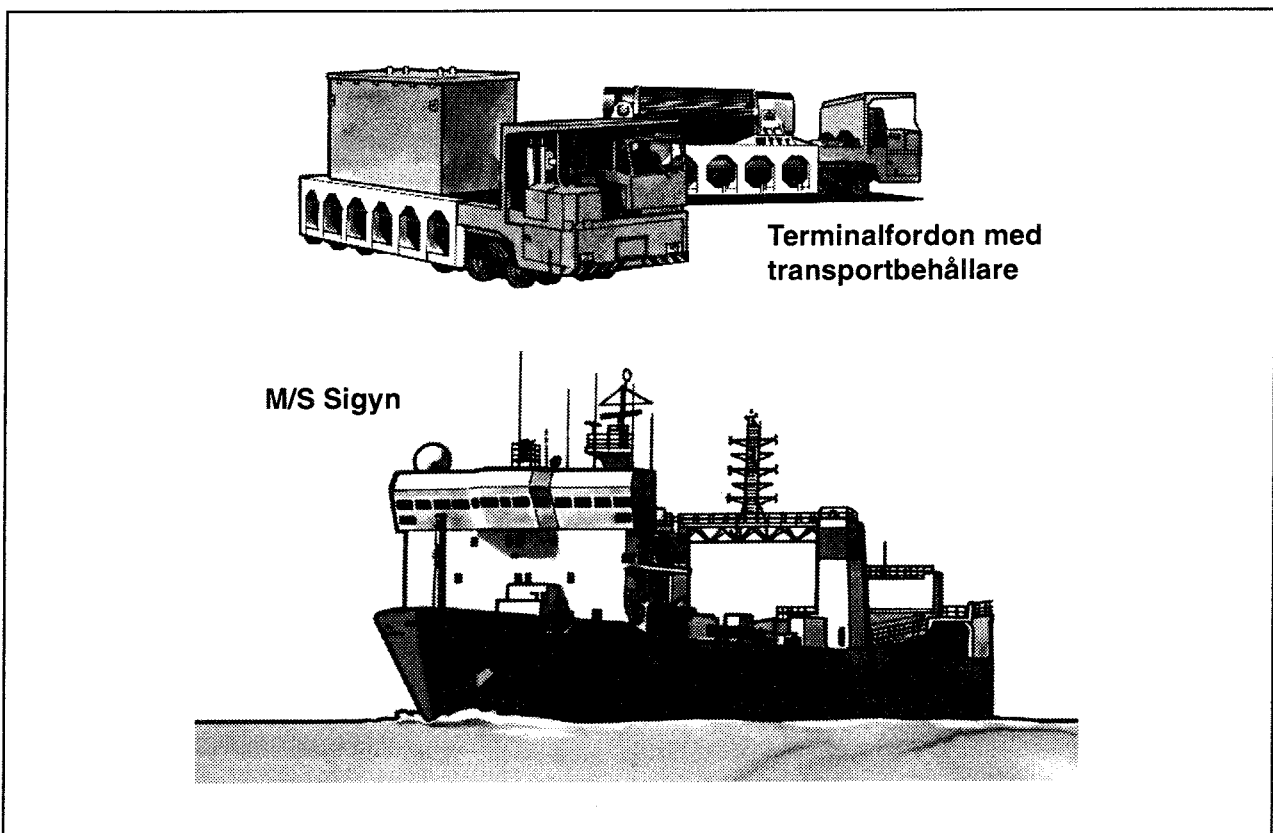
CLAB består av en mottagningsbyggnad ovan jord och ett förvaringsutrymme i bergtrum, se Figur 4-3. Bränslet hanteras och förvaras under vatten. Kapaciteten är nu ca 5 000 ton använt bränsle i 4 bassänger. Till början av 2000-talet planeras en utbyggnad så att allt bränsle från det svenska programmet, ca 8 000 ton, kan lagras i CLAB. Anläggningen är förberedd för detta och utbyggnaden kan ske samtidigt som bränsle tillförs och lagras i det befintliga bergtrummet. Utöver använt bränsle från de svenska kärnkraftverken lagras även bränsle från Ågesta-reaktorn och bränslerester från studier i Studsvik i CLAB.

I CLAB kan även hårdkomponenter och interna delar mellanlagras.

#### 4.2.3 Transportsystemet

För transporter av använt bränsle och radioaktivt avfall används ett transportsystem baserat på sjötransporter /4-4/. Det består av ett fartyg, M/S Sigyn, transportbehållare och terminalutrustning, se Figur 4-4. Transportbehållarna uppfyller de höga krav på strålskärning och tålighet mot yttre påkänningar som utarbetats av IAEA. Olika typer av transportbehållare används för använt bränsle och för låg- och medelaktivt avfall.

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



Figur 4-4. Det svenska transportsystemet för radioaktivt avfall.

# 5 METODER FÖR BEHANDLING AV ANVÄNT BRÄNSLE

## 5.1 ALLMÄNT

Ett antal tänkbara principer för behandling och slutförvaring av radioaktivt avfall belyses i SKN PLAN 87 samt i SKBs PLAN 82 del 1 /5-1,2/.

Man kan därvid särskilja följande olika behandlingsmetoder

- inkapsling av bränsle för direkt slutförvaring,
- upparbetning av bränslet och återcyklning av uran och plutonium,
- separation och transmutation.

I det första fallet betraktas det använda bränslet som ett avfall utan ytterligare värde, medan vid upparbetning och annan separation de kvarvarande energiråvarorna i bränslet, främst uran och plutonium, återvinnes för fortsatt utnyttjande som kärnbränsle.

I samtliga fall erhålles dock högaktiva och långlivade avfallsprodukter som måste tas om hand för slutförvaring. Vid separation och transmutation eftersträvas att minimera mängden långlivade radionuklider i avfallet genom omvandling (transmutation) av dem till mera kortlivade nuklider. Redan vid upparbetning minskas mängden långlivat plutonium i avfallet avsevärt. Gemensamt för upparbetning och transmutation är dock att volymen långlivat avfall ökar genom sekundäravfall från processerna.

Huvudalternativet för omhändertagande av det använda kärnbränslet från de svenska kärnkraftverken har under 1980-talet varit och är alltså mellanlagring under relativt lång tid ca 40 år och därefter inkapsling och direkt slutförvaring. I andra länder studeras emellertid andra behandlingsmetoder. Detta kapitel, ger en översikt av de viktigaste av dessa metoder.

## 5.2 INKAPSLING AV BRÄNSLE

Genom direkt inkapsling av det använda kärnbränslet innesluts och isoleras detta i behållare utan kemisk eller mekanisk bearbetning av själva bränslekutsarna. Olika metoder kan emellertid tillgripas för att minska den volym av hela bränsleelementet som behöver kapslas in tillsammans med bränslekutsarna.

Figur 5-1 visar typiska BWR- och PWR-element som de ser ut när de tas ut ur reaktorerna. BWR-elementen är utrustade med boxar medan PWR-elementen ligger fria.

Boxarna är längre än bränslet och kapslarna kan göras kortare om boxarna avlägsnas före inkapslingen.

Å andra sidan måste då en speciell hantering byggas upp för slutförvaring av de frigjorda boxarna.

Elementen utan boxar kan ytterligare plockas isär, så att varje bränslestav kan hanteras för sig. Stavarna kan då läggas tätare i varje kapsel, så kallad tätpackning. Övriga metalldelar hanteras för sig. I praktiken kan en tätpackning uppnås som fördubblar mängden bränsle per volymenhet kapsel i förhållande till inkapsling av element utan boxar.

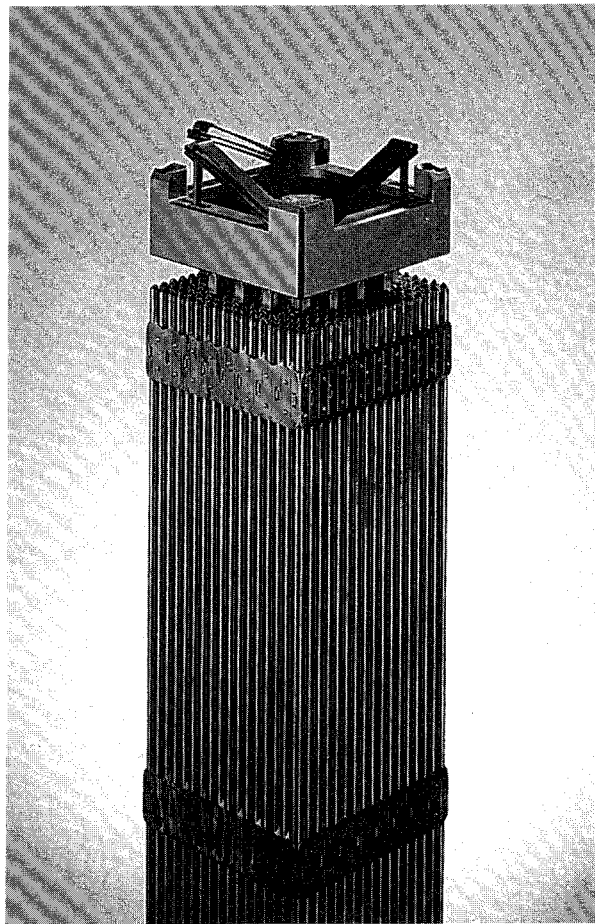
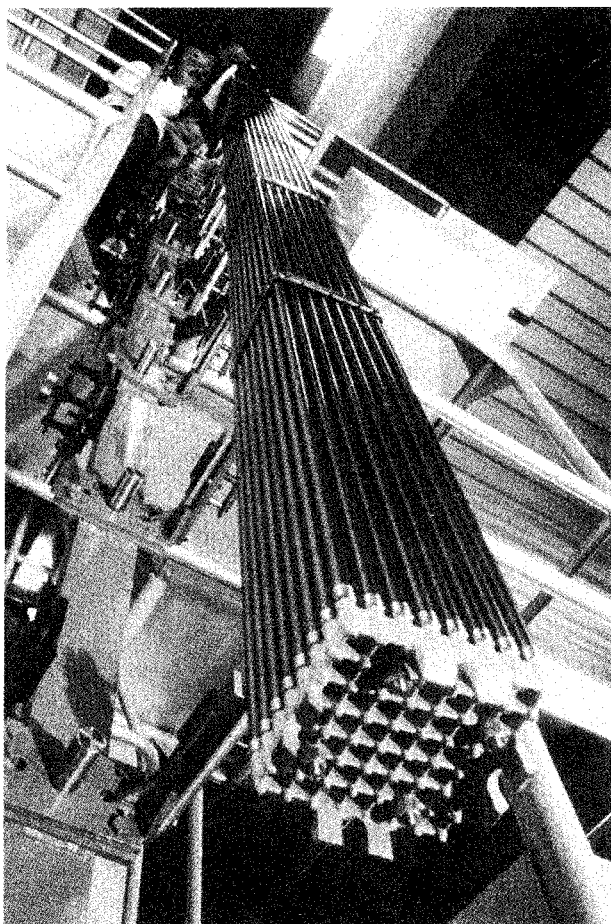
Ett sista möjligt bearbetningssteg är kapning av stavarna i längder. Mängden bränsle per volymenhet kapsel ändras ej, utan åtgärden leder endast till att kapslar kan göras kortare. Ur säkerhetssynpunkt innebär detta steg en försämring genom att inkapslingsprocessen kompliceras och att zirkaloyen runt bränslekutsarna skärs sönder varvid en liten mängd gas i spalten mellan kutsarna och zirkaloyröret frigörs.

I det svenska programmet har man hittills planerat för en separering av boxar och bränsleelement, varvid boxarna deponeras ingjutna i betongkokiller i ett förvar i närheten av djupförvaret för det använda bränslet. Möjligheten att behålla boxarna på bränslet studeras också.

En tätpackning skulle kunna bli aktuell om man i CLAB väljer en mellanlagringsmetod som innebär tätpackning. Detta är emellertid inte aktuellt för närvarande. Kapning av bränslestavar har aldrig övervägts m h t de säkerhetsmässiga driftproblemen.

Själva inkapslingen kan ske på flera sätt. Flera alternativ har studerats inom ramen för SKBs PASS-projekt. Se kapitel 6, 11 och underlagsrapport om PASS-projektet. Såsom senare redovisas i kapitel 6 har för det fortsatta arbetet valts ett alternativ bestående av en stålkapsel som är placerad i en korrosionsskyddande kopparkapsel. Innanmätet kan fyllas med sand eller liknande produkt i kallt tillstånd. Denna kapsel benämns i det följande kompositkapseln. En alternativ kapselmodell utgör den utformning som legat till grund för kostnadskalkylerna i PLAN-rapporterna /5-3/, vilken består av en kopparcylinder som efter införsel av bränsleelementet fylls med bly, och försluts. Figurerna 5-2 och 5-3 visar kompositkapseln respektive den blyfyllda kopparkapseln. Observera de något olika yttre diametrarna på de två kapselalternativen. Volymen av kapslarna motsvarar knappt 1,5 m<sup>3</sup>/ton uran.

Inkapsling av använt bränsle studeras även i några andra länder, t ex USA, Kanada, Finland, Spanien och Tyskland. I USA, Spanien och Tyskland studerar man i första hand stål, i Kanada titan medan TVO i Finland valt samma kapselutförande som SKB. I Tyskland



*Figur 5-1. Bränsleelement av BWR-typ (vänstra bilden) samt av PWR-typ (högra bilden).*

byggs i Gorleben en pilotanläggning för inkapsling av använt bränsle. I samband med inkapsling kommer bränsleelementen där att plockas isär för att få en högre fyllnadsgrad i kapseln. Man studerar även möjligheten att dela stavarna på längden för att få kortare kapslar. /5-4/

### 5.3 UPPARBETNING

Det använda bränslet innehåller när det tas ur reaktorn uran, plutonium, klyvningsprodukter och andra transuroner. Uran och plutonium kan om det separeras återanvändas till nytt reaktorbränsle, medan resterande ämnen (ca 4% av bränslet) utgör avfall. En sådan separation sker vid upparbetning av det använda bränslet. Genom återanvändning av upparbetat uran och plutonium i lättvattenreaktorer kan behovet av natururan teoretiskt sänkas med ca 30%. I sammanhanget bör påpekas att resthalten av U-235 i högutbränt bränsle från svenska reaktorer endast är omkring 0,6%. Anrikning av sådant uran är ej lönsamt.

Upparbetning i kommersiell skala sker idag i La Hague och Marcoule i Frankrike, samt i Sellafield i Storbritannien. Mindre prototypanläggningar finns i

Japan och Indien. Tidigare har upparbetning även skett i USA och Tyskland, men dessa anläggningar är nu stängda.

En upparbetningsanläggning är en mycket stor kemisk fabrik. Upparbetningsanläggningarna UP2 och UP3 i La Hague har en sammanlagd kapacitet av 1200 ton/år, motsvarande behovet för 50 reaktorer och upp-tar tillsammans en yta av ca 300 ha.

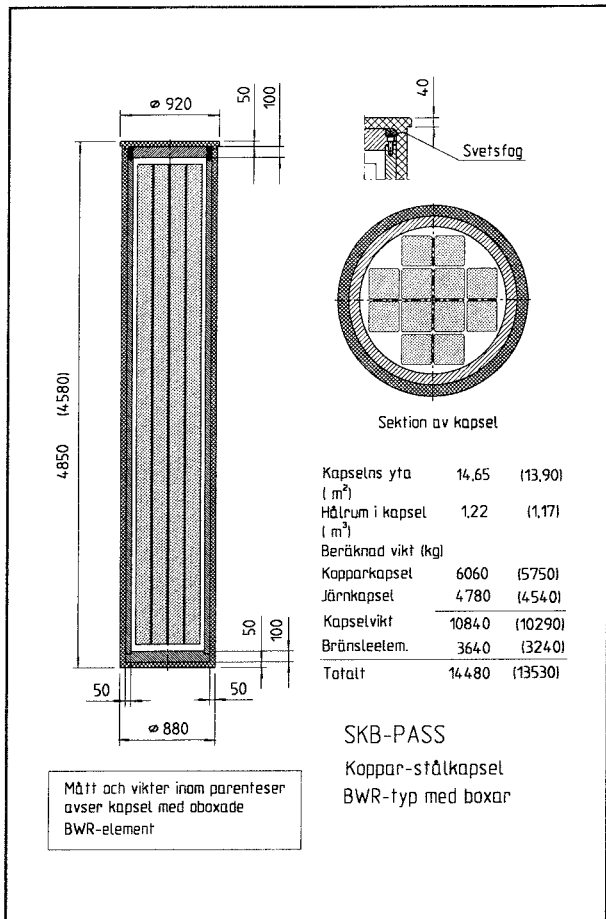
Upparbetningen består förenklat av följande steg:

- Mottagning och mellanlagring av bränsle.
- Kapning av bränslet och upplösning i stark syra.
- Kemisk separation av uran, plutonium och avfall i en flerstegs vätske-vätske-extraktion.
- Rening av uran- och plutoniumströmmarna och konvertering till oxid.
- Behandling av olika avfallsströmmar.

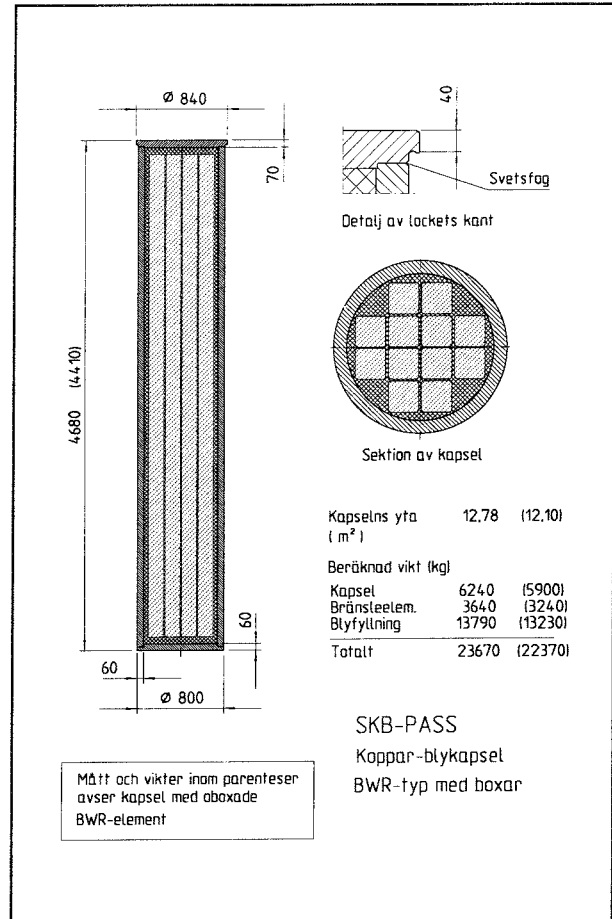
#### Uran och plutonium

Efter upparbetning föreligger uran och plutonium i en sådan form att de skall kunna återanvändas vid bränsletillverkning.

Uranet har typiskt en resthalt av 0,4 – 0,9% U-235. Innan det återanvänds behöver det således anrikas. Med hänsyn till att upparbetat uran även innehåller



Figur 5-2. Kompositkapsel.



Figur 5-3. Blyfylld kapsel.

små mängder andra uranisotoper (gammastrålande resp neutronabsorberande) sker anrikningen normalt i en separat del av anrikningsanläggningen. Vid upprepade återcyklning av uran byggs dessa isotoper upp ytterligare, varför för närvarande endast en återcyklning planeras.

Plutonium återanvänds i sk blandoxidbränsle, MOX-bränsle (Mixed OXide fuel), varvid plutoniumoxid blandas med uranoxid och sintras till kulsar med en homogen blandning. Tillverkningen av MOX-bränsle sker i helt slutna system i speciella fabriker. Återcyklning av plutonium i MOX-bränsle sker i dag i kommersiell skala endast i Tyskland. Prov med MOX-bränsle har även utförts i andra länder och kommersiell användning planeras inom några år. Även plutonium försämras vid upprepade återcyklningar, varför för närvarande endast några få återcyklningar planeras.

### Avfall från upparbetning

Vid upparbetning erhålles olika typer av avfall. De viktigaste är:

- Högaktivt förglasat avfall (ca 0,1 m<sup>3</sup>/ton uran). Detta avfall innehåller huvuddelen av klyvningsprodukterna och transuranerna.

- Kapslingsavfall (ca 0,7 m<sup>3</sup>/ton uran), som består av bränslekapslingen och bränslets övriga konstruktionsdelar som återstår efter upplösning av bränslet. Kapslingsavfallet kan även innehålla små mängder av ouplöst bränsle. Kapslingsavfallet gjuts normalt in i betong.
- Låg- och medelaktivt avfallsslam ingjutet i bitumen eller cement (ca 0,5 m<sup>3</sup>/ton uran).
- Olika typer av fast avfall ingjutet i cement (ca 5 m<sup>3</sup>/ton uran).

En stor del av detta avfall innehåller så mycket långlivad aktivitet att det kräver slutförvaring på stort djup. Ett sådant slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall planeras vid Sellafield i England /5-5/. Ett slutförvar för motsvarande avfall från militära anläggningar har byggts vid Carlsbad i New Mexico, USA /5-6/. Det högaktiva förglasade avfallet avger dessutom värme så att liknande krav ställs på slutförvaret som för använt bränsle.

### Upparbetning i världen

Upparbetning av använt bränsle är den förhärskande strategin i ett flertal länder i världen, främst Frankrike, Storbritannien, Japan och Ryssland där stora upparbet-

ningsanläggningar har byggts eller planeras. Även Tyskland hade tidigare planer på en egen uppberedningsanläggning, men dessa övergavs för några år sedan, till förmån för fortsatt uppberedning utomlands. Andra länder som Schweiz, Belgien och Holland uppberedar sitt bränsle i Frankrike och Storbritannien och ett flertal öststater har skickat bränslet till f.d. Sovjetunionen för uppberedning.

På senare år har dock ett minskat intresse för uppberedning förmärkts, bland annat till följd av ökade kostnader, låga natururanpriser, samt svårigheter att komma igång med återcykling i stor skala. Den ökade utbränningen av bränslet har även minskat värdet på det återvunna uranet och plutoniet. Av denna anledning studeras även direktdeponering i flera länder som alternativ till uppberedning, t ex i Tyskland.

### Uppberedning av svenskt bränsle

Till slutet av 1970-talet var inriktningen att det svenska bränslet skulle uppberedas. Sålunda tecknades kontrakt med BNFL i Storbritannien och COGEMA i Frankrike om uppberedning av bestämda kvantiteter. Av dessa har endast kontraktet med BNFL utnyttjats varvid 140 ton bränsle från Oskarshamnverket skickats till Sellafield. Det mellanlagras nu där i avvaktan på uppberedning i slutet av 1990-talet. Enligt kontraktet med BNFL kommer avfallet från uppberedning av detta bränsle att behållas i Storbritannien för slutförvaring. Rätten att utnyttja kontraktet med COGEMA har överlåtit på andra kunder och det finns inga planer på att skicka något bränsle till La Hague. En mindre mängd skickades i början av 1980-talet. Detta har dock övertagits av tyska kraftföretag i utbyte mot använt Mox-bränsle.

Kraftföretagens planer är således att endast ovan nämnda 140 ton skall uppberedas. Resterande bränsle, ca 7 800 ton, avses bli direktdeponerat.

## 5.4 SEPARATION OCH TRANSMUTATION

En vidareutveckling av uppberedning och återcykling av uran och plutonium är vad man brukar kalla "partitioning and transmutation" (P-T) på engelska. "Partitioning" innebär en mer fullständig separation (än med idag gängse uppberedning) av långlivade radioaktiva ämnen från de stabila eller kortlivade ämnena i det använda bränslet. De långlivade ämnena skall sedan användas – transmuteras – till mer kortlivade eller stabila ämnen genom bestrålning med neutroner. Härigenom skulle man i det ideala fallet eliminera risken att de långlivade ämnena skulle utgöra en radiologisk fara på lång sikt.

Neutronkällan kan antingen vara en kärnreaktor eller en accelerator driven spallationskälla. För att nå en effektivitet i transmutationen, som gör den intressant, krävs mycket höga neutronflöden. Detta gör att

man i huvudsak intresserat sig för snabba reaktorer (dvs reaktorer som drivs med snabba neutroner i motsats till termiska neutroner i t ex en LWR) eller spallationskällor.

Studier av separation och transmutation har bedrivits sedan ett tjugotal år. Under 70-talet och början av 80-talet intresserade man sig framförallt för transmutation av s k "minor actinides" – Np-237 m fl. Den allmänna slutsatsen av dessa studier var att eftersom den långsiktiga risken från dessa ämnen är liten, så är incitamentet svagt att reducera den ytterligare med transmutation.

Under de senaste åren har intresset för transmutation åter ökat beroende på att man från olika håll menat att vissa faktorer som påverkat tidigare slutsatser förändrats. Detta motiverar menar man en förnyad utvärdering av transmutation. Några sådana faktorer är

- radiotoxiciteten för aktiniderna har omvärderats enligt ICRPs nya riktlinjer,
- genom användning av ny acceleratorteknik är det möjligt att åstadkomma mycket kraftigare spallationskällor än man tidigare ansett möjligt,
- inte endast aktinider utan även långlivade klyvningsprodukter anses kunna transmuteras med den nya tekniken,
- ny teknisk utveckling av separations- (uppberednings-) tekniken och framsteg inom robottekniken ökar möjligheterna till effektiv separation.

Ett flertal länder bedriver betydande forskning inom området separation och transmutation. Japan, Frankrike och OSS (Ryssland) har presenterat nationella program. I USA är flera grupper vid de stora statliga forskningslaboratorierna engagerade i stora arbeten. Andra länder har mindre uppföljande verksamhet.

Forskning på separation av aktinider har bedrivits under ett par decennier. Både vattenbaserade processer och pyrometallurgiska processer studeras. Kunskaperna om de förra är mycket stora medan pyrometallurgin för denna tillämpning befinner sig i ett tidigt utvecklingsstadium. Problemet är att en effektiv transmutation av de långlivade ämnena kräver upprepade bestrålningar med separation däremellan. Detta ställer mycket höga krav på effektiviteten i varje separationssteg om man vill nå i närheten av det ideala resultatet att väsentligt minska den potentiella långsiktiga risken. Mycket stora ansträngningar återstår innan man har tillgång till processer i industriell skala som klarar ett sådant mål. Fransmännen som har stor erfarenhet av uppberedning och ett omfattande forskningsprogram på detta område har angivit att ett realistiskt nära mål kanske kunde vara en faktor 10 i reduktion av dessa ämnen jämfört med halten i förglasat avfall från nuvarande uppberedning. På längre sikt med ny teknik tror man kunna nå en reduktionsfaktor 100.

Forskningen på transmutation inriktas som redan nämnts huvudsakligen på två typer av neutronkällor – snabba reaktorer och spallationskällor. Av dessa är utan tvekan den snabba reaktorn betydligt längre kom-

men i utvecklingen. För transmutation är det dock ej bridegenskaperna hos denna reaktortyp som intresserar utan det höga neutronflödet. Anpassningen av reaktorn till transmutation torde dock kunna ske med måttliga utvecklingsinsatser. I Frankrike diskuteras möjligheten att inom några år omvandla bridreaktorn Super-Phenix till en plutonium- och neptunium-burner. Utvecklingen av spallationskällor befinner sig i ett mycket tidigare stadium. Bedömningar anger 15 å 20 års utvecklingsinsatser till mycket höga kostnader för att bygga en prototyp för transmutation av existerande militärt avfall i USA. Denna typ av avfall kräver en "enklare" teknik än avfall från upparbetat kraftreaktorbränsle.

De tekniska principerna för separation och transmutation kan med vissa reservationer anses etablerade. Det är emellertid svårt att med dagens scenario för kärnbränsleförsörjning se några stora säkerhetsmäs-

ga (eller kostnadsmässiga) fördelar. Tillämpning av denna teknik (om den utvecklas till användning i industriell skala) kommer inte att eliminera behovet av slutförvaring av radioaktivt avfall. Mindre restmängder kommer alltid att finnas kvar. Denna uppfattning delas av ansvariga organisationer i alla kärnkraftländer även där man gör relativt stora insatser på separation och transmutation. Det finns för närvarande inget incitament att satsa på denna teknik för hanteringen av använt kärnbränsle från lättvattenreaktorer som drivs med "engångscykel" dvs ej upparbetning av bränslet. För svensk del är det tillräckligt med en mindre uppföljande forskningsinsats med anknytning till den internationella utveckling som pågår, se avsnitt 14.1.

En mer utförlig redovisning av separation och transmutation lämnas i /5-7/.

# 6 METODER FÖR FÖRVARING AV LÅNGLIVAT RADIOAKTIVT AVFALL

## 6.1 ÖVERSIKT

Av kapitel 3 framgår att med långlivat radioaktivt avfall menas sådant avfall som bör hållas isolerat under avsevärt längre tid än några hundra år. Avfallet innehåller långlivade radioaktiva ämnen t ex transuraner som plutonium och andra ämnen med halveringstider på tusentals år och längre. Det använda kärnbränslet från kraftverken är det viktigaste av dessa långlivade avfall och innehåller också det mesta av de radioaktiva ämnen som bildas vid kärnkraftproduktionen – mer än 99%. Det använda kärnbränslet och det mest aktiva avfallet från uppberedning utgör högaktivt avfall – förutom att det är långlivat avger det så mycket strålning att den värme som utvecklas måste kylas bort eller avledas.

Olika metoder har utvecklats för förvaring av högaktivt avfall. För övervakad mellanlagring använder man antingen lagring under vatten i bassänger s k våtlagring eller lagring i luftkylda behållare s k torrlagring. Någon teknisk tidsgräns för hur länge man kan fortsätta sådan övervakad lagring har ej påvisats. Använda bränsleelement har lagrats i vatten sedan slutet av 1950-talet utan att man observerat någon förändring av bränslets integritet. Det är troligen möjligt att lagra avfallet på detta sätt i hundratals år om man sköter anläggningarna på ett bra sätt. Eftersom avsevärda mängder radioaktiva ämnen kommer att finnas kvar i tiotusentals år utvecklar man emellertid förvaringsmetoder som ej kräver övervakning eller underhåll s k slutförvaring.

Principen för slutförvaring är att den skall ordnas så att avfallet hålls isolerat på ett säkert sätt oberoende av övervakning och underhåll. Under senare år har man i Sverige även framfört önskemålet att slutförvaret skall utformas så att man kan komma åt avfallet och vidtaga åtgärder om man i en framtid finner anledning till detta. Man talar om återtagbarhet eller reparationsmöjlighet.

Slutförvaring av högaktivt eller annat långlivat avfall har ännu ej genomförts någonstans i världen. De metoder som utvecklas tar alla sikte på någon typ av djupförvaring dvs förvaring tillräckligt djupt nere i jorden för att förvaret ej skall påverkas av de förändringar som sker på jordytan under den tid som avfallet behöver hållas isolerat. Olika länder planerar för djupförvaring i olika typer av berg beroende på de speciella förutsättningarna i respektive land.

I de följande avsnitten presenteras kortfattat de olika förvaringskoncept som utvecklats i några länder.

Vidare ges en översikt av de alternativ som studerats i Sverige. Under de senaste två åren har SKB i det s k PASS-projektet studerat några för svenska förhållanden intressanta slutförvarsalternativ. Slutsatserna från detta projekt utgör grunden för den plan för framtida insatser som närmare presenteras i kapitel 7 och följande.

## 6.2 MELLANLAGRING AV ANVÄNT BRÄNSLE

Fram till mitten av 1970-talet utgjorde mellanlagring av använt bränsle i vattenbassänger det allmänt tillämpade lagringskonceptet. Torr mellanlagring introducerades redan under 1960-talet och utvecklades under 1970-talet på ett sådant sätt att torrlagring kom att framstå som ett intressant alternativ till våtlagring såväl tekniskt som ekonomiskt.

Under 1980-talet har ett antal storskaliga anläggningar uppförts för våtlagring med kapacitet varierande från 600 till 10 000 ton använt bränsle, t ex i England (Sellafield), Frankrike (La Hague) samt i Sverige (CLAB), se Figur 6-1 och 6-2.

Beträffande torrlagring finns f.n. ett antal olika koncept, metallbehållare, betongsilo, "dry wells" samt "vaults". Torrlagring har introducerats industriellt i bl a USA, Kanada, Tyskland och Schweiz.

Totalt fanns 1991 i världen kapacitet för mellanlagring av ca 40 700 ton använt bränsle. Denna siffra inkluderar ej bränslebassänger direkt i anslutning till reaktorerna. Av denna kapacitet är ca 38 200 ton våtlagring och 2 500 ton torrlagring. I Tabell 6-1 framgår hur denna kapacitet fördelar sig mellan olika länder.

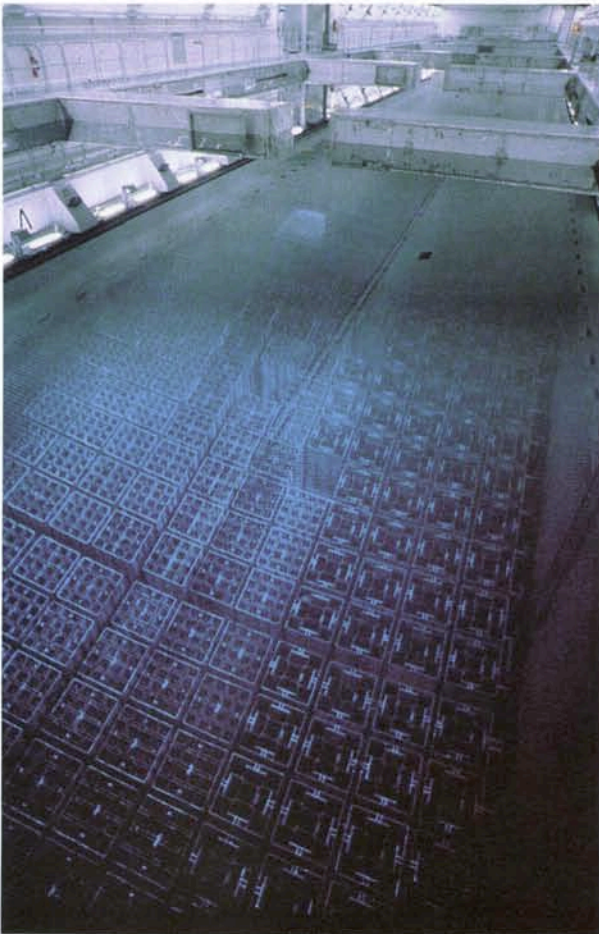
### 6.2.1 Våtlagring av zirkaloykapslat $UO_2$ -bränsle

Zirkaloykapslat urandioxidbränsle har lagrats i decennier i vattenbassänger. Baserat på detta har inom ramen för IAEAs forskningsprogram BEFAST-II följande slutsatser och erfarenheter kunnat sammanställas /6-11/:

1. Långtidslagring i vatten av zirkaloykapslat använt bränsle utan att bränslets eller kapslingens integritet äventyras är en helt acceptabel och lämplig metod även i de fall där kapslingen har genomgående skador som härrör från driften.
2. Av avgörande betydelse för att undvika degradering av bränslet är att vattenkemin i lagringsbassängerna hålls inom specificerade gränser.



Figur 6-1. Mottagningsbyggnad i centrala mellanlagret för använt bränsle, CLAB.



Figur 6-2. Bassänger för våtlagring av använt bränsle i CLAB.

Tabell 6-1. Kapaciteter för mellanlagring av använt bränsle uttryckt i ton. (Uppgifterna lämnade av IAEA.)

	I drift	Under byggnad	Planerade
Argentina	365		
Belgien			
Bulgarien	600		
Kanada	475	200	12 600
Kina			500
Tjeckoslovakien	600		1 800
Finland	1 270		
Frankrike	11 000		
Tyskland	2 150		700
Indien	523		
Japan	140		3 000
Republiken Korea			3 000
Ryssland	7 400	1 900	
Spanien			5 500
Sverige	3 000	2 000	3 000
United Kingdom	10 350		
Ukraina	1 900		
USA	900		15 000
<b>Total</b>	<b>40 673</b>	<b>4 100</b>	<b>46 100</b>



3. Det är nödvändigt att specificerad vattentemperatur innehålls för att bränslets integritet skall bibehållas, för att minimera aktivitetskoncentrationen i bassängvattnet och för att vidmakthålla bassängernas täthet.
4. För lagring under mycket långa tider (mer än 50 år) kan beständigheten för vissa bassänginlädningsmaterial såsom ostabiliserat rostfritt stål och epoxy behöva undersökas ytterligare.
5. Som komplement till förekommande inspektionsmetoder för bränsle i bassänger och hotcells håller nya avancerade undersökningsmetoder på att införas. Exempel på sådana metoder är gammascanning, neutronundersökning och ultraljudkontroll.

Våtlagring förblir huvudalternativet för alla länder som deltagit i BEFAST II även om de flesta även följer utvecklingen av olika torrlagringsmetoder.

För lagring under mycket lång tid (mer än 50 år) anser BEFAST II att ytterligare studier behövs beträffande både bränslekapsling och bassängkomponenter.

### 6.2.2 Torrlagring av zirkaloykapslat UO<sub>2</sub>-bränsle

BEFAST-II summerar och drar följande slutsatser av tillgängliga erfarenheter av torrlagring av zirkaloykapslat UO<sub>2</sub>-bränsle:

Torrlagring är licensierad i Tyskland och USA för lagring i inert atmosfär och i luft i Canada. Maximal licensierad kapslingstemperatur är i USA 380°C och i Tyskland 410°C. Olika utföranden har valts beroende på omständigheterna; hög temperatur kräver inert gas (t ex Tyskland och USA) medan låga temperaturer medger lagring i luft.

I alla tillämpade fall har ingen degradering hos det lagrade bränslet observerats. I några få fall har kryptonavgivning noterats vilket indikerar att möjligen några enstaka stavar är skadade.

Torrlagring används i allt större omfattning som komplement till våtlagring av zirkaloykapslat oxidbränsle. Det verkar vara möjligt att uppnå lika långa lagringstider som för våtlagring.

## 6.3 TÄNKBARA SLUTFÖRVARINGSMETODER

Slutförvaring innebär att avfallet skall förvaras utan krav på tillsyn eller kontroll och på ett sätt som gör det svårt eller omöjligt att komma åt, i varje fall oavsiktligt. För använt kärnbränsle ingår en period av övervakad förvaring som ett ofrånkomligt led i hantlingskedjan. Den kan utsträckas över mycket lång tid utan större säkerhetsmässiga eller tekniska problem så länge dagens tekniknivå och samhällets stabilitet bibehålls.

Följande principer för slutförvaring av använt kärnbränsle och annat långlivat avfall har förekommit i den internationella diskussionen:

- Slutförvaring i djupa geologiska formationer.
- Slutförvaring under havsbotten i djuphavssediment.
- Slutförvaring i eller under större landis (t ex Antarktis).
- Utskjutning i rymden.
- Övervakad lagring under obestämt lång tid.

Metoderna för slutförvaring är i princip oberoende av om bränslet upparbetats eller om det deponeras oarbetat. Slutförvaring under landis är knappast aktuellt för svenskt vidkommande och tilldrar sig ej heller något större intresse i andra länder. Utskjutning i rymden skulle visserligen på ett övertygande sätt göra avfallet oåtkomligt men förutsätter att säkerheten i uppskjutningen kan garanteras. Den är även av resursskäl knappast aktuell för svenskt vidkommande. Övervakad lagring skiljer sig i princip ej från mellanlagring som redovisats under avsnitt 6.2. Den kan naturligtvis också ordnas även på andra sätt än de som hittills prövats t ex som en inledning av geologisk djupförvaring. Samtliga länder som studerar slutförvaring har valt förvaring i olika djupa geologiska formationer som huvudalternativ.

Vid hanteringen av använt bränsle måste kontrollen av klyvbart material beaktas även på lång sikt. Detta innebär att hanteringen och slutförvaringen måste utformas på så sätt att ett hemligt eller dolt återtagande blir osannolikt.

Under senare år har följande principiella krav på ett slutförvar diskuterats i Sverige.

”Ett slutförvar bör utformas så att det dels gör övervakning och kontroll onödiga för en säker funktion men dels inte omöjliggör ingrepp och korrigerande åtgärder i framtiden om utvecklingen skulle visa att slutförvaret av ett eller annat skäl vore mindre lämpligt.”

SKB anser att detta principiella krav kan tillgodoses med ett djupförvar i berg utformat efter de grundprinciper som sedan länge studerats i det svenska arbetet.

## 6.4 GEOLOGISK DJUPFÖRVARING

### 6.4.1 Principer

En slutlig, oövervakad förvaring måste beakta ett antal grundläggande fenomen som ställer speciella krav på förvaringen.

**Tidsaspekten:** Det använda bränslet innehåller mer än 99% av alla radioaktiva ämnen som bildas i en kärnreaktor. De flesta av dessa är kortlivade och avklingar under mellanlagringen på kraftverket eller i ett centralt lager. Några är litet mer långlivade och avklingar på några hundra år. Efter denna tid är värmeut-

vecklingen i avfallet praktiskt taget försumbar. Ett fåtal ämnen har mycket lång livslängd – tusentals år eller mer – finns kvar i bränslet under mycket lång tid. Efter ca 100 000 år har radiotoxiciteten i använt kärnbränsle nått en nivå som är jämförbar med en rik uranmalm. Målet är därför att isolera avfallet under så lång tid.

**Förändringar på jordytan:** Sådana uppkommer naturligt och orsakas även av människan. Förändringar sker i ett i sammanhanget kort tidsperspektiv. En aktuell fråga är t ex försurning. Andra är människans användning av naturresurser t ex kraftverksdammar och gruvbrytning. Förändringar av klimatet med varmare och kallare väder samt ändrad mängd nederbörd sker såväl i korta som långa tidsperspektiv. Inom 5 000–10 000 år förväntas en klimatförändring mot en glaciationsperiod ha inträtt. En inlandsis kan dels öka det hydrostatiska trycket under jord, dels skrapa av nuvarande lösa sand- och jordlager på bergytan, och dels under sin rörelse erodera och mala ner bergytan. Istäcket innebär att den möjliga transportvägen för radionuklider via jordbruk till människa bryts. En istidsperiod sträcker sig över ca 100 000 år innan klimatet åter går över i en varmare fas.

**Berggrundens rörelser:** Markytan i stora delar av Skandinavien rör sig uppåt i mm-skala per år. När inlandsisens tryck läggs på kommer rörelsen att bli den omvända men fortfarande långsam. Dessa rörelser är vitt skilda från de kraftiga jordbävningar och vulkanisk aktivitet som förekommer på andra ställen på jorden.

De förändringar som sålunda sker eller kan förväntas ske på eller nära jordytan är så betydande att man inte där kan ordna en säker isolering av avfallet under den tid som krävs. Går man emellertid några hundra meter eller djupare ned i berget sker förändringar av betydelse i en annan tidsskala. De förändringar man utifrån kända geologiska data kan extrapolera in i framtiden samt den yttre påverkan som bedöms kunna inträffa ändrar ej berggrundens egenskaper på några hundra meters djup under mycket lång tid (miljonårs-perspektiv). Där finns sålunda på många ställen goda förutsättningar att finna en tillräckligt stabil miljö för att isolera avfallet under 100 000 år.

Såsom framgår på andra ställen i denna rapport har berggrunden naturliga egenskaper som bidrar till isoleringen av avfallet. Dessa egenskaper varierar beroende på typen av berg. I vissa formationer, t ex salt, finns inget rörligt grundvatten; dessutom överlagras saltet ofta av flera andra sedimentära formationer – man har flera naturliga barriärer och bergets isolering är mycket effektiv. I andra formationer, t ex granitiskt urberg, är berggrunden mättad med vatten och genomkorsad av sprickor där vattnet kan röra sig. I sådana fall använder man tekniska barriärer för att isolera avfallet från det rörliga grundvattnet.

Grundprincipen för geologisk slutförvaring är att avfallet skall omges av flera av varandra helt eller delvis oberoende barriärer.

Principen med flera samverkande barriärer i djupa förvar är den helt dominerande i världen idag oavsett

om deponeringen avser högaktivt avfall från uppberedning eller använt bränsle. Skillnaden mellan olika länder betingas av olikheter i det geologiska mediet samt i utformningen av de tekniska barriärerna.

## 6.4.2 Metoder i olika länder

Inget land har ännu påbörjat slutförvaring av långlivat, högaktivt kärnavfall. Olika geologiska formationer studeras för närvarande i flera olika länder:

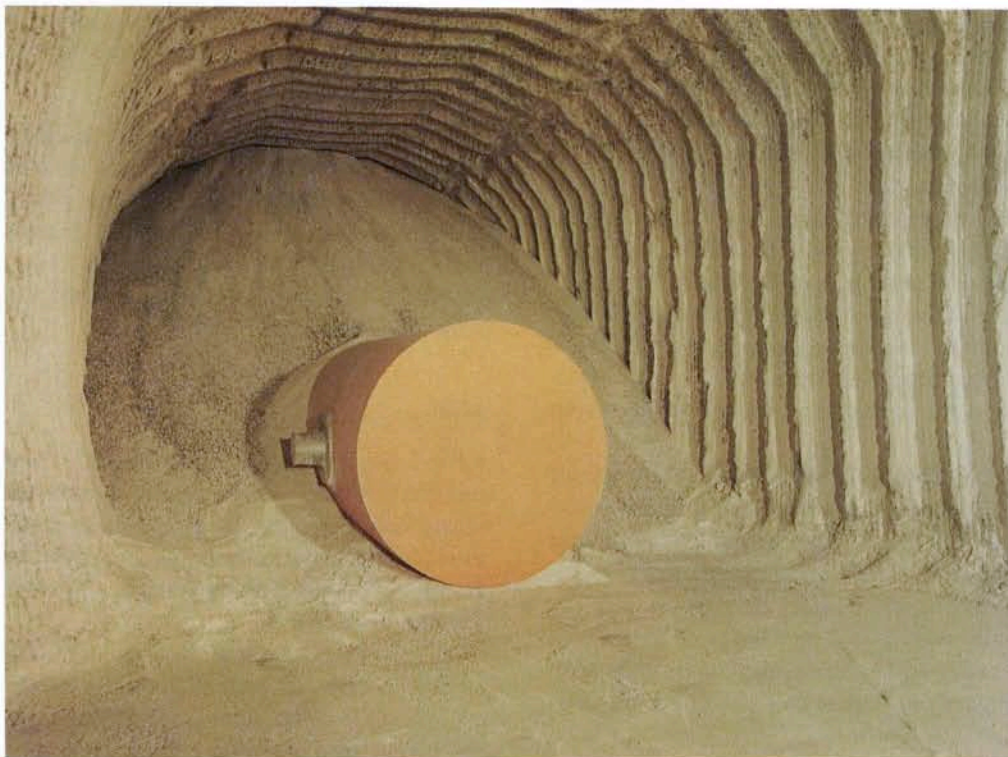
- Salt.
- Granit (kristallint berg).
- Lera.
- Tuff (sedimenterad vulkanisk aska).
- Andra sedimentära bergarter.

Gemensamt för alla dessa formationer är att de är mycket gamla – tiotals miljoner år eller mer – och att förändringar sker mycket långsamt. Flera länder har stor förekomst av salt, granit eller lera. Eftersom salt och lera är plastiska material utformas de tekniska barriärerna olika i dessa medier jämfört med granit. Därtill kommer att salt ger en helt annan kemisk miljö än grundvatten i granit, vilket motiverar olika val av kapselmaterial. Tillredningen av utrymmet för det inkapslade avfallet görs genomgående så att detta blir större, i vissa fall mycket större, än kapseln. Tomrummet fylls igen. I salt och lera planeras återfyllnad med utbrutet material från platsen. I granitiskt berg överväger man huvudsakligen svällande, hydrauliskt tät bentonitlera närmast kapseln. Endast i ett fall, vid Yucca Mountain i USA, studeras djupförvaring i bergarten tuff, ovanför grundvattennivån. Där antas återfyllningen kunna göras med krossade, uttagna bergmassor.

Mängden avfall per kolli (kapsel) varierar i olika koncept. Bestämmande är den termiska belastning som förvarsmiljön kan klara (bentonit bedöms kunna tåla ca 100°C utan att de väsentliga egenskaperna förändras) och den vikt som transportenheter m m kan hantera. Den tyska Custos-kapseln (f d Pollux-kapseln) är den tyngsta som föreslagits; den väger ca 65 ton inklusive det ingående strålskyddet, som är tänkt att deponeras tillsammans med kapseln. /6-1/

Det tyska konceptet för slutförvaring av högaktivt avfall har som huvudlinje deponering i saltformationer. I Gorleben utförs för närvarande schaktsänkning i en saltdom. Schaktsänkningen ingår i ett detaljundersökningsprogram för att avgöra om platsen är lämpad för ett slutförvar, se Figur 6-3. Eftersom både uppberedning med efterföljande inglasning av det flytande högaktiva avfallet samt direktdeponering av använt bränsle ingår som beståndsdelar i det tyska kärnavfallsprogrammet, studeras båda dessa typer av avfallsdeponering.

Lerlager som media för ett slutförvar för högaktivt avfall är huvudalternativ i det belgiska programmet. I den sk Boom-formationen vid Mol utförs undersökningar i ett underjordiskt laboratorium. Olika delar av



*Figur 6-3. Demonstration av horisontell inplacering av en tysk Custos-kapsel i en saltformation.*

ett tänkt slutförvar studeras. Eftersom man i Belgien avser att upparbeta det använda bränslet är förglasat högaktivt avfall den avfallsform som kommer att deponeras. /6-2/

I Yucca Mountain i USA inriktar man sig på att förlägga ett slutförvar i den vulkaniska bergarten tuff. Som ovan nämnts avser man att lägga avfallet i icke vattenmättat (torrt) berg. Programmet är inriktat mot i huvudsak direktdeponering av använt bränsle. /6-3/

Kristallint vattenmättat berg som medium för slutförvar är huvudalternativ i ett flertal länder t ex Schweiz, Kanada, Finland och Sverige. Förvarens utformning och materialval varierar mellan de olika länderna men systemen består alltid av flera samverkande barriärer. Även Frankrike och Ryssland har slutförvaring i kristallint berg som ett av de mest intressanta deponeringsalternativen.

### 6.4.3 Förvaring under havsbotten

OECD/NEA har sedan 1976 arbetat med frågan om möjligheten att förvara radioaktivt avfall under havsbotten inom en arbetsgrupp kallad "Seabed Working Group", med deltagare från 11 länder. Gruppen förser medlemsländernas myndigheter och berörda organisationer med vetenskaplig och teknisk information för att möjliggöra en bedömning i respektive land av förvaringsalternativets långsiktiga säkerhet och tekniska genomförbarhet.

Konceptet med förvaring under havsbotten innebär ett flerbarriärsystem med en lämplig avfallsform (glas och/eller korrosionsresistenta kapslar). Sedimentformationer på stort djup i oceanerna förordas så att radionuklider kvarhålls efter det att avfallsbehållarna fallit sönder pga t ex korrosion. Platsvalet skulle också ske med hänsyn till sedimentlagrens kemiska egenskaper, risken för erosionskador på sedimenten, seismisk och vulkanisk aktivitet, mineraltillgångar m m. /6-4/

Praktiskt kan deponering av avfallet ske i s k "penetrators" dvs avfallsbehållare i form av "projektiler" som släpps från havsytan och av egen kraft tränger djupt in i bottensedimenten. "Projektilerna" behöver ha en vikt på några ton. Om deponeringsavståndet mellan varje behållare väljs till ca 200 m skulle en area på ca 500 km<sup>2</sup> behövas för att täcka världsbehovet av avfallshantering för en tioårsperiod vid kärnkraftproduktion på nuvarande nivå.

Deponering av avfall under havsbotten kan också ske genom djuphavsborrning med existerande teknologi. Med denna metod skulle avfallet kunna slutförvaras i 800 m djupa borrhål (under havsbotten) i vilka avfallsbehållare staplas upp till 300 m från botten varefter borrhålet förseglas.

SKBs arbete är inriktat på landbaserad lagring i kristallin berggrund. Vissa begränsade insatser har dock genomförts med inriktning på deponering under Östersjöns botten, fortfarande dock i urberg. Ett sådant lagringsalternativ uppvisar såväl fördelar som nackdelar jämfört med förvarsalternativet till lands. /6-5/

En viktig fördel med ett förvar i berget under havet är att grundvattnet endast påverkas av mycket små gradienter varför vattenomsättningen genom förvaret blir mycket låg. Om förvaret dessutom omges av grundvatten med ökande salthalt mot djupet blir omsättningen än mindre.

Utmed våra kuster och då främst i de sydöstra delarna, påträffas sedimentära bergarter som överlagrar urberget. Om förvaret förläggs under sådana sandstenssediment med, relativt urberget, högre hydraulisk konduktivitet erhålls en ytterligare positiv barriäreffekt genom att den högpermeabla sandstenen utgör en "hydraulisk skärm" som motverkar vertikal grundvatten-transport.

Andra fördelar med förvar i berget under havet är att markägarkonflikter torde minska, liksom intressekonflikter om eventuellt grundvatten. Brunnsscenarioer kan möjligen uteslutas vid säkerhetsanalyser.

Bland nackdelarna kan nämnas att all geologisk karakterisering blir svårare och mer kostsam att genomföra för berg under havet. Kostnader för förundersökningar, detaljundersökningar och anläggning blir troligtvis högre.

## 6.4.4 System studerade i Sverige

### Allmänt

Vid utformningen av det svenska systemet för djupförvaring beaktas de allmänna riktlinjer, som anges i kapitel 2.

Planeringen hittills bygger på förutsättningen att det använda kärnbränslet, efter ca 40 års mellanlagring i CLAB, kapslas in och deponeras i ett djupförvar i svensk berggrund. Mellanlagringstiden 40 år är vald så att slutförvaringen förenklas och bördan på framtida generationer begränsas.

Den grundläggande förutsättningen för hanteringen och förvaringen är att de uppfyller samhällets krav på säkerhet, syftande till att skydda människor och natur mot skadlig påverkan nu och i framtiden. Slutförvaringen skall ge en säker isolering under tillräckligt lång tid. Denna isolering skall ej vara beroende av kontroll eller förbättrande åtgärder; djupförvaret skall kunna förslutas och överges.

Slutförvaringen skall emellertid ej i onödan omöjliggöra för en framtida generation att komma åt avfallet för att modifiera slutförvaret eller för att behandla avfallet på annat sätt. Denna handlingsfrihet får emellertid ej äventyra säkerheten på lång sikt för den utformning som väljs.

I det långsiktiga perspektivet baseras säkerheten på den isolerande funktion djupförvaret har. De tekniska lösningar som studerats utgår från följande grundläggande principer:

- Slutförvaring i svensk kristallin berggrund.
- Flerbarriärprincipen med av varandra oberoende naturliga och tekniska barriärer.

- Naturliga material i de tekniska barriärerna.
- Begränsad temperatur, stråldos och annan påverkan på berget.

År 1983 presenterade SKB den s k KBS-3-rapporten, som redovisade ett system för att slutligt förvara det använda kärnbränslet i svensk berggrund. Efter omfattande svensk och utländsk remissgranskning fann regeringen 1984 att "metoden i sin helhet i allt väsentligt befunnits kunna godtas med hänsyn till säkerhet och strålskydd".

### KBS-3

KBS-3 utgör referensutformningen i de årliga kostnadsberäkningar som görs över all verksamhet för hantering och förvaring av kärnkraftens avfall samt rivning av de kärntekniska anläggningarna. Systemets utformning i senaste redovisningen /6-6/ framgår av Figurerna 6-4 och 6-5.

Djupförvaret består av ett antal parallella tunnlar på ca 500 m nivå. De sammanbinds av en central ort för transporter och kommunikation. Deponeringstunnlarnas layout anpassas efter bergets förutsättningar. Uppdelning kan göras i olika block för att undvika större diskontinuiteter i berggrunden.

Från botten i tunnlarorna borras vertikala hål med plats för en kapsel. I borrhålen placeras kopparkapslar innehållande det använda bränslet och omges av ett lager av kompakterad bentonitlera. Efter deponeringen återfylls tunneln med en blandning av sand och bentonit.

### Alternativa utformningar

Sedan 1984 har några principiellt olika utformningar studerats. De är "WP-Cave", "Djupa borrhål", "Långa borrhål" och "Medellånga borrhål", se Figur 6-6.

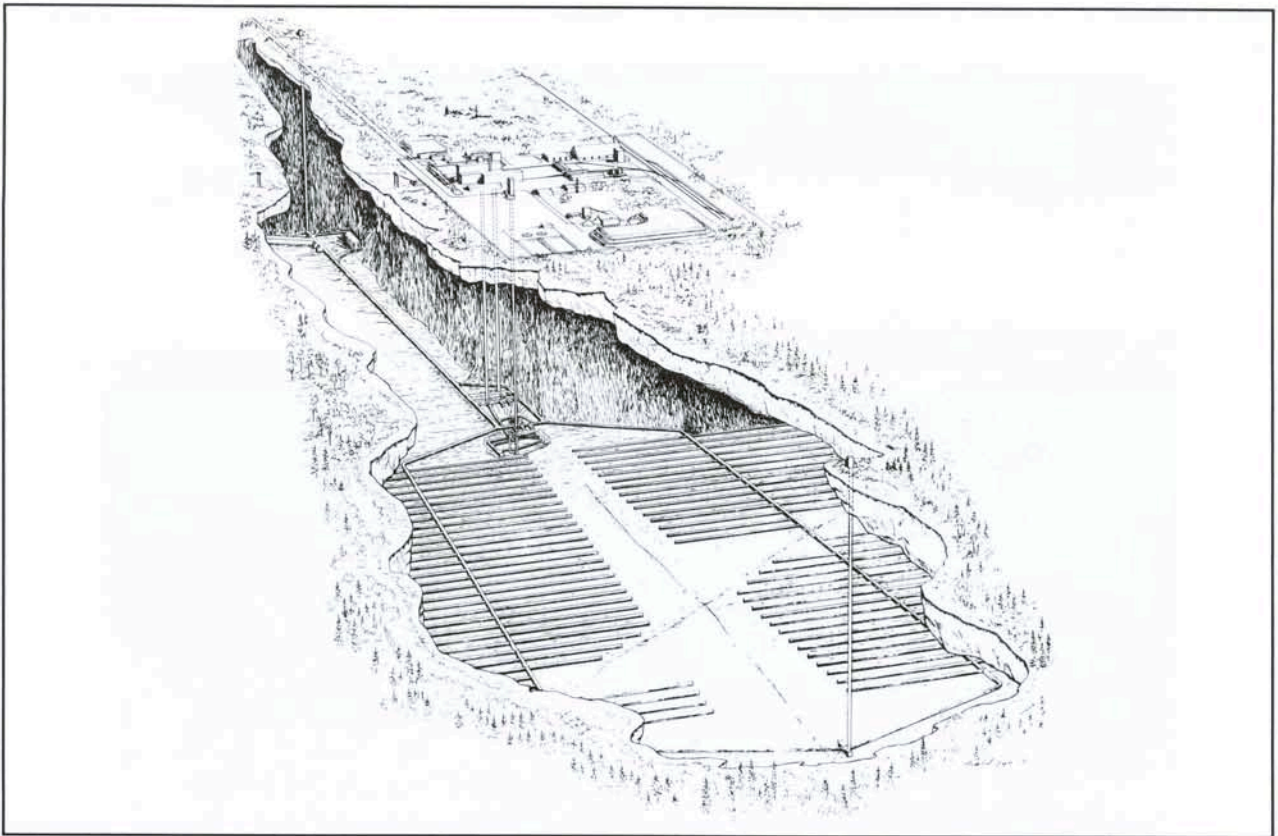
Arbetet med "WP-Cave" och "Djupa borrhål" redovisades i FoU-program 89. "WP-Cave" har ej studerats vidare medan Djupa borrhål ingått i den jämförelse av olika alternativa utformningar som bedrivits i PASS. En kort beskrivning av de fyra alternativa utformningarna ges nedan.

#### WP-Cave

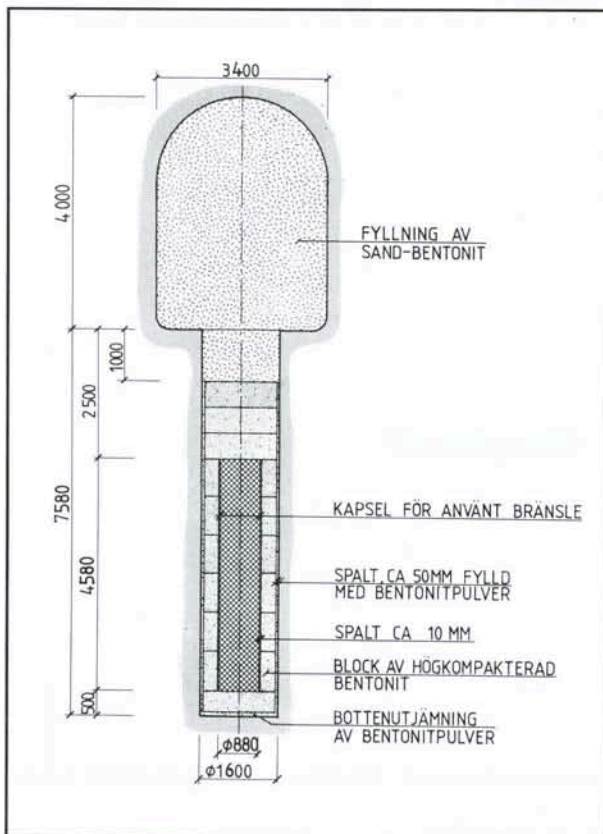
Den utformning av WP-Cave som främst studerats /6-7/ framgår av Figur 6-7. Kapslarna med det använda bränslet placeras i centrum av anläggningen som omges av en barriär av berg. Runt denna bryts en slits ut, som återfylls med en blandning av bentonit och sand. Utanför bentonit/sandbarriären tillreds en s k "hydraulisk bur", som består av horisontella orter sammanbundna med borrarade hål.

Det analyserade systemet innebär bl a:

- Kapslar av stål.
- Fem meter mäktig bentonit/sandbarriär med 10% bentonit i bottendelen, 20% i cylindriska delen och 50% i översta delen.



Figur 6-4. KBS-3-utformning av ett djupförvar.



Figur 6-5. KBS-3-utformning av kapselpositioner.

- Hydraulisk bur som först dränerar berget under bygg-och deponeringsskedet.
- Storlek enligt Figur 6-7.
- 100 års öppen kylning före förslutning.

Ungefär sju stycken WP-Cave av denna storlek skulle krävas för att rymma det svenska avfallet.

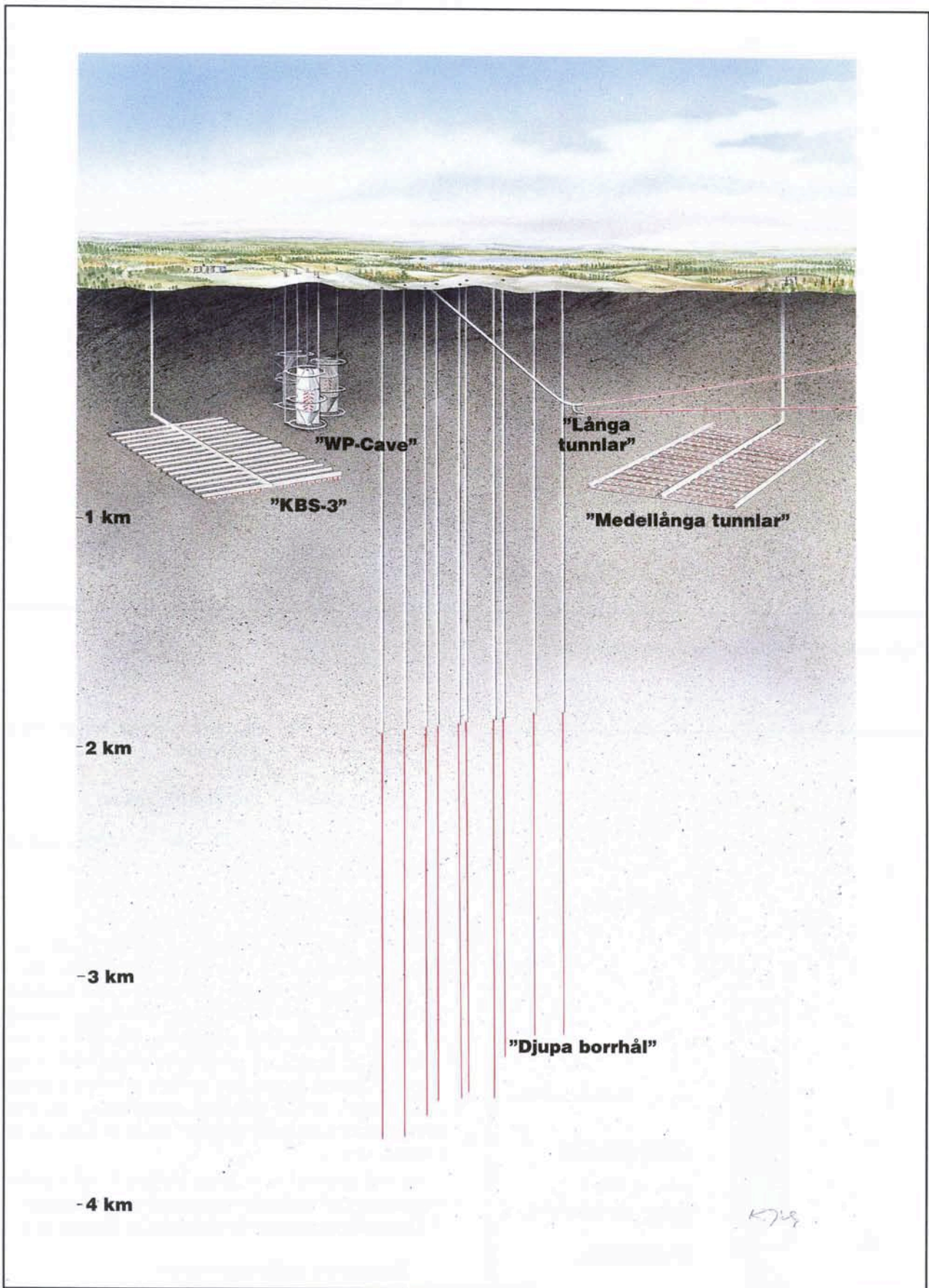
#### Djupa borrhål – VDH

Principen framgår av Figur 6-8. Kapslarna med det använda bränslet placeras staplade på varandra i borrhål mellan 4 och 2 km djup. Kapslarnas yttre diameter bestäms av den största håldiameter som anses möjlig att borra till dessa djup. Kapslarna placeras i en infodring, som behövs för att stabilisera borrhålets bergvägg och hindra denna från att rasa in. Runt kapseln och i spalten mellan bergvägg och infodring används bentonitlera. Kapslarna separeras också åt av bentonitpluggar. /6-8/

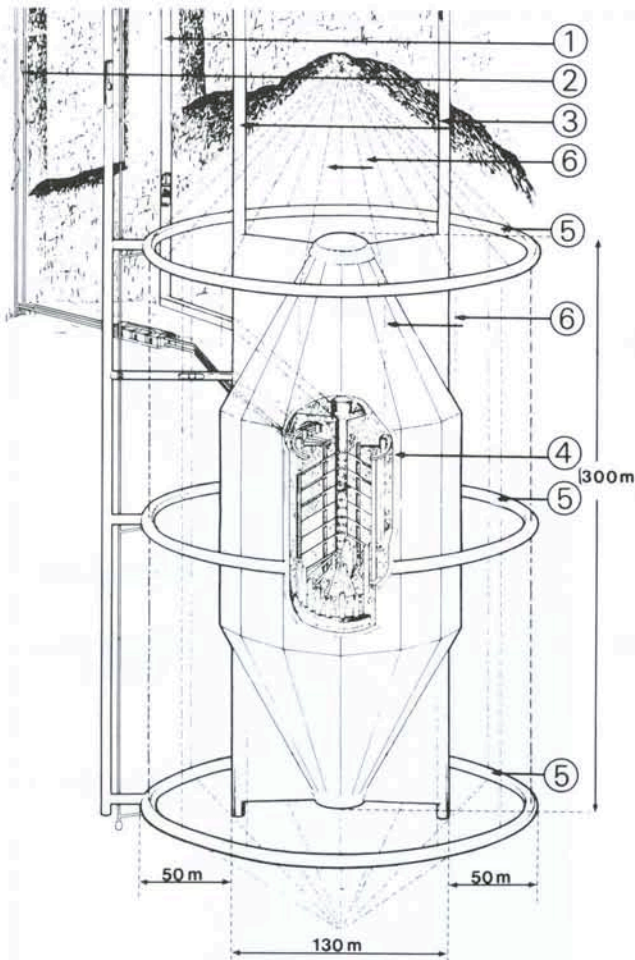
De två översta km av hålet pluggas så att vertikal vattentransport mellan förvaret och dagen förhindras.

Den utformning som SKB analyserat innebär bl a:

- Titankapslar fyllda med cement.
- Tätpackade eller icke tätpackade bränsleelement i kapslarna.
- Icke korroderande material i infodringen.
- Borrings-och infodringsteknik i enlighet med erfarenheterna från djupborrningen i Gravberg.



Figur 6-6. Alternativa utformningar av djupförvar.



1. Schakt för avfallskapslar
2. Ventilationsschakt
3. Schakt för uttag och återfyllning av bentonit/sandbarriären
4. Bentonit/sandbarriär med en mäktighet på ca 5 m
5. Ort i den hydrauliska buren
6. Borrhål i den hydrauliska buren

Figur 6-7. Utformning av WP-Cave.

Ett 30-tal borrhål med denna utformning behövs för att rymma allt använt kärnbränsle från det svenska programmet.

#### Långa tunnlar – VLH

Benämningen kommer sig av att systemet utvecklades med syftet att deponeringsområdet skulle kunna ligga långt borta från industriområdet på markytan. Layouten fick härigenom det utseende som framgår av Figur 6-9, se /6-9/.

Systemet bygger på att relativt stora kapslar placeras horisontellt i rad i borrhålor. Kapslarna omges av kompakterade bentonitblock. De valda dimensionerna bygger på en ekonomisk optimering av mängden bränsle per kapsel för att möta det krav på högsta temperatur i bentoniten som gäller.

Det system som SKB analyserat förutsätter bl a:

- Kopparklädda stålkapslar, vars inre tomvolym fylls med lämpligt material.
- Undersökningsort ca 100 m under förvarsnivån för undersökning av berget längs förvarets utbredning.
- Fullortsborrade (TBM) tunnlar, ca 4,5 km långa.

Det har emellertid också konstaterats att det inte finns några tekniska hinder mot att göra deponeringsorterna kortare och placera dem parallellt i den typ av bergblock såsom förutsätts i KBS-3.

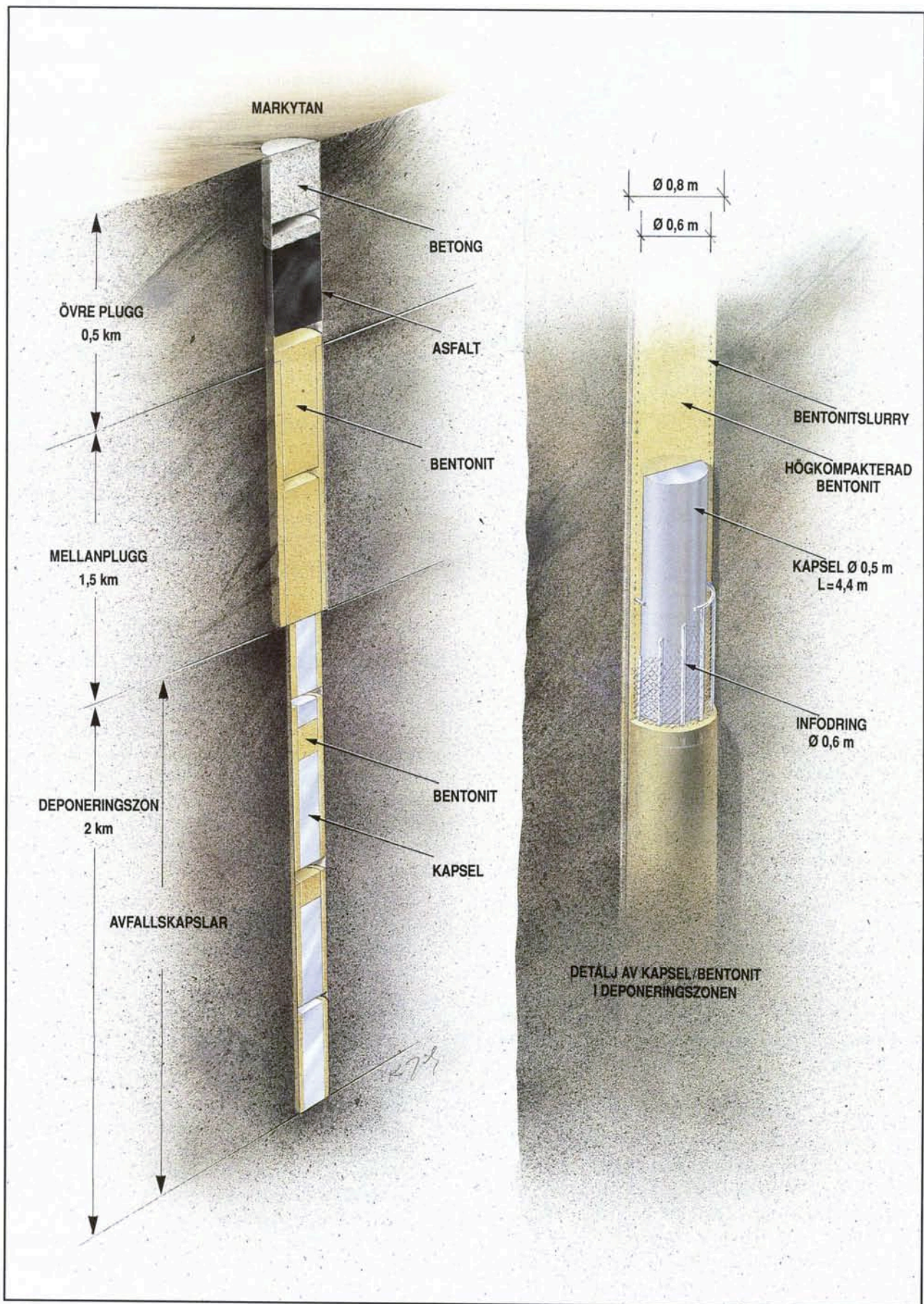
#### Medellånga tunnlar – MLH

Systemet avser en utformning med horisontellt deponerade kapslar av KBS-3-storlek i rad i borrhålor, se principskissen i Figur 1-5, se kapitel 1. Kapslarna omges av kompakterade bentonitblock. Layouten över deponeringsorterna ansluter sig till KBS-3. Samma förutsättningar gäller som för KBS-3 ifråga om utnyttjning av bergblock som begränsas av större diskontinuiteter. De i jämförelse med KBS-3 tillkommande sidorterna erfordras för att ge tillträde och möjlighet att hantera deponeringsutrustning.

#### Jämförelse av WP-Cave med KBS-3

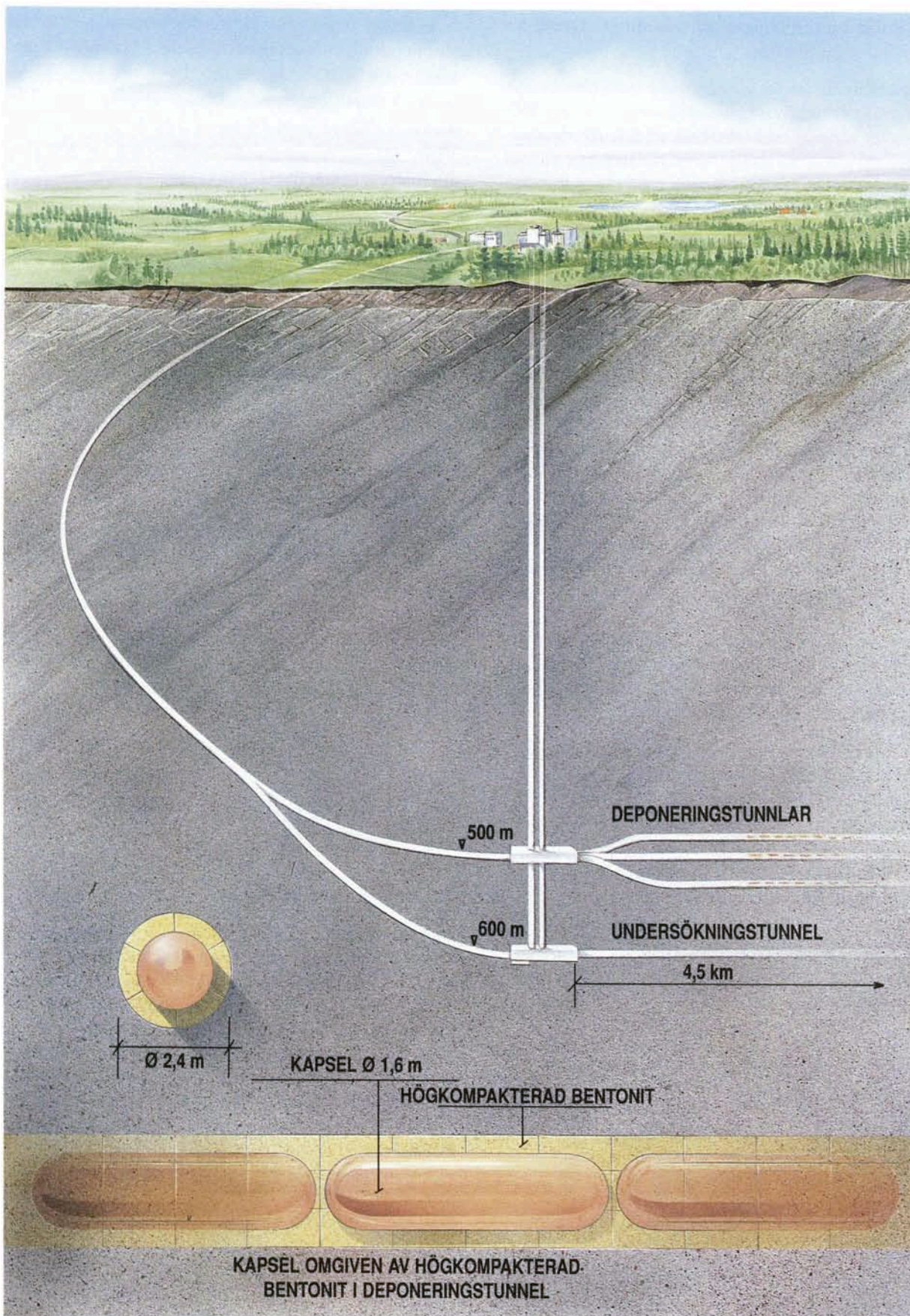
Den jämförelse mellan WP-Cave och KBS-3, som SKB genomförde 1988–89, finns rapporterad i detalj i /6-7/. Man noterade att de två systemen representerar två olika principer i fråga om koncentrationen av det använda bränslet i djupförvaret. WP-Cave utgör det koncentrerade systemet medan KBS-3 bygger på en utspridd placering. Denna skillnad visade sig innebära övervägande fördelar för KBS-3-systemets del. Jämförelsen resulterade i följande, sammanfattande bedömningar:

- Båda systemen kan ge acceptabel säkerhet.
- Ett utnyttjande av WP-Caves potential kräver en omfattande insats för modellutveckling på områden där förståelsen och dataunderlaget var och fortfarande är ofullständigt. Detta gäller speciellt långtidsstabiliteten i grundvattnets strömningsvägar i de temperaturfält som finns innanför och utanför bentonitbarriären.
- De högre temperaturerna i WP-Cave medför, via osäkerheten i data och dominerande processer, en större osäkerhet i de beräknade konsekvenserna. För att reducera dessa osäkerheter erfordras en mångårig, internationell, samordnad insats. Situationen härvidlag är i dag oförändrad från 1989, då jämförelsen genomfördes.
- Båda systemen, inklusive de ingående barriärerna, kan byggas med en normal anpassning av tillgänglig teknik.
- På icke platsspecifika grunder kunde det inte 1989 och ej heller idag sägas om det är lättare att finna lämpliga förlägningsplatser för den ena eller den andra utformningen.



Figur 6-8. Alternativ utformning "Djupa borrhål", VDH.





Figur 6-9. Alternativ utformning "Långa tunnlar", VLH.

- WP-Cave-utformningen är väsentligt dyrare än KBS-3-utformningen.

Slutsatsen var att en koncentrerad inlagring av använt bränsle enligt WP-Cave-systemet innebär större osäkerheter rörande möjligheterna att åstadkomma acceptabel säkerhet, samtidigt som kostnaderna väntas bli högre. WP-Cave-utformningen studerades därefter ej vidare.

Förhållandena idag har ej förändrats jämfört med dem som 1989 låg till grund för ovanstående bedömning.

### Jämförelse av övriga alternativ med KBS-3

Sedan 1989 har vidareutvecklingen av systemen VDH, VLH och MLH bedrivits (tillredningsmetoder samt utrustning och teknik för deponering) parallellt med att skillnader mellan de olika systemen analyserats som underlag för en rangordning. Dessutom har för varje förvarssystem alternativa kapselutformningar övervägts, framför allt för kapslar av KBS-3-typ. Också beträffande kapselalternativen har rangordning gjorts. Arbetet har bedrivits inom ramen för ett samordnat projekt "PASS" (Projekt AlternativStudier för Slutförvar) /6-10/.

I syfte att på ett systematiskt sätt kunna beskriva de skillnader mellan systemen som identifierats och den betydelse varje egenskap tillmäts i den totala jämförelsen delades projektarbetet upp på:

- Teknik för bergarbeten och deponering (Teknik).
- Långsiktig funktion och säkerhet (Långsiktig säkerhet).
- Kostnader.

De olika kapselalternativ som utvärderats inom PASS-projektet framgår av Tabell 6-2.

**Tabell 6-2. Kapselalternativ i PASS.**

FÖRVARSSYSTEM	KAPSELVARIANTER
KBS-3	Koppar fylld med bly Koppar/stål – kompositkapsel Koppar – het isostatpressad Stål fylld med bly Stål
VDH	Titan – självbärande Titan – cementfylld Koppar – het isostatpressad
VLH	Koppar Koppar/stål – kompositkapsel Stål
MLH	Samma som KBS-3

Alternativen jämfördes och rangordnades separat för varje område. Därefter vägdes de tre rangordningarna samman till ett utslag. Principen användes både i fråga om kapselalternativ och förvarssystem.

I första omgången jämfördes kapselalternativen. Resultatet blev att kompositkapseln erhöll högsta rankingen för KBS-3, MLH och VLH. På basis härav valdes kompositkapseln som enda alternativ i jämförelsen för förvarssystem på ca 500 m djup (KBS-3, VLH, MLH). VDH kombinerades med ett billigare alternativ – cementfylld titankapsel.

Jämförelsen av djupförvarssystem genomfördes sedan med fyra alternativ, se Tabell 6-3. Under analysens gång beaktades naturligtvis om kapselvalet i sig innebar låsningar som medförde skillnader som ej skulle finnas vid annat kapselval. I inget fall fanns det skäl att ompröva det ursprungliga kapselvalet i jämförelsen av förvarssystemen.

**Tabell 6-3. Jämförda förvarssystem i PASS med antaget kapselalternativ.**

SYSTEM	KAPSELALTERNATIV
KBS-3	Kompositkapsel, Cu/Fe, ytterdiameter = 0,88 m
Mycket djupa hål, VDH	Titan/cementkapsel, ytterdiameter = 0,5 m
Mycket långa tunnlar, VLH	Kompositkapsel, Cu/Fe, ytterdiameter = 1,6 m
Medellånga tunnlar, MLH	Kompositkapsel, Cu/Fe, ytterdiameter = 0,88 m

## 6.5 SLUTSATSER FÖR FRAMTIDA ARBETE

### 6.5.1 Kapselalternativ

Analysen i PASS, /6-10/, resulterade i att kompositkapseln bedömdes som bäst, före det blyfyllda kapselalternativet. De främsta orsakerna är att den ansågs fördelaktigare avseende mekanisk integritet och att en kall inkapsling innebär en enklare processteknik.

En "kall" inkapsling i en ren stål-kapsel har fördelar ur såväl produktionssynpunkt (stål är ett väl beprövat konstruktionsmaterial), som ur kostnadssynpunkt. En avgörande nackdel är emellertid att stål-kapselns korrosionslivslängd är kort.

För mycket djupa hål har kapselalternativen ej jämförts i detalj då det under projektarbetets gång stod klart att VDH skulle komma lägst i rangordning bland de studerade förvarssystemen.

### 6.5.2 Djupförvarssystem

Systemjämförelsen för de valda kapselalternativen, se Tabell 6-2, resulterade vid en sammanvägning av de tre områdena "Teknik", "Långsiktig säkerhet" och "Kostnad" i tre olika grupper:

1. KBS-3 och MLH.
2. VLH.
3. VDH.

VDH placerades sist inom alla tre områdena och följaktligen sist i den slutliga rangordningen.

Jämförelsen avseende "Långsiktig säkerhet" visade inga signifikant betydelsefulla skillnader mellan VLH, KBS-3 och MLH. Alla tre systemen bedömdes likvärdiga. Inom området "Teknik" hamnade VLH på 3:e plats. Därtill kom en hög kostnad per ton bränsle för den stora VLH-kapseln. Potentiellt finns å andra sidan utrymme för relativt sett låg anläggningskostnad för ett VLH-djupförvar. I sammanvägningen av de tre områdena VLH placerades efter KBS-3 och MLH.

Ordningen mellan KBS-3 och MLH blir en värdering av "Teknik" mot "Kostnader". Tekniken för KBS-3 bedöms som robustare särskilt vad gäller själva deponeringsförfarandet. I baskalkylen finns en signifikant kostnadsskillnad till fördel för MLH. Optimeringspotentialerna för de båda systemen är ungefär lika stora. Osäkerheten i tekniken för deponering bedöms emellertid i dag så stor att man inte kan välja MLH som huvudalternativ. Det är ej heller uppenbart att eller hur man kan på kort sikt undanröja denna osäkerhet. Slutsatsen är att KBS-3-utformning placeras knappt före MLH.

En utförlig redovisning av utvärderingen av studerade alternativ finns i /6-11/.

### 6.5.3 Slutsatser

Resultatet av PASS är:

- Kapslar med plats för 12 BWR-element, eller ekvivalent termisk belastning, (KBS-3 och MLH) förordas före kapslar med dubbla kapaciteten (VLH).
- Kopparklädd stålkapsel (kompositkapsel) förordas.
- KBS-3-utformning förordas.

Till följd härav baseras det fortsatta FUD-arbetet på:

1. Bibehållet referenssystem enligt KBS-3-utformningen.
2. Ändrad referensutformning av kapsel till kompositutformningen.

Slutsatsen av detta är att KBS-3 bibehålles som referensalternativ vad gäller utformningen, men att den kopparklädda stålkapseln – kompositkapseln – väljs som referenskapsel. Vid anpassning till de lokala förhållandena på vald plats kan utformningen av förvaret ytterligare optimeras varvid tekniskt närliggande varianter kan ytterligare övervägas. I fråga om långsiktig funktion och säkerhet representerar KBS-3, liksom VLH och MLH, system med goda marginaler.

VDH studeras ej vidare som ett sammanhållet system. Däremot bör vissa geovetenskapliga frågor,

som initierats rörande förhållandena på stora djup, studeras vidare. I ett längre tidsperspektiv kan detta ge underlag för en förnyad prövning av detta koncept som en radikalt avvikande djupförvarsmetod.

Vid djupförvaring i granitiskt urberg är kapseln en för den långsiktiga säkerheten vital teknisk barriär. Visst fortsatt arbete på ett reservalternativ är därför befogat. Den tidigare referenskapseln – blyfylld kopparkapsel – studeras därför vidare för klargörande av de processtekniska förutsättningarna vid blygjutning och kapselförslutning. Övriga kapselalternativ (HIP, stål och stål/bly) studeras ej i det fortsatta arbetet.

## 6.6 HANTERING OCH FÖRVARING AV ANNAT LÅNGLIVAT AVFALL ÄN ANVÄNT BRÄNSLE

I anslutning till djupförvaret för använt bränsle planeras även deponering av övrigt långlivat radioaktivt avfall från det svenska kärnkraftsprogrammet och från forskning och utveckling. De viktigaste typerna av långlivat avfall är

- avfall från forskningsverksamheten i Studsvik,
- avfall från inkapslingsstationen för bränsle,
- hårdkomponenter och vissa sk interna delar från reaktorerna.

Vid forskningsverksamheten i Studsvik har avsevärda mängder avfall erhållits. En del av detta avfall innehåller så mycket långlivade ämnen, främst plutonium, att det inte får deponeras i SFR. Det härrör framför allt från undersökningar av bränsle och från äldre forskningsverksamhet kring plutoniumbränsle och plutoniums egenskaper. I avfallet kan även bränslefragment ingå. Avfallet behandlas i Studsvik. Vätskor solidifieras med cement, medan fast avfall förpackas i fat som placeras i betongkokiller för senare slutförvaring. I samband med behandlingen sker en så noggrann karakterisering som möjligt. I Studsvik finns även kollin med äldre långlivat avfall.

Avfall från inkapslingsstationen kommer normalt att vara likvärdigt med avfallet från CLAB, och därmed endast innehålla små mängder långlivat material. Vid missöden, som innebär att bränsle går sönder kan dock även annat långlivat avfall erhållas. En del av detta avfall kommer att tillföras bränslekapslarna, medan annat behandlas och innesluts i lämplig slutförvarsbehållare.

Hårdkomponenter och interna delar innehåller långlivad aktivitet av en annan typ. De har blivit bestrålade med ett högt neutronflöde i reaktorhärden under drift, varvid bildats inducerad aktivitet. Huvudsakligen utgörs denna av relativt kortlivade ämnen som  $^{60}\text{Co}$ , men även vissa långlivade nickel- och niob-isotoper uppkommer.  $^{60}\text{Co}$ -halten är så hög att främst hårdkompo-

nenterna behöver kraftig strålskärning under lång tid (mer än 50 år). Dessa komponenter transporteras därför till CLAB för mellanlagring. Vid transporten används liknande transportbehållare som för bränsletransporter.

Till hårdkomponenterna räknas även bränsleboxar för BWR-bränsle. Dessa kan antingen hanteras som delar av bränsleelementen och deponeras med bränslet i kapslarna eller hanteras separat tillsammans med de andra hårdkomponenterna.

Slutförvaringen av det långlivade avfallet (och visst annat driftavfall som uppstår efter att SFR har stängts) planeras ske i nära anslutning till djupförvaret för använt bränsle. I PLAN 92 /6-6/ visas de samlokaliserade, varvid samma transportvägar och samma centralområde under jord används. För att undvika störningar på djupförvaret för använt bränsle från de andra typerna av avfall kommer dessa att placeras ca 1 km ifrån varandra. Orten mellan de olika förvarsdelarna kom-

mer att förslutas på samma sätt som tillfartsorterna i bränsleförvaret.

Den del av förvaret där Studsviksavfall och avfall från inkapslingsstationen skall placeras består av en bergsal, där avfallet staplas i betongceller och kringgjuts med betong. Utrymmet mellan betongcellerna och berget fylls med sand-bentonitblandning. All hantering sker fjärrstyrt med travers. Principen för barriärerna i denna förvarsdel överensstämmer med dem som tillämpats i siloförvaret i SFR.

Den del av förvaret där betongkokiller med hårdkomponenter mm skall deponeras, består av två 350 m långa bergsalar. Betongkokillerna transporteras in med en fjärrstyrd travers och kokillerna staplas på varandra. Efter instapling kringgjuts de med betong.

Efter avslutad deponering i förvaret för övrigt långlivat avfall försluts orterna med sand-bentonit.

Planerad forskning och utveckling kring övrigt långlivat avfall redovisas i avsnitt 14.2 och i /6-12/.

# 7 PLAN FÖR ETAPPVIS UTBYGGNAD

## 7.1 HUVUDFUNKTIONER I SYSTEMET

Följande enheter finns eller kommer att behövas för att ta hand om det använda kärnbränslet och övrigt långlivat avfall:

- Centralt mellanlager för Använt Bränsle (CLAB), för mellanlagring i ca 40 år;
- Inkapslingsstation för använt bränsle. Avsedd för inkapsling av bränsle, hårdkomponenter och interna delar; samt utrustat med ett buffertlager för inkapslat bränsle. Lagret behöver utvidgas om deponering fördröjs eller avbryts.
- Förvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall. Förvaret är också avsett för driftavfall från CLAB och inkapslingen efter det att SFR stängts;
- Djupförvar för hårdkomponenter;
- Transportsystem mellan CLAB och inkapslingsstationen samt mellan denna och djupförvaret.

Dessutom placeras rivningsavfallet från CLAB och inkapslingsstationen samt transportbehållare i en separat del av djupförvaret.

Av dessa anläggningar är CLAB och sjötransporter jämte terminaltransporter i drift idag. CLAB är lokaliserat till Oskarshamns kraftstation. För inkapslingsstationen, djupförvaret och eventuellt mellanlager för inkapslat bränsle saknas idag beslut om förläggningsort.

## 7.2 DEMONSTRATIONS-DEPONERING

SKBs tidigare arbets- och tidplan för lokalisering och byggande av ett djupförvar för använt bränsle och annat långlivat avfall innebar att efter förundersökningar på tre platser och detaljundersökningar på två under 1990-talet så skulle man några år in på 2000-talet besluta om att bygga ett förvar på en av platserna. I remissbehandlingen av FoU-program 89 diskuterades ett förslag från SKN om att man först borde bygga "...ett förvar i demonstrationsskala, exempelvis 5-10% av fullskalförvaret" /7-1/. I sitt beslut om FoU-89 framhöll regeringen "...att en av utgångspunkterna för den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten bör vara att ett slutförvar för kärnavfall och använt kärnbränsle skall kunna tas i drift stegvis med kontrollstationer och möjligheter till justerande åtgärder. SKB bör i nästa FoU-program enligt kärntekniklagen utreda möjligheterna att låta ett slutförvar i demonstrationsskala ingå som ett led i arbetet med att utforma ett slutförvar" /7-2/.

SKB har inför sammanställningen av föreliggande FUD-program övervägt dessa frågor om etappvis utbyggnad av förvaret. Slutsatsen är att en demonstrationsdeponering har betydande fördelar. Föreliggande program innebär därför att forsknings-, utvecklings- och demonstrationsarbetet nu fullföljs genom att som ett första steg bygga ett djupförvar för demonstrationsdeponering av använt kärnbränsle. När denna har genomförts skall erfarenheterna utvärderas innan man beslutar om man skall bygga ut till fullskaligt förvar. Planen medger även att man kan överväga om det deponerade bränslet skall återtas för en alternativ hantering. Det senare betyder att det måste vara möjligt att återta allt deponerat bränsle under den tid anläggningen drivs för demonstration. Samtidigt skall platsen för förvaret väljas så att allt bränsle kan rymmas. Lokaliseringsprocessen påverkas endast i begränsad omfattning av om man planerar för ett djupförvar för demonstrationsdeponering eller ett komplett djupförvar. Kraven på underlag och tillstånd enligt olika lagar i olika skeden blir i allt väsentligt desamma.

Det viktigaste skälet till att bygga ett förvar för demonstrationsdeponering är att man då kan demonstrera bland annat följande, utan att man behöver ta vad som ibland beskrivs och upplevs som definitiva beslut

- lokaliseringsprocessen med alla dess tekniska, administrativa och politiska beslut,
- processen och metoderna för stegvis undersökning och karakterisering av djupförvarsplatsen,
- systemutformning och byggande,
- inkapsling av använt bränsle i full skala,
- hanteringskedjan av använt bränsle från CLAB till deponering i förvar,
- driften av ett djupförvar,
- licensieringen av hantering, inkapsling och djupförvaring inklusive analysen av den långsiktiga säkerheten,
- (återtagbarhet av avfallskollin).

Härutöver kan man tänka sig att även studera barriärernas tillstånd en viss kortare eller längre tid efter deponeringen. Den omgivande miljöns inverkan på barriärerna avses dock i första hand bli undersökt inaktivt i Äspölaboratoriet.

Man kan inte genom fältförsök demonstrera slutförvarets långsiktiga säkerhet. Tillåtligheten i detta avseende måste alltid baseras på en teknisk-vetenskaplig analys av förvarets funktion under lång tid. Det underlag som tas fram i samband med att djupförvaret byggs innebär emellertid att man kan genomföra en säkerhetsanalys baserad på platsspecifikt underlag i "full

skala” och få denna prövad av alla berörda myndigheter.

Anledningen till att SKB planerar en demonstrationsdeponering är inte tveksamhet om djupförvaringens genomförbarhet och säkerhet. Planen bör ses som ett uttryck för en insikt om och en respekt för att den lösning av kärnavfallsfrågan som FoU-arbetet resulterat i behöver förankras stegvis och konkret demonstreras för berörda kretsar i samhället långt utanför experternas krets. Det är SKBs uppfattning att en demonstrationsdeponering av använt kärnbränsle med bibehållen handlingsfrihet för framtiden är ett bra sätt att nå en bred uppslutning kring sättet att ta hand om kärnavfallet.

Planeringen med demonstrationsdeponering innebär också att nuvarande generation beslutar för en tidsrymd som motsvarar ungefär dess egen aktiva tid och lämnar öppet för efterföljande generation att ta ett eget beslut med ett så komplett beslutsunderlag som möjligt. Denna fördelning av ansvar och handlingsfrihet mellan vår egen och den kommande generationen kan beskrivas på följande sätt:

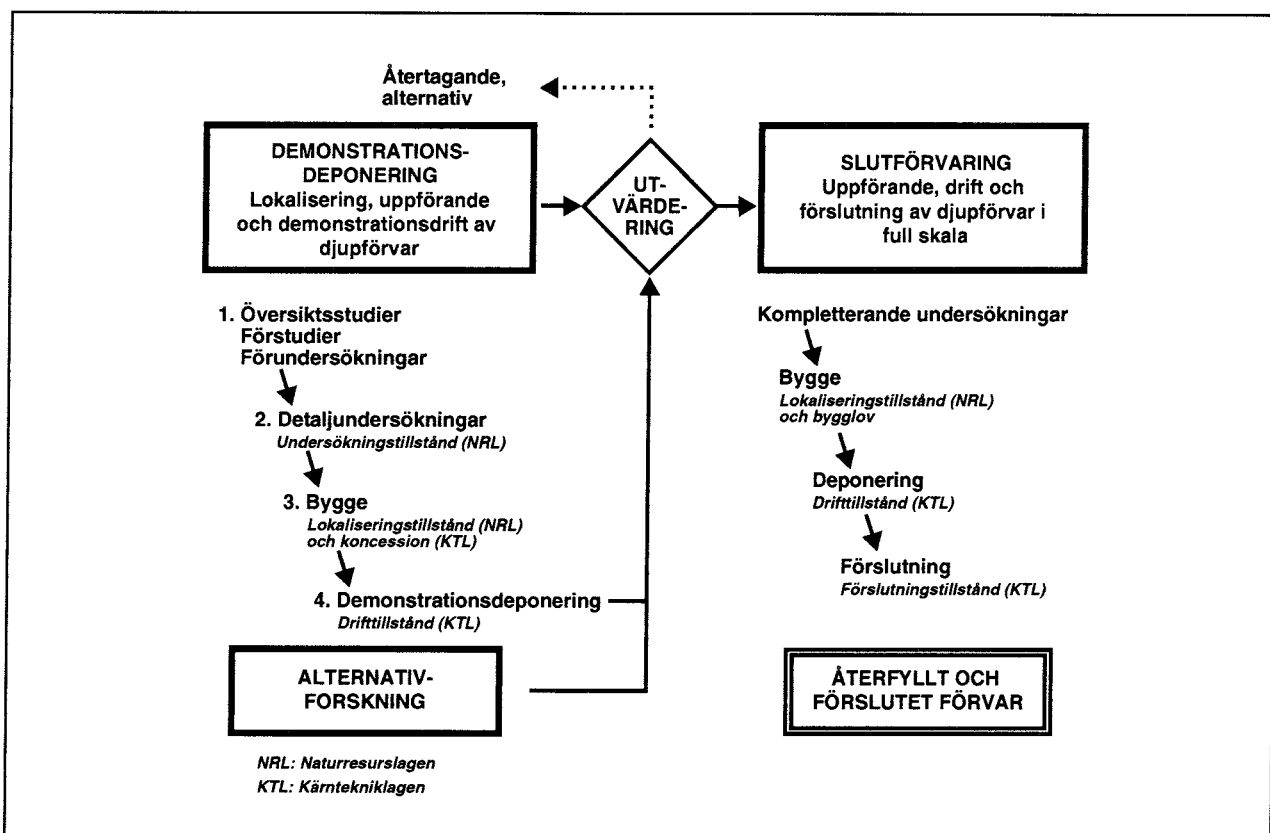
1. Det är nuvarande generations (kärnkraftsutnyttjare och avfallsproducenter i aktiv ålder under 1970–2010) skyldighet att

- utveckla ett säkert djupförvarssystem,
- lokalisera ett djupförvar vars första etapp medger demonstrationsdeponering,
- bygga förvaret med återtagbarhet, under strikt myndighetskontroll och med krav på långsiktig säkerhet,
- avsätta pengar som täcker framtida kostnader för hela systemet.

2. Det är nästa generations (de som ärver vårt avfall och är aktiva 2010 och senare) ansvar och frihet att

- utvärdera erfarenheterna av demonstrationsdeponeringen,
- göra en ny oberoende utvärdering av ett fullständigt slutförvars långsiktiga säkerhet,
- utvärdera alternativa metoder,
- besluta om antingen
  - i fullföljande och förslutning av ett komplett slutförvar eller
  - ii återtagande och alternativ hantering.

Arbetet fram till dess att allt kärnavfall i Sverige finns deponerat i ett slutet djupförvar planeras därför nu bli utfört i två huvudfaser: Demonstrationsdeponering och slutförvaring. Totalt sträcker sig arbetet över en period på mer än 60 år. Beslutet att ta steget till slutförvaring tas inte förrän efter genomförd demonstrationsdeponering, utvärdering av resultaten och



Figur 7-1. Schema över processen fram till förslutet djupförvar.

övervägande av andra alternativ. Dessa beslut ligger tidsmässigt efter år 2010. De planer som diskuteras i detta och följande kapitel handlar om den verksamhet som krävs för att lokalisera och uppföra de anläggningar som behövs för demonstrationsdeponering. Det är SKBs bedömning att man senare kommer att bygga ut djupförvaret i full skala. Det är dock inte meningsfullt att nu närmare diskutera detaljerna hur man då kommer att gå tillväga. Den aktuella, viktiga uppgiften är att demonstrera en möjlig metod för långsiktigt säker förvaring och att förse framtida tekniker och beslutsfattare med bästa möjliga beslutsunderlag.

I princip kan man för den vidare planeringen bibehålla mellanlagringstiden 40 år även med den här förutsatta demonstrationsdeponeringen. SKB räknar med att denna kan genomföras inom ca 20 år. Det är således möjligt att fullfölja med slutförvaring av resterande bränsle och avfall strax efter 2020 om man så beslutar om ca 20 år.

Figur 7-1 visar ett schema över hela processen.

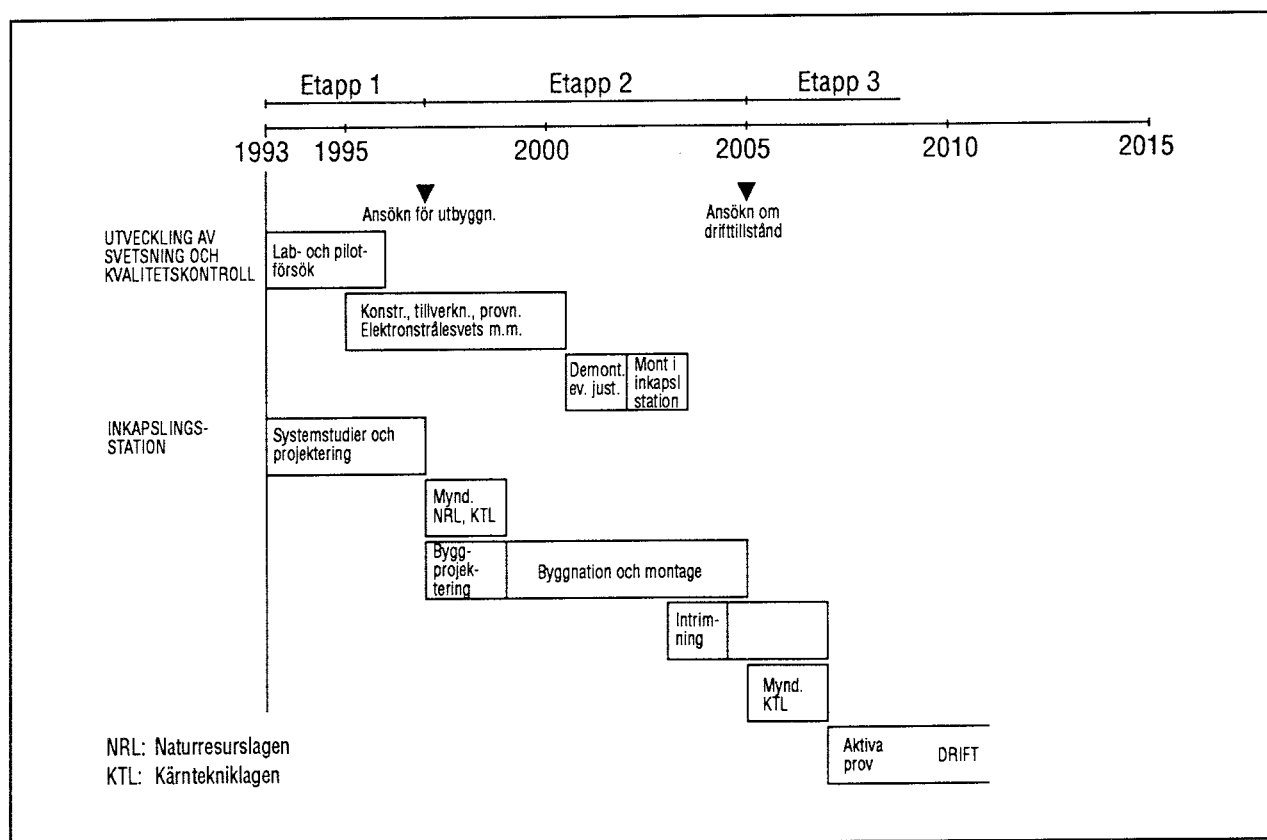
Figur 1-2 i kapitel 1 visar en översiktlig tidplan för alla anläggningar för lagring och slutförvaring av radioaktivt avfall. Utbyggnad av anläggning för slutför-

varing av långlivat låg- och medelaktivt avfall påbörjas först efter att demonstrationsdeponering av använt bränsle har genomförts.

Planerade insatser för att genomföra arbetet med ett djupförvar för demonstrationsdeponering redovisas enligt följande

- inkapsling av använt kärnbränsle – avsnitt 8.3,
- mellanlagring och transport av inkapslat bränsle – avsnitt 8.4 och 8.5,
- lokalisering och utförande av djupförvar för demonstrationsdeponering – kapitel 9 plus en underlagsrapport,
- säkerhetsanalyser – kapitel 10,
- stödjande FoU – kapitel 11 plus en underlagsrapport,
- Äspölaboratoriet – kapitel 12 plus en underlagsrapport.

Figur 1-4 i kapitel 1 visar en översiktlig tidplan för lokalisering och utformning av förvaret för demonstrationsdeponering. Figur 7-2 visar en översiktlig tidplan för utbyggnad av en inkapslingsstation för använt bränsle.



Figur 7-2. Tidplan för inkapslingsstation. Planen beskriver tidigaste tänkbara tidpunkter för genomförandet.

## 8 INKAPSLING AV ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE

### 8.1 ALLMÄNT

Den redovisade planen för demonstrationsdeponering av använt bränsle innebär att en anläggning för inkapsling av använt bränsle behöver tas i drift ca 2007. SKB planerar därför att snarast påbörja detaljerade systemstudier och projektering av denna anläggning. Med hänsyn till att det använda bränslet redan lagras vid CLAB finns det enligt SKBs bedömning klara fördelar att utföra inkapslingsstationen som en utbyggnad av CLAB. Utöver transport- och hanteringsskäl är det främst tillgången till kompetenta resurser vid Oskarshamnsverket och på CLAB, samt tillgänglig infrastruktur som klart talar för att denna lokalisering är lämpligast.

SKB planerar därför att bygga ut CLAB med en anläggningsdel för inkapsling av använt bränsle. Om det under arbetet kommer fram speciella skäl för att inkapslingen bör ske vid djupförvaret, kommer SKB naturligtvis även att ta upp frågan om alternativ lokalisering av inkapslingsstationen.

Olika utformningar av kapslar har studerats i PASS-projektet, se avsnitt 6.5. Som huvudalternativ föreslås en kompositkapsel med plats för 12 BWR-element eller 4 PWR-element. Kapseln som har ett yttre korrosionsskydd av koppar över en inre stålkapsel uppfyller krav på långsiktig beständighet, samtidigt som den möjliggör en förenklad hantering och fyllning vid rumstemperatur.

Utformningen av inkapslingsstationen utgår från denna kapsel, men skall samtidigt göras flexibel, så att en övergång till andra kapselalternativ möjliggörs.

I anslutning till inkapslingsdelen planeras även ett buffertlager för färdiga kapslar. Detta skall även kunna utvidgas för det fall att deponerade kapslar efter genomförd demonstrationsdeponering skall återtas. Även behållare för transport av färdiga kapslar från CLAB till djupförvaret kommer att utvecklas.

Studierna av inkapslingsstationen med därtill hörande frågor kring kapselutformning kommer att drivas med målsättningen att i slutet av 1996 lämna in ansökningar enligt kärntekniklagen och naturresurslagen om tillstånd att uppföra anläggningen. Samtidigt kommer även förberedelser för en utbyggnad av lagringskapaciteten i CLAB att genomföras.

### 8.2 KAPSEL – UTFORMNING, TILLVERKNING OCH FÖRSLUTNING

#### Utformning

Referensalternativet, se avsnitt 6.5, är en kompositkapsel med ett yttre korrosionsskydd av koppar över en inre stålstruktur, som är dimensionerad för att motstå de tryck som kan bli aktuella på deponeringsdjupet. Varje kapsel rymmer upp till 12 BWR element med bränsleboxar eller fyra PWR element. En fylld kapsel kommer att få en kvarstående tomvolym på ca  $1 \text{ m}^3$ . Denna kan reduceras till ca  $0,35 \text{ m}^3$  genom efterfyllning med ett partikulärt material, t ex kvartssand, glaspärlor eller blyhagel. För att eliminera riskerna för att genom radiolys bilda korrosiva species inuti kapseln, kan kapseln fyllas med torr inert gas. Kapselns utformning framgår av Figur 5-2 i kapitel 5.

#### Tillverkningsmetod

Det finns flera olika alternativ för tillverkning av kopparkapseln. De mest lovande metoderna är varmpressning av antingen ett kopparrör eller en kapsel, eller valsning och formning av en kopparplåt med längsgående svets. Den senare metoden har fördelen att den tillåter en bättre kontroll av kornstorleken i kopparen. Detta har betydelse för kontroll med ultraljud av svetsen vid förslutningen.

#### Svetsning av koppar

För närvarande är elektronstrålesvetsning det mest intressanta alternativet, med friktionssvetsning som ett andrahandsalternativ. De senaste årens utvecklingsarbete för elektronstrålesvetsning har i huvudsak varit inriktat på att utveckla teknik för svetsning utan vakuum. Detta arbete har bedrivits inom ett internationellt samarbetsprojekt, s k EUREKA-projekt. Tekniken är nu tillgänglig och under det närmaste året kommer metoden att utprovas för svetsning av tjocka kopparsektioner.

Tillämpningen av båda metoderna för elektronstrålesvetsning, i vakuumkammare och under atmosfärstryck, utreds för närvarande. Den senare metoden ger mycket större flexibilitet, men kan inte klara av samma godstjocklekar som konventionell elektronstrålesvets-



ning. Resultatet av pågående utvecklingsarbete är avgörande för det slutliga valet av metod, som beräknas kunna ske om ca två år.

Utvecklingen av svetsteknik för en fullstor kopparkapsel kommer att prioriteras högt under perioden. Därefter inriktas utvecklingsarbetet på svetsning av fullstora prototypkapslar.

### Fyllnadsmaterial

Efter fyllning med bränsle har kompositkapseln en tomvolym på ca 1 m<sup>3</sup>. Det kan av olika skäl visa sig önskvärt att minska tomvolymen genom efterfyllning med ett partikulärt material, t ex kvartssand, glaspärlor eller blyhagel. Genom att använda ett neutronabsorberande material, t ex borglas, kan kraven i samband med kriticitetsanalyser eventuellt minskas. Med den föreslagna utformningen av kapseln krävs i utgångsläget att hänsyn tas till bränslets utbränning för att erhålla tillräcklig kriticitetssäkerhet.

Ytterligare studier planeras innan man fastställer om ett fast fyllnadsmaterial skall användas och vilket material som i så fall är att föredra.

### Tillverkningskontroll – NDT

Samtliga steg i tillverkning, formning och förslutning av kapseln skall kontrolleras och dokumenteras. För stegen före inplaceringen av det använda bränslet och förslutningen kan detta ske med konventionella metoder, även om specifika utvecklingsinsatser eventuellt kommer att krävas. Metodik och teknik för kontroll av förslutningssvetsen kommer däremot att behöva utvecklas. Detta kan också komma att ställa krav på kontroll såväl av kopparkapselens mikrostruktur som på utformningen av svetsen.

Detta utvecklingsarbete prioriteras högt och genomförs i nära samverkan med utvecklingen av svetstekniken. Tidigare utredningar har visat att ultraljudsprovning är en framkomlig metod, men tekniken måste optimeras för kopparkapsel och för detektering av svetsdefekter som är typiska för elektronstrålesvetsning. En alternativ, eller kompletterande metod kan vara röntgentomografi. Utvecklingsarbetet kommer också att inriktas på att utvärdera denna metods potential för kontroll av förslutningssvetsen.

### Livslängd

Koppars korrosionsbeständighet i syrefri miljö är väl känd. Några processer som skulle kunna leda till genombrott på kapseln på grund av korrosion på kortare tid än miljontals år har inte identifierats. När väl reducerande förhållandena åter etablerats i förvaret, kommer kapseln att utsättas för mycket liten korrosion. Det använda bränslet kommer att vara helt isolerat från grundvatten i berget i miljontals år. Viss korrosion kan förekomma under den tidsperiod, då kapseln ännu har en oxiderande omgivning. Under den perioden är spän-

ningskorrosion och gropfrätning möjlig. Spänningskorrosionen förutsätter emellertid en kemisk miljö, som inte förekommer i djupa grundvatten. Viss gropfrätning under den korta period, då syre ännu finns kvar i förvaret kan heller inte leda till avsevärt nedsatt livstid för kopparkapseln.

### Alternativ kapselutformning

Alternativet till en stålstödd kopparkapsel är en kopparkapsel, som får sin mekaniska stabilitet genom att hålrummet kring bränslet fylls till nära 100% med bly, se Figur 5-3 i kapitel 5. Ur korrosionssynpunkt är denna kapsel likvärdig med referenskapseln. Förslutning och kontroll kan dessutom ske på samma sätt. Teknik och metodik för blyfyllningen kräver dock visst fortsatt utvecklingsarbete.

## 8.3 INKAPSLINGSSTATION

### 8.3.1 Utformning

Förutsättningen är att det använda bränslet, efter mellanlagringen i CLAB, kapslas in, varefter det är klart för deponering.

Planeringen baseras på att inkapslingen sker i en tillbyggnad till CLAB. Inkapslingsstationen utformas härvid med följande funktioner:

Mottagningsdel för kassetter med använt kärnbränsle från CLAB;

- Inkapslingsdel för inplacering av bränsle och ev fyllnadsmaterial, för förslutning av kapseln samt för kvalitetskontroll.
- Uttransportdel för kapslar. Uttransport sker i strålskyddade transportbehållare.
- Servicedel, placerad vid sidan om inkapslingsdelen, innehållande förråd, verkstad etc..
- Hjälpsystem med bl a kyl- och ventilationssystem samt el-och kontrollutrustning.
- Sidobyggnad med personal- och kontorsutrymmen.

I ett andra steg planeras en utbyggnad av inkapslingsstationen för att även kunna behandla hårdkomponenter och interna delar. Detta kommer att innebära att inkapslingsstationen förses med en behandlingsdel för inplacering av hårdkomponenter och interna delar i betongkokiller, fyllning av kokillerna med betong, buffertförråd för kokiller samt uttransport till djupförvaret.

Den principiella disponeringen av inkapslingsstationen framgår av Figur 8-1. Inkapslingen av bränslet sker inom områdena 1-4. Utlastning av färdiga kapslar för transport till djupförvaret görs i område 5. Inkapsling av hårdkomponenter och interna delar planeras ske inom område 6-9.

Inkapslingen av bränsle planeras i korthet ske på följande sätt.

Elutrustning Servicedel	Bränslehiss i CLAB	Bassängdel för sönderdelning av hårdkomp. 6)
	Cell för inkapsling av bränsle 1)	Cell för inkapsling av hårdkomponenter 7)
Manöverrum Kontorslokaler Personalutrymmen Förråd mm	Svetsning av kapsellock och svetskontroll 2)	Ingjutning av hårdkomponenter i betong 8)
	Dekontaminering av kapslar 3)	Förråd för betongkokiller 9)
	Buffertförråd för kapslar 4)	
	Uttransportdel till djupförvaret 5)	

Figur 8-1. Principiell disponering av inkapslingsstationen.

Bränslet förs över från CLAB i kassetter via den befintliga bränslehissen. Kassetten med innehåll förflyttas till inkapslingscellen. Innan bränslet lyfts in i cellen dräneras kassetten och bränslet torkas. I cellen placeras bränsleelementen i bränsleställ.

En stål kapsel i kopparhölje, placerad i ett strålskydd, ansluts till bränslecellen och bränslet flyttas över till kapseln. I samband härmed görs safeguardskontroller av bränslet. Därefter fylls det inre tomrummet med borglaskulor, blyhagel, sand eller dylikt.

Stållocket fästes.

Kapseln försluts med elektronstrålesvetsning varefter svetsen inspekteras.

Därefter transporteras kapseln till mellanlagret för tvättning och kontamineringskontroll.

Inkapslingen av hårdkomponenter och interna delar planeras ske som redovisats i PLAN 92. Denna del av inkapslingsstationen färdigställs i ett senare skede efter det att demonstrationsdeponeringen genomförts.

### 8.3.2 Tidplan

En översiktlig tidplan presenteras i Figur 7-2 i kapitel 7. Arbetet indelas i etapper som var och en omfattar specificerade steg med definierade mål.

### Etappmål

**Etapp 1** omfattar systemstudier och projektering av anläggningen samt utarbetande av en preliminär säkerhetsrapport. Målet är att ta fram erforderligt underlag för investeringsbeslut och för ansökan om tillstånd att uppföra anläggningen. Sådan ansökan prövas enligt såväl NRL som KTL. För att kunna genomföra projekteringen krävs ett framgångsrikt avslutande av utvecklingsarbetet på elektronstrålesvetsning och på icke förstörande provning (Non Destructive Testing, NDT). Dessutom behöver man bestämma om någon del av kapseltillverkningen skall ske vid inkapslingsstationen och i så fall med vilken metod.

Sammanlagt bedöms arbetet i etapp 1 kunna genomföras på 4 år. Myndighetsprövningen enligt NRL och KTL bedöms kräva 1,5 å 2 år.

**Etapp 2** omfattar inledningsvis myndighetsprövningen av bygglov. Parallellt med myndighetsbehandlingen bedrivs byggprojekteringen. När tillståndet erhållits påbörjas en stegvis utbyggnaden av anläggningen. Målet är en produktionsfärdig inkapslingsstation för tillverkning av aktiva kapslar. Etappen omfattar även den avslutande utvecklingsverksamheten i inaktiv miljö. Elektronstrålesvetsen, blygjutningsenheterna (om blygjutning skall göras), hanterings- och lyftutrustningar m m skall sålunda kunna utprovas på

plats och byggs först. Andra delar av anläggningen, som kan byggas och tas i drift utan föregående tester, uppförs i ett senare skede. I etappen ingår även inaktiv provdrift av hela anläggningen. Slutligen sammanställs en slutlig säkerhetsrapport och ansökan om tillstånd för aktiv drift inlämnas. Tiden för etappen fram till inlämnandet av tillstånd för aktiv drift bedöms vara 7-10 år (8 år i tidplanen i Figur 7-2).

**Etapp 3** omfattar myndighetsbehandling före aktiv drift. Försök och provning i inaktiv miljö bedrivs parallellt med myndighetsbehandlingen. Efter det att tillstånd beviljats sker provning med aktivt material och sedan genomförs demonstrationsdrift av anläggningen och utvärdering.

## 8.4 MELLANLAGRING AV INKAPSLAT BRÄNSLE

Det är inte osannolikt att inkapslingsstationen kan stå klar tidigare än djupförvaret. Efter demonstrationsdeponeringen kan dessutom situationen bli den att deponerade kapslar skall återtas. Det kommer i båda fallen att finnas behov av att kunna mellanlagra förslutna kopparkapslar i avvaktan på vidare hantering. Ett lager för detta måste fylla funktionerna:

- Kyla kapslarna.
- Skydda kopparkapslarna mot korrosion.
- Ge erforderligt fysiskt skydd.

Ett sådant lager bör finnas i anslutning till CLAB då detta byggs ut med en inkapslingsdel. Det skulle då också kunna tjäna som buffertlager för en löpande produktion om t ex vinterförhållanden omöjliggör utskräppning.

Projektering och licensiering görs parallellt med arbetet på inkapslingsstationen.

## 8.5 TRANSPORTER AV INKAPSLAT BRÄNSLE

I huvudalternativet för den fortsatta planeringen erfordras transport av kapslar med bränsle från inkapslingsstationen till djupförvaret. Såväl sjö-, som väg- och/eller järnvägstransporter kan bli aktuella.

För dessa transporter behöver en ny typ av transportbehållare utvecklas, där de ca 20 ton tunga kapslarna kan hanteras.

Kraven på denna transportbehållare överensstämmer i allt väsentligt med kraven på en normal transportbehållare för använt bränsle. Den skall uppfylla kraven i IAEAs transportregler /8-1/ på

- strålskärning,
- täthet,
- kriticitetssäkerhet,
- brandbeständighet, och
- mekanisk hållfasthet.

Brandbeständigheten och den mekaniska hållfastheten skall vara så god att erforderlig strålskärning, kriticitetssäkerhet och täthet bibehålles även efter en svår olycka. Denna karakteriseras i IAEAs transportregler som att behållarna skall tåla

- fall från 9 meters höjd,
- nedsänkning i vatten på 200 meters djup,
- brand 800°C i en halvtimme.

För att uppfylla dessa krav torde utformningen av transportbehållaren bli snarlik utformningen av dagens transportbehållare för använt bränsle. Eftersom strålningen och värmeutvecklingen i bränslet är avsevärt lägre vid transport till djupförvar än vid transport till CLAB är dock kraven på strålskärning och kylning mindre. Till exempel torde inga kylfenor behövas på behållaren. Även kapseln i sig bidrar till strålskärningen, varför transportbehållarens väggtjocklek snarast torde bestämmas av hållfasthetsskäl.

Det faktum att bränslet är inkapslat är en fördel ur strålskärnings- och täthetssynpunkt, men innebär ökade krav ur hållfasthetssynpunkt vid olyckor på grund av kapselns vikt. Även påverkan på bränslet inne i kapseln vid en olycka behöver bedömas.

Transportbehållare för inkapslat bränsle existerar inte idag utan ett visst utvecklingsarbete behövs. Bland annat behöver kriticitetsfrågorna ytterligare belysas.

## 8.6 PLANERAD VERKSAMHET FÖR 1993-1998

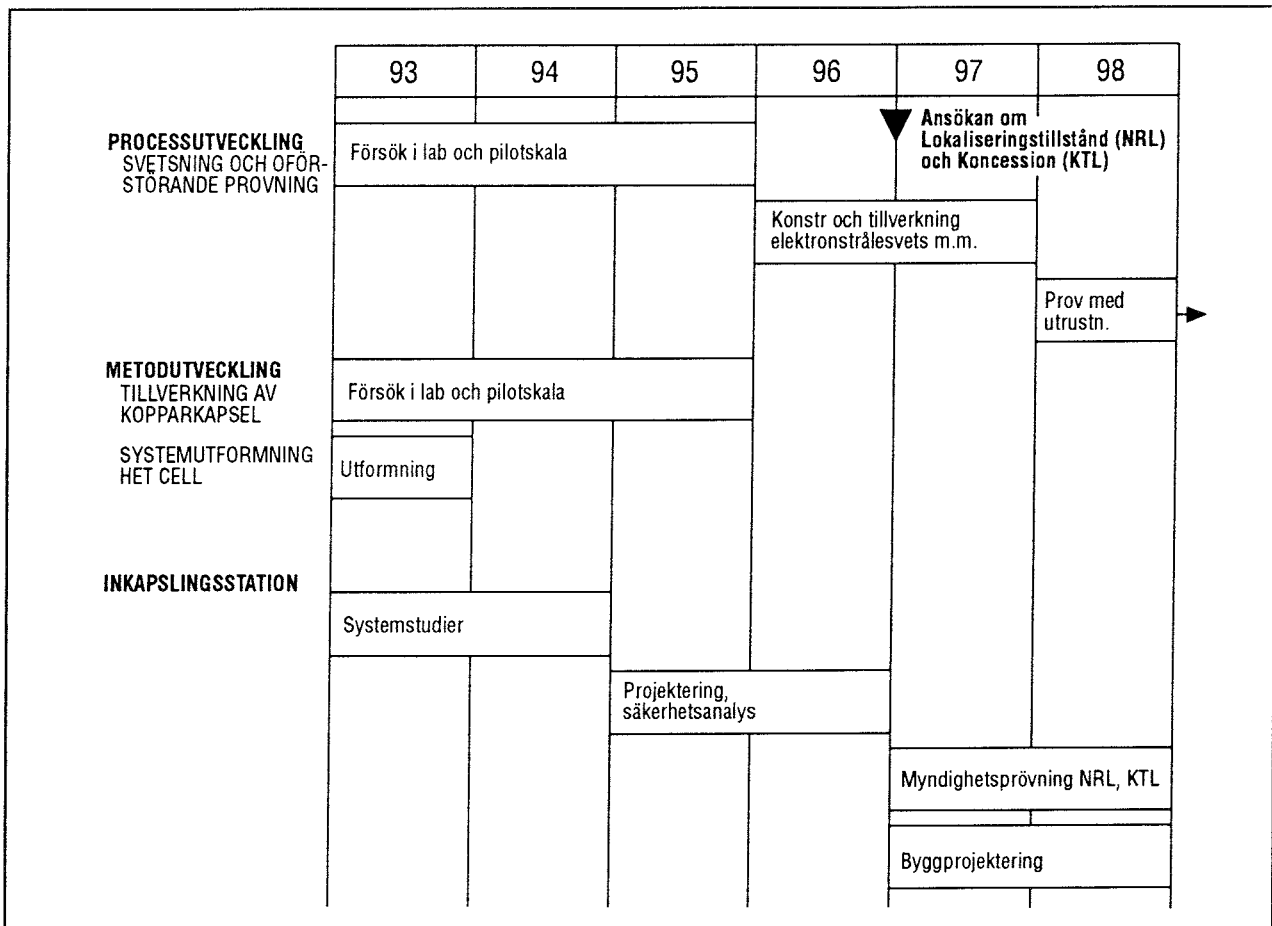
Under perioden 1993-1998 planeras, i enlighet med tidplanen i Figur 7-2, Etapp 1 bli genomförd och Etapp 2 påbörjas. Detta innebär att systemstudier för inkapslingsanläggningen genomförs och anläggningen projekteras, samt att en preliminär säkerhetsrapport och en miljökonsekvensbeskrivning utarbetas. Dessa studier skall ligga till grund för investeringsbeslut och ansökan om tillstånd att uppföra anläggningen.

Parallellt med myndighetsprovningen under senare delen av perioden genomförs en detaljerad byggprojektering.

Som underlag för projekteringen av anläggningen skall kapselutvecklingen drivas så att kapselutformning och tillverkningsteknik slutgiltigt har valts under perioden, samt att tillverkningsprov i full skala har genomförts. Vidare skall studier av svetsteknik för förslutning av kapseln avslutas och prov i full skala samt utveckling av kontrollmetod genomföras.

En tidplan för arbetet med inkapslingsstationen för perioden 1993-1998 ges i Figur 8-2.

Parallellt med arbetet på inkapslingsstationen kommer frågor kring mellanlagring av kapslar och transport av fyllda kapslar att klarställas.



**Figur 8-2.** Tidplan för inkapslingsstation 1993–1998.

NRL = Naturresurslagen /1-20

KTL = Kärntekniklagen

# 9 LOKALISERING OCH UPPFÖRANDE AV ETT DJUPFÖRVAR FÖR DEMONSTRATIONSDEPONERING

Detta kapitel sammanfattar förutsättningarna för och uppläggningsen av SKBs arbete med att lokalisera och uppföra ett djupförvar för demonstrationsdeponering av använt kärnbränsle.

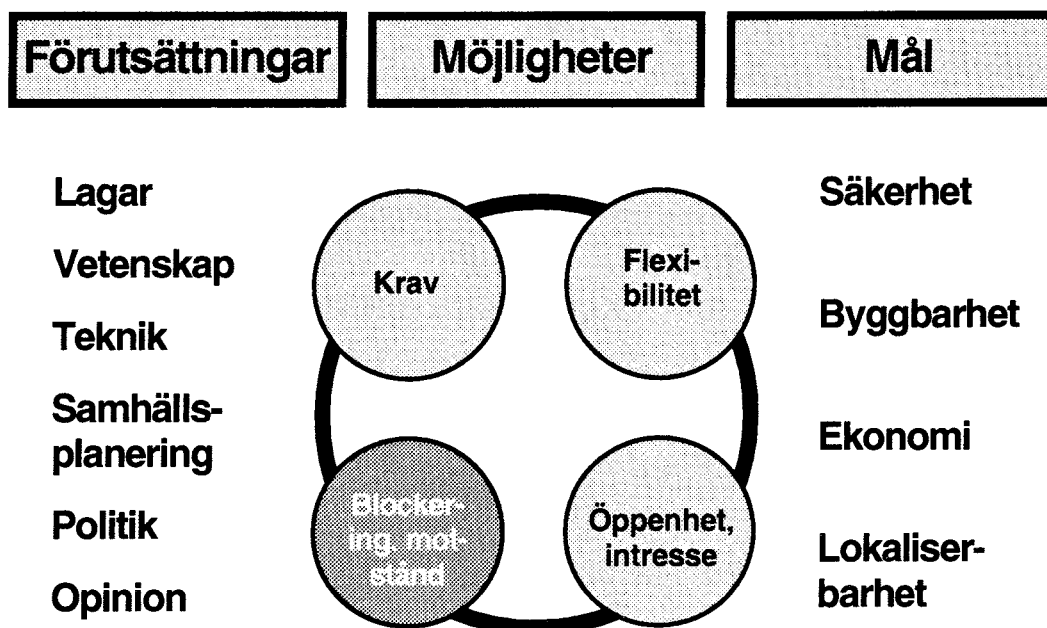
## 9.1 BAKGRUND, MÅL OCH ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR

Det grundläggande målet att ”på ett säkert sätt slutförvara i verksamheten uppkommet kärnavfall” kan i princip, som visades redan i den sk KBS-3-rapporten, uppnås om man bygger en bergrumsanläggning i vilken inkapslat bränsle deponeras på specificerat sätt. Kombinationen av tekniska (det svårösliga bränslet, kapseln, bentonitbufferten) och naturliga (berget) barriärer isolerar effektivt avfallet under tillräckligt lång tid. Säkerheten vilar alltså på naturvetenskaplig och teknisk grund. För att åstadkomma den säkerhet man eftersträvar måste emellertid det tekniska systemet åstadkommas i verkligheten, dvs de nödvändiga an-

läggningarna måste lokaliseras, byggas, tas i drift och förslutas. Detta är en juridisk och samhällelig process i lika hög grad som en teknisk. Denna insikt måste präglala lokaliseringsarbetet.

Ett djupförvar kan ses som en medelstor industrianläggning ovan jord samt en underjordsdel med relativt små men förhållandevis djupt liggande bergrum. För varje industrilokalisering finns det väl etablerade regler. Precis som för all annan industri kommer djupförvaret att prövas enligt dessa regler. Det som tillkommer för ett djupförvar är att det rör sig om en kärnteknisk anläggning och att frågan om slutförvaring av kärnavfallet väcker mycket uppmärksamhet. Detta tillsammans med ambitionen att omsorgsfullt utreda alla aspekter av förvarets funktion och att uppfylla stränga säkerhetskrav leder till att lokaliseringsprocessen för ett djupförvar blir extra omfattande och noggrann.

Figur 9-1 illustrerar på ett schematiskt sätt mål, förutsättningar och möjligheter för lokaliseringsarbetet. En analys av förutsättningarna ger en uppfattning om dels vilka krav som måste uppfyllas, dels vilken flexibilitet det finns i sättet att nå målen liksom under vilka



Figur 9-1. Schematisk illustration av mål, förutsättningar och möjligheter.

omständigheter man riskerar att blockeras. I det lokaliseringensarbete som pågår, analyseras förutsättningarna inom de ämnesområden som anges i Figur 9-1. Eftersom lokaliseringen är en långvarig process måste man räkna med att vissa förutsättningar kan komma att förändras under processens gång.

### 9.1.1 Juridiska förutsättningar

Sverige var tidigt ute med att i lag markera säkerhetskrav, ansvarsfördelning och formerna för finansieringen inom kärnavfallsområdet. Detta har bidragit till att det nu finns en fungerande struktur och klar rollfördelning inom forsknings- och utvecklingsarbetet och inför kommande lokalisering och uppförande av kvarstående anläggningar. Förutsättningarna i detta avseende måste därför anses som goda. SKB har låtit sammanställa de lagar och förordningar som blir eller kan bli aktuella i något skede av lokaliseringsprocessen /9-1/. Av den beskrivningen framgår att:

- Naturresurslagen (NRL) och kärntekniklagen (KTL) är de två centrala lagarna enligt vilka regeringen måste ge tillstånd.
- Vissa andra lagar eller föreskrifter kommer eller kan komma att bli tillämpliga i något skede av processen.
- En sk miljökonsekvensbeskrivning (MKB) bör sammanställas tidigt i lokaliseringsprocessen och sedan uppdateras och detaljeras efter hand som arbetet fortgår. Miljökonsekvensbeskrivningen utgör ett underlag i tillståndshandlingen. Den blir också ett verktyg för att informera och ge alla berörda möjligheter att framföra synpunkter på vilka frågor som är viktiga att ta upp inför de olika tillståndsärendena.
- Lokaliseringsprocessen kommer att kräva en effektiv samverkan mellan berörda myndigheter, regeringen, aktuella kommuner, länsstyrelser och SKB.

### 9.1.2 Naturvetenskapliga och tekniska förutsättningar

Forskningen om hantering och slutförvaring av kärnavfallet tog fart i Sverige vid mitten av 1970-talet. SKB och andra har bedrivit ett omfattande och målmedvetet forsknings- och utvecklingsarbete. Geologiska, materialtekniska, kemiska m fl aspekter har studerats i detalj. Flera integrerade säkerhetsanalyser har genomförts i landet. Liknande säkerhetsanalyser har genomförts i andra länder och internationellt med likartade slutsatser om genomförbarheten och säkerheten.

Mot ovanstående bakgrund och baserat på den egna erfarenheten från 15 års FoU-verksamhet, vars aktuella status beskrivs i andra avsnitt av detta FUD-program, drar SKB följande slutsatser:

- Vi har i Sverige de naturvetenskapliga och tekniska förutsättningar som krävs för att genomföra en säker slutförvaring av det använda kärnbränslet.
- Det svenska urberget ger goda geologiska förutsättningar för ett djupförvar och det är därför möjligt att i de flesta delar av landet finna platser som uppfyller de krav som ställs.
- Det bästa sättet att gå vidare för att förverkliga djupförvarssystemet är att välja, undersöka och utvärdera specifika kandidatplatser.

### 9.1.3 Samhälleliga förutsättningar

Lokalisering av anläggningar i ett system för djupförvaring av använt kärnbränsle måste ske i samklang med de förutsättningar och planer som finns i samhället. Undersökningarna och anläggningarna kommer bli a att kräva markutrymme, skapa direkt sysselsättning och ge bieffekter på den lokala industrin och servicesektorn. Vidare kan de påverka miljön visuellt och genom transporter, borrhinar, utsprängningar av berg och byggnation. Alla dessa aspekter måste beskrivas och diskuteras med kommunen, berörda människor och myndigheter.

Sammanfattningsvis är det SKBs bedömning att

- samhällsförutsättningarna är viktiga i såväl platsvalet som i detaljlokaliseringen och utformningen av anläggningarna på vald plats,
- det är möjligt att väl uppfylla sociala, plan- och miljömässiga krav,
- undersökningsverksamhet och djupförvaranläggningar kan tillföra mycket positivt till en ort. De representerar avancerad miljöskydds- och geoteknik, skapar sysselsättning, samt kommer att väcka stort vetenskapligt och internationellt intresse.

### 9.1.4 Politiska och opinionsmässiga förutsättningar

Lokalisering och uppförande av ett djupförvar för använt kärnbränsle är en politiskt och opinionsmässigt potentiellt känslig fråga. Erfarenheter både i Sverige och i andra länder visar att starka känslor och opinioner kan aktiveras. Motstånd mot industrilokaliseringar över huvud taget är för övrigt inte ovanliga i det moderna demokratiska samhället där många motstående intressen, viljor och värderingar skall rymmas. Det finns å andra sidan ingen anledning att överdramatisera möjliga opinioner mot ett djupförvar.

Det är SKBs slutsats att

- det är viktigt med en öppen information till och god samverkan med aktuella kommuner och de människor som direkt berörs eller känner sig berörda av lokaliseringen. Detta är en nödvändig förutsättning för att man skall lyckas genomföra det

viktiga miljöskyddsarbete som djupförvaring av det använda kärnbränslet innebär.

## 9.2 DJUPFÖRVARETS UTFORMNING

### 9.2.1 Allmän layout

Ett djupförvar för förvaring av inkapslat bränsle består av anläggningar såväl över som under jord. En skissad layout för dessa anläggningar visas i Figur 9-2.

Underjordsanläggningarna består i huvudsak av ett system av parallella deponeringsorter med tillhörande transportorter, serviceutrymmen och ventilationssystem. I praktiken kommer layouten att anpassas efter bergets lokala strukturer. Vid denna anpassning kan den här beskrivna utformningen ytterligare optimeras varvid tekniskt närliggande varianter kan övervägas.

Avfallskapslarna deponeras i vertikala hål som borraras från botten av deponeringsorterna. Utformningen framgår av Figur 9-3.

Ett djupförvar för demonstrationsdeponering utgör en del av hela förvaret. I Figur 9-2 har 10% av förvaret markerats. Endast dessa delar byggs för demonstrationsdeponeringen.

Djupförvaret kan nås via ramp, som i Figur 9-2 och/eller schakt från industriområdet på markytan. Rampen samt något ventilationsschakt byggs redan under detaljundersökningen och utformas för driftens behov vid utbyggnaden.

### 9.2.2 Teknik för deponering

Avfallskapslarna transporteras ner under jord antingen via rampen i strålskärmande behållare eller i en avskärmad hiss i ett schakt. Båda alternativen hålls fortfarande öppna. På deponeringsnivån körs kapseln fram till deponeringsortens mynning (omlastning till fordon under jord i schaktalternativet) och flyttas över till ett specialkonstruerat deponeringsfordon. Detta kör fram till deponeringshålet och reser där upp kapseln till vertikalt läge samt sänker ner den i hålet. Den undre delen av bentonitbufferten har redan placerats i hålet. När kapseln kommit på plats läggs övriga bentonitblock på plats med samma deponeringsfordon som hanterade kapseln. Hanteringen i deponeringsorten illustreras i Figur 9-4.

Den utrustning som föreslås består av beprövade komponenter och kan konstrueras, byggas och utprovas enligt vedertagen ingenjörsexpraxis. Arbetet kan bli utgå från de erfarenheter som finns från utbyggnaden av CLAB och SFR.

Bentoniten runt kapslarna består av förkompakterade block. Sådana har tillverkats i befintliga pressanläggningar, för de pilotförsök som genomförts i Stripa. Härvid har man använt kommersiella bentonitkvaliteter, som har låg fukthalt. Ökas fukthalten i bentoniten

ökar bentonitblockens termiska ledningsförmåga, vilket leder till en lägre temperaturtopp i bentoniten vid samma termiska belastning i kapseln. En lämplig kompakteringsteknik och fukthalt kommer att fastställas bl a med hjälp av buffertförsök i Äspölaboratoriet.

Deponeringsorterna skall återfyllas med en blandning av bentonit och sand. Undre hälften av ortens höjd kan kompakteras med konventionella packningsmaskiner. I övre delen, speciellt mot taket, får dessa maskiner ej plats. Packningen behöver vara kraftigare än den som man får om blandningen enbart sprutas in med t ex sprutbetongutrustning, som provades i Stripa. En kompakteringsmetod kommer att utvecklas och försök genomförs i Äspölaboratoriet.

Innan deponeringsutrustningen tas i drift kan en utprovning komma att göras i Äspölaboratoriet.

Alternativa utformningar av djupförvaret och deponeringsmetoder har studerats i PASS-projektet.

### 9.2.3 Återtagbarhet

Det är nödvändigt att såväl under som efter deponering kunna ta tillbaka kapslar.

Under deponeringen kan missöden inte uteslutas. Man kan därför behöva rätta till felaktigheter innan man fortsätter deponeringen. Även det fallet måste kunna hanteras där kapseln just placerats på plats. Härvid blir kravet på återtagbarhet ett av flera kriterier vid konstruktion och utprovning av deponeringsmaskinen.

Efter demonstrationsdeponeringen är det meningen att det skall vara möjligt att avbryta verksamheten och besluta om att deponerade kapslar skall återtas. Tekniskt kan lösningen vara att under jord använda samma maskin som vid deponeringen. Alternativt krävs särskild utrustning.

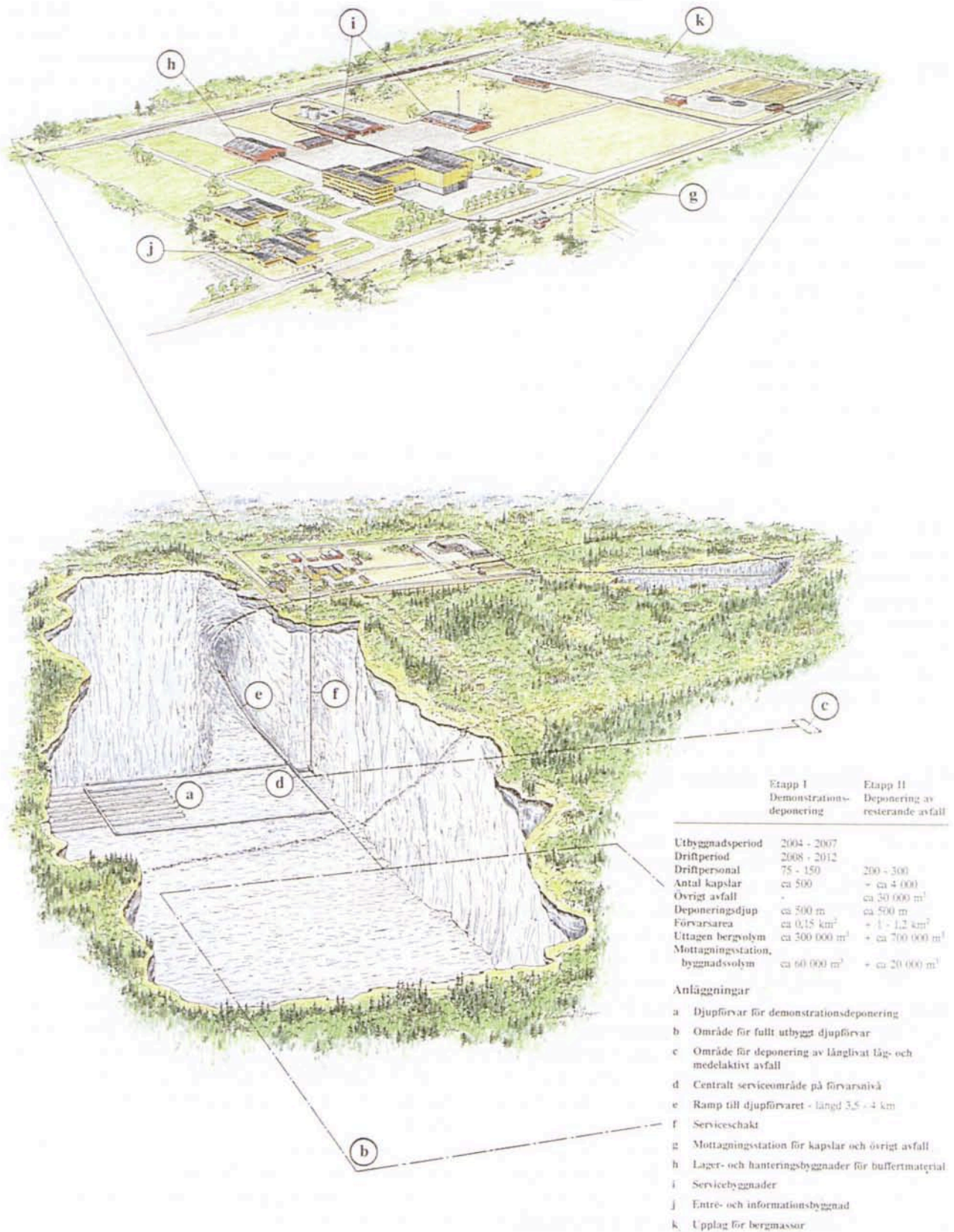
Denna fråga skall bearbetas i samband med utvecklingen av deponeringsmaskinerna.

### 9.2.4 Byggmetoder i berg samt buffert, återfyllnad och förslutning

Undermarksbyggande är en väl beprövad teknik i Sverige. Dokumenterade erfarenheter finns från varierande svenska bergförhållanden, från markytan ner till ca 1 000 m djup. Omfattande gruvverksamhet har skett och sker omkring det djup, ca 500 m, som djupförvaret planeras för.

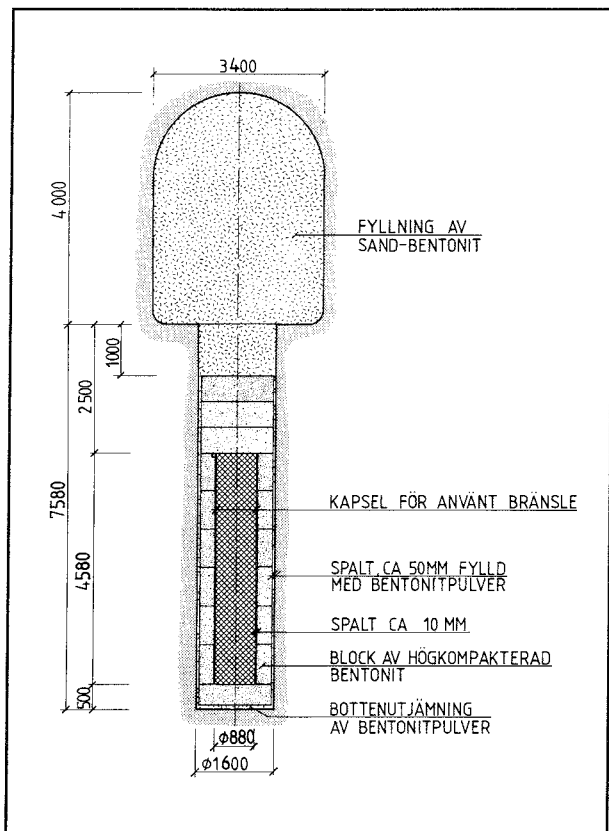
I första hand förutsätts att känd teknik (borrning/sprängning, tunnelborrning, stigortsborrning) används. Denna kompletteras med vidareutvecklade metoder där så erfordras.

En betydelsefull byggteknisk fråga är hur väl vatteninflödet till förvaret kan begränsas, speciellt i deponeringshålen. Modeller för injekteringsmaterialens egenskaper och beteenden i sprickor har tagits fram inom Stripaprojektet. Modellarbetet och validering av modellerna fortsätter. En besvärlig situation har identi-



**Figur 9-2.** Bild av tänkbar utformning av ett djupförvar. För demonstrationsdeponeringen byggs ca 10% av ett fullständigt förvar ut såsom markeras i figuren.





Figur 9-3. Utformning av kapselpositioner.

fierats under tunnelbygget vid Äspölaboratoriet, nämligen tätning av starkt vattenförande sprickor med högt vattentryck. Målet är att vidareutveckla lämplig tätningsteknik för de behov som kan finnas vid detaljundersökningar och utbyggnad av djupförvaret.

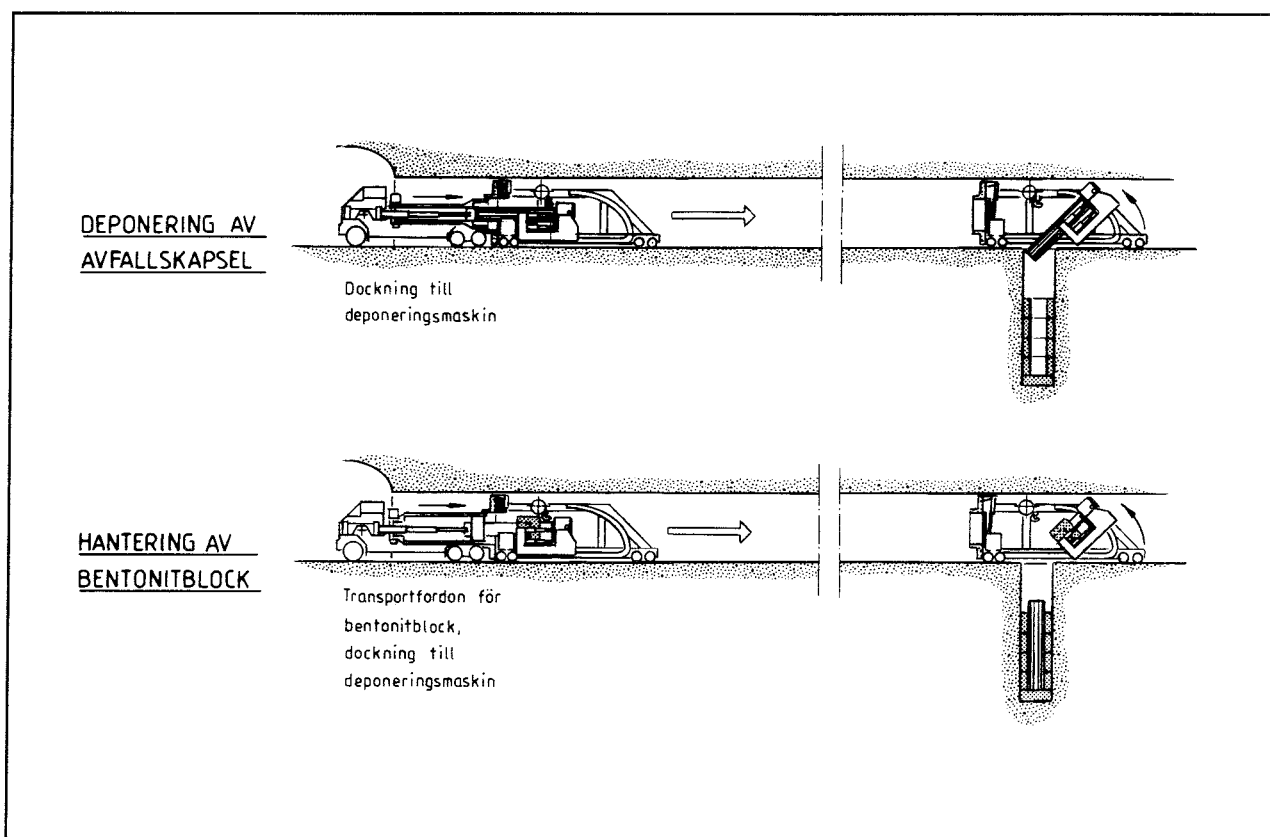
En beskrivning av hur utsprängningen eller tunnelborrningen inom deponeringsområdet skall gå till kommer att presenteras ca 1995 eftersom detta kan påverka sättet att detaljundersöka området under jord.

Utrustning för borrning av deponeringshål finns på ritbordet men har ej provats. Vid fullborrning blir påverkan på bergväggarna betydligt mindre än vid sprängning, men påverkan är ändå betydelsefull för en förståelse av vilka egenskaper berget runt hålet får.

Arbetena fortsätter med att förbättra kunskapen om den påverkan bergväggen utsätts för. Försök i naturlig miljö kommer att kunna göras i Äspölaboratoriet.

Återfyllning av utrymmet runt kapslarna (kompakterade bentonitblock) och återfyllning av deponeringsorterna (sand/bentonitblandningar) sker med material, vars egenskaper man idag har en god kunskap om. Det som återstår att utveckla är framför allt metoder för kompaktering av block och maskiner för återfyllning med sand/bentonit.

Pluggning för avtätning efter avslutad deponering behöver inte göras förrän när förvaret skall förslutas. Pilotförsök har genomförts i Stripa och arbetet fortsätter med bl a en utredning av förutsättningarna beträf-



Figur 9-4. Teknik för deponering.

fande tätning av det berg som omger orten eller schaktet där pluggningen skall göras. Senare kommer försök att kunna genomföras i Äspölaboratoriet.

### 9.2.5 Framtida insatser

Förvarets geometriska utformning definieras preliminärt vid start av lokaliseringsprocessen. Den revideras allt eftersom man får platsspecifik information från förundersökningar och detaljerade geologiska platsundersökningar.

Innan detaljundersökningsfasen påbörjas behöver teknik för passage av vattenförande zoner med högt vattentryck utarbetas. En redovisning kommer att lämnas i samband med ansökan om detaljundersökningen. Den centrala frågan är hur vattenförande sprickor kan tätas och vilket material som skall användas i olika situationer. Fram till 1998 utarbetas och valideras materialmodeller. Därefter genomförs större försök i Äspölaboratoriet.

## 9.3 LOKALISERINGSPROCESS OCH TIDPLAN

En viktig utgångspunkt för SKBs planering av hur lokaliseringsprocessen skall gå till är regeringens beslut angående SKBs förra FoU-program, FoU-89. Där säger man *”Regeringen konstaterar att SKBs val av platser lämpliga för ett slutförvar kommer att granskas av olika myndigheter i anslutning till att SKB ansöker om tillstånd för detaljundersökning av två sådana platser enligt lagen (1987:12) om hushållning med naturresurser m m, miljöskyddslagen (1969:387) plan- och bygglagen (1987:383).”*

Vidare underströk regeringen att SKB under lokaliseringsarbetets gång bör lämna information till berörda myndigheter, länsstyrelser och kommuner.

Utifrån dessa riktlinjer samt bedömningar av vilket underlag som måste tas fram för projektering och bygge av anläggningen och för miljö och säkerhetsanalyser planeras lokaliseringsprocessen bli genomförd i ett antal huvudetapper.

### 9.3.1 Etapp 1. Översiktsstudier, förstudier och förundersökningar

I denna etapp görs till att börja med en bred genomgång av förutsättningarna för lokalisering av ett djupförvar. Viktiga lokaliseringsfaktorer kartläggs och analyseras.

En riktigt tydlig bild av förutsättningar och förhållanden får man först när man genomför konkreta ort- och platsspecifika undersökningar. För de kommuner som, t ex genom egna initiativ, visar sig vara intresserade av att närmare låta undersöka förutsättningarna för ett djupförvar genomförs därför förstudier. I en

förstudie tar man fram och utvärderar grundläggande fakta om t ex transportfrågor och tekniska, sociala, samhälleliga och geologiska förutsättningar för ett djupförvar i kommunen. Med hjälp av en förstudie kan såväl SKB som en aktuell kommun, i ett tidigt skede och utan några bindningar, skaffa sig en preliminär uppfattning om förutsättningarna och avgöra huruvida det är intressant att närmare undersöka möjligheterna för ett djupförvar.

Parallellt med översiktsstudierna och förstudierna som leder fram till valet av kandidatorter förbereds och planeras det kommande arbetet på kandidatorterna. Ett program för geovetenskapliga förundersökningar upprättas. Studierna och analyserna av de tekniska förutsättningarna och av förvarssystemet fortsätter och redovisas i en preliminär system- och anläggningsbeskrivning. En preliminär miljökonsekvensbeskrivning utarbetas och ett program för lokal medverkan, information och socioekonomiska studier tas fram.

Baserat på underlaget från översiktsstudierna och förstudierna kommer SKB att etablera lokala kontor och inleda förundersökningar på ett par platser. Dessa undersökningar omfattar:

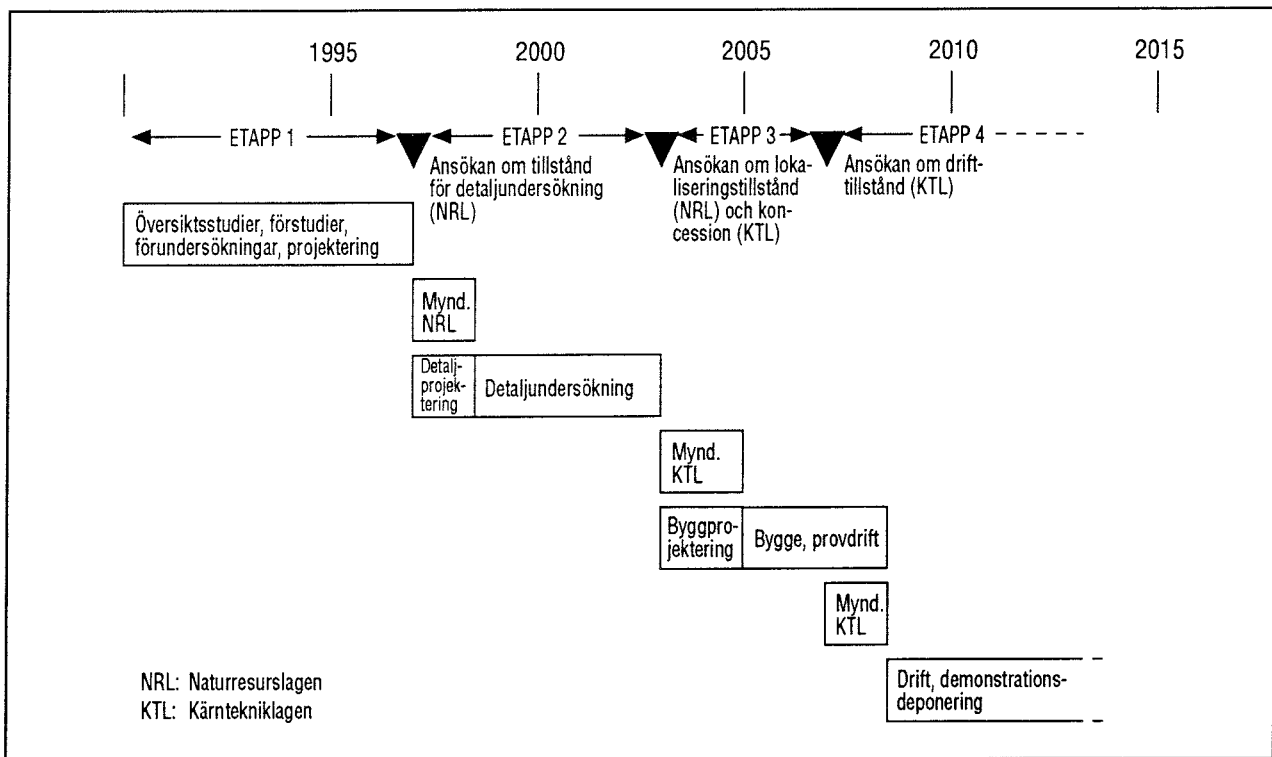
- Geovetenskapliga undersökningar och utvärderingar i flera steg från markytan och i borrhål. Målet är att precisera läget av en bergvolym för ett djupförvar och att preliminärt bekräfta platsens lämplighet.
- Systemutredningar för ovan- och underjordsanläggningarna. Projekteringsarbete. Utarbetande av platsanpassade layouter. Utredningar av miljö och säkerhetsaspekter.
- Tekniska och socioekonomiska utredningar för att ytterligare belysa och klargöra inverkan på samhälle, miljö, ekonomi och lokal industri av lokalisering av ett djupförvar till orten.
- Utredningar av lämpliga transportsätt och transportvägar för inkapslat använt kärnbränsle från CLAB till djupförvaret.

När förundersökningarna i fält påbörjas bör bli lämpliga former ha etablerats för att kommunen och människor som berörs av lokaliseringen skall kunna ha insyn i, följa och ge synpunkter på verksamheten. De socioekonomiska utredningarna förutsätts ske i samarbete med kommunen och berörd lokalbefolkning.

Etapp 1 avslutas med att allt nödvändigt underlag sammanställs i en ansökan enligt naturresurslagen (NRL) om tillstånd att genomföra detaljundersökningar. En miljökonsekvensbeskrivning, en säkerhetsanalys och ett program för detaljundersökningar kommer att bifogas ansökan.

### 9.3.2 Etapp 2. Detaljundersökningar

Detaljundersökningarna innebär att man bygger tunnel och/eller schakt ner till den del av berget där man tänker bygga djupförvaret. Under tunnel/schakt-byg-



**Figur 9-5.** Exempel på tidplan för djupförvaret fram till genomförd demonstrationsdeponering. Planen beskriver tidigaste tänkbara tidpunkter för genomförandet.

get och nere på förvarsdjupet detaljkaraktäriseras berget enligt metoder och program som utvecklas och provas i Äspölaboratoriet, se kapitel 12. Målet för detaljundersökningen är att

- slutligt bekräfta platsens lämplighet för ett djupförvar,
- ge underlag för en detaljerad layout,
- ge underlag för ansökan om att få bygga ett djupförvar för demonstrationsdeponering.

Under etapp 2 fördjupas de tekniska och socioekonomiska utredningar som påbörjats i etapp 1. Djupförvarsanläggningen projekteras. SKBs etablering på orten utvidgas. Etapp 2 avslutas med att allt underlag för ansökan om lokaliseringsstillstånd enligt naturresurslagen (NRL) och koncession enligt kärntekniklagen (KTL) sammanställs och lämnas in till myndigheterna.

### 9.3.3 Etapp 3. Bygga av djupförvar för demonstrationsdeponering

Denna etapp omfattar utbyggnad av djupförvaret fram till en anläggning, färdig att ta emot inkapslat använt kärnbränsle för demonstrationsdeponering. Bergbygget kan genomföras på några få år genom att en stor del av tillfartsorterna redan drivits som en del av detaljundersökningen i etapp 2. Anläggningen måste ha utrustning för att ta emot transporter av kapslar med bränsle, placera kapslarna i deponeringspositioner och för att inplacera bentonit i deponeringstunnlarna.

Etapp 3 leder bl a fram till en slutlig säkerhetsredovisning som underlag till en ansökan om drifttillstånd enligt kärntekniklagen.

Om tillstånd erhålls övergår etapp 3 i slutmålet, etapp 4: Demonstrationsdeponering av inkapslat bränsle under några år samt den därpå följande utvärderingen.

### 9.3.4 Tidplan

En översiktlig tidplan visas i Figur 9-5.

Tidplanen bygger på vissa förutsättningar samt bedömningar av i vilken takt det går att få fram det underlag som behövs för tillståndsansökningarna. De viktigaste förutsättningarna är:

- Kompletta förundersökningar genomförs på två orter.
- Detaljundersökning i full skala genomförs på en plats. Endast om den plats man väljer att detaljundersöka skulle visa sig vara olämplig bör man påbörja detaljundersökningar på en andra plats. Lagens krav på utredning av olika alternativ i lokaliseringsärenden och miljökonsekvensbeskrivningar tillfredsställs på det omfattande underlag som tas fram i etapp 1.

Med dessa förutsättningar och om undersökningar och utvärderingar kan genomföras effektivt så kan demonstrationsdeponeringen vara genomförd inom ca 20 år.

## 9.4 GRUNDLÄGGANDE KRAV OCH VIKTIGA LOKALISERINGSFAKTORER VID VALET AV PLATSER

Valet av kandidatorter kommer att ske i enlighet med de grundläggande krav som måste ställas på en djupförvaringsplats ur säkerhetsmässig, teknisk, samhällelig och juridisk synpunkt. Man skall för vald plats och valt förvarssystem med hjälp av en säkerhetsanalys kunna visa att de av myndigheterna uppställda säkerhetskraven uppfylls. Man skall kunna bygga förvaret och tekniskt genomföra deponeringen på avsett sätt. Man skall genomföra lokaliseringen, undersökningarna och utbyggnaden så att alla relevanta, legala och planmässiga krav uppfylls. Sist, men inte minst, skall man kunna genomföra projektet i samverkan med kommunen och den berörda lokalbefolkningen.

### 9.4.1 Säkerhetsmässiga krav

Den grundläggande säkerhetsprincipen för det djupförvarssystem som SKB planerar är att innesluta och isolera det använda kärnbränslet i täta kapslar som deponeras på cirka 500 meters djup på den valda förvaringsplatsen. Hela verksamheten och systemutformningen går ut på att denna isolering skall åstadkommas och bestå över mycket lång tid så att de radioaktiva ämnena klingar av inuti kapseln och inte kan frigöras. Detta betyder att bergets viktigaste säkerhetsmässiga funktion för ett djupförvar är att säkra långsiktigt stabila förhållanden för de tekniska barriärerna. SKBs geovetenskapliga forskning och säkerhetsanalysen, SKB 91, visar att berget på många ställen i stora delar av landet uppfyller denna säkerhetsmässiga funktion.

### 9.4.2 Tekniska krav

De tekniska krav som ställs på kandidatplatsernas berggrund är främst kopplat till byggbarheten. Det skall gå att bygga ett förvar på cirka 500 m djup på den valda kandidatplatsen utan att alltför stora problem uppstår med rasbenägna bergpartier eller stora vatteninläckage.

Ett annat tekniskt krav, som även är gynnsamt ur säkerhetssynpunkt, är att kandidatplatsen skall vara lätt att tolka, dvs att förundersökningarna skall ge ett sådant resultat att bergegenskaper av betydelse för byggbarheten kan kartläggas med god säkerhet. Detta är viktigt bl a för att utforma förvaret så bra som möjligt med hänsyn till den långsiktiga säkerheten, samtidigt som en god kunskap om dessa strukturer är väsentligt för att kunna projektera utformning och läge av tunnelsystem och deponeringshåll.

### 9.4.3 Samhälleliga krav

De samhällsfaktorer som i första hand måste beaktas i lokalisering är planer för markanvändning, transporter av använt bränsle, opinion, markägare och infrastruktur. Dessa faktorer är av stor vikt för ett områdes lämplighet och de blir i praktiken utslagsgivande när väl de tekniska och säkerhetsmässiga kraven är uppfyllda.

### 9.4.4 Sammanfattning av viktiga lokaliseringsfaktorer

Tabell 9-1 ger en kort sammanfattning av de väsentligaste lokaliseringsfaktorerna.

Det är viktigt att notera att de flesta ogynnsamma faktorer kan kompenseras genom olika insatser. Exempelvis kan en heterogen berggrund eller låg blottningsgrad kompenseras genom ökade borrhingsinsatser. Avsaknaden av eller brister i infrastruktur kan kompenseras genom utbyggnad av järnväg, vägar, bostäder etc. Dessa kompensationer medför dock ökade totalkostnader för djupförvaret, vilket måste vägas mot platsens fördelar.

En närmare diskussion av de geovetenskapliga, tekniska och samhällliga förutsättningarna för djupförvarslokaliseringen finns i underlagsrapporten.

## 9.5 ERFARENHETER FRÅN TIDIGARE PLATS-UNDERSÖKNINGAR OCH LOKALISERING

Något egentligt lokaliseringsarbete av projektkaraktär för djupförvaret har inte skett före starten av det lokaliseringsprojekt som SKB satte upp hösten 1991. Där emot har ett omfattande underlag särskilt i fråga om de geovetenskapliga frågorna tagits fram. De erfarenheter SKB fått från lokaliseringen av det centrala mellanlagret för använt bränsle (CLAB), Slutförvaret för radioaktivt driftavfall (SFR) och Äspölaboratoriet är också värdefulla i det påbörjade arbetet med att lokalisera djupförvaret.

### 9.5.1 Tidigare platsundersökningar

SKB har de senaste 15 åren satsat stora resurser på att undersöka och utreda olika geologiska miljöers lämplighet för slutförvaring av använt kärnbränsle. Inom Sverige har ett tiotal områden undersökts i större omfattning (flera djupa borrhål). Dessutom har man på ytterligare ett antal områden genomfört mera begränsade undersökningar. Figur 9-6 visar var dessa platser ligger i Sverige. En sammanfattande redovisning av undersökningarna på dessa platser finns i underlagsrapporten och detaljerade uppgifter finns i en rad tekniska rapporter över undersökningsresultaten. Dessa

Tabell 9-1. Lokaliseringsfaktorer.

Lokaliseringsfaktor	Kommentar
<i>Tekniska/geovetenskapliga:</i>	
Långsiktig stabil miljö	Förvaret bör förläggas i delar av berget som inte utgörs av svaghetszoner av uppsprucket berg i vilka framtida förkastningsrörelser av betydelse skulle kunna utlösas. De bergpartier som utnyttjas för förvaret bör ej innehålla brytvärda mineral eller liknande vilka skulle kunna leda till framtida intrång som kan störa säkerhetsbarriärerna. Det valda området / djupet skall ha långtidsstabila kemiskt reducerande förhållanden hos grundvattnet.
Säkerhet	Berget skall utgöra en extra säkerhetsbarriär genom dess förmåga att ta upp och kvarhålla eventuellt frigjorda ämnen. Denna förmåga beror på grundvattenförhållanden (flöden, flödesvägar), grundvattenkemi samt fördröjningsmekanismer längs flödesvägarna. Hänsyn till dessa förhållanden tas genom att beakta faktorer som hydraulisk gradient, avstånd mellan tänkt förvarsplats och utströmningsområde, förekomst av vattenförande sprickzoner och gångbergarter samt förekomst av salt grundvatten.
Byggbarhet	Ett områdes byggbarhet bestäms av lägen och karaktärer på sprickzoner, inslag av bergarter med benägenhet för ras eller vattenföring, storlek och orientering på bergspänningar och mekaniska egenskaper hos berggrunden.
Prognostiserbarhet	Det är en fördel om ett område är lätt att tolka, dvs medger en hög säkerhet vid förutsägelser av berggrundsförhållanden mellan undersökta delar av ett område. Prognostiserbarheten är beroende av blottningsgrad och berggrundsförhållanden.
<i>Samhälleliga:</i>	
Markanvändning	Hänsyn tas till områden av riksintresse för naturvården, militära skyddsområden, kulturskyddade eller arkeologiskt intressanta områden, etc.. Länens naturvårdsplaner och kommunernas översiktsplaner beaktas noga. Inverkan av befolkningstäthet, areella näringar m m studeras. Områden med planerad industrimark kan vara speciellt intressanta.
Transporter	Tekniskt är det möjligt att på ett säkert sätt transportera avfallet till alla platser i Sverige som kan bli aktuella. Säkerhet, logistik, behov av nyinvesteringar, opinion och kostnader kommer att utredas för aktuella platser.
Infrastruktur	Behovet av och inverkan på existerande infrastruktur och lokalt näringsliv kommer att klargöras för aktuella platser.
Opinion	Ett gott samarbete med berörda intressenter är viktigt. Kommunen och lokalbefolkningen kommer att få information och ges möjlighet att följa och ge synpunkter på arbetet.

finns redovisade i /9-2-12/. Förutom de arbeten som genomförts inom kärnavfallsprogrammet finns i Sverige ett mycket omfattande erfarenhetsmaterial från övrig berganläggningsverksamhet.

De flesta av de undersökta områdena duger förmodligen för ett djupförvar, men det finns skillnader som gör områdena mer eller mindre lämpliga.

En viktig observation är att lämpliga, respektive mindre lämpliga, områden inte kan hänföras till någon speciell landsdel eller någon speciell geologisk miljö. I stället är det de lokala förhållandena i området, och i den omgivande regionen, som avgör ett områdes lämplighet.

## Begränsade undersökningar

■ AKA-utredningen

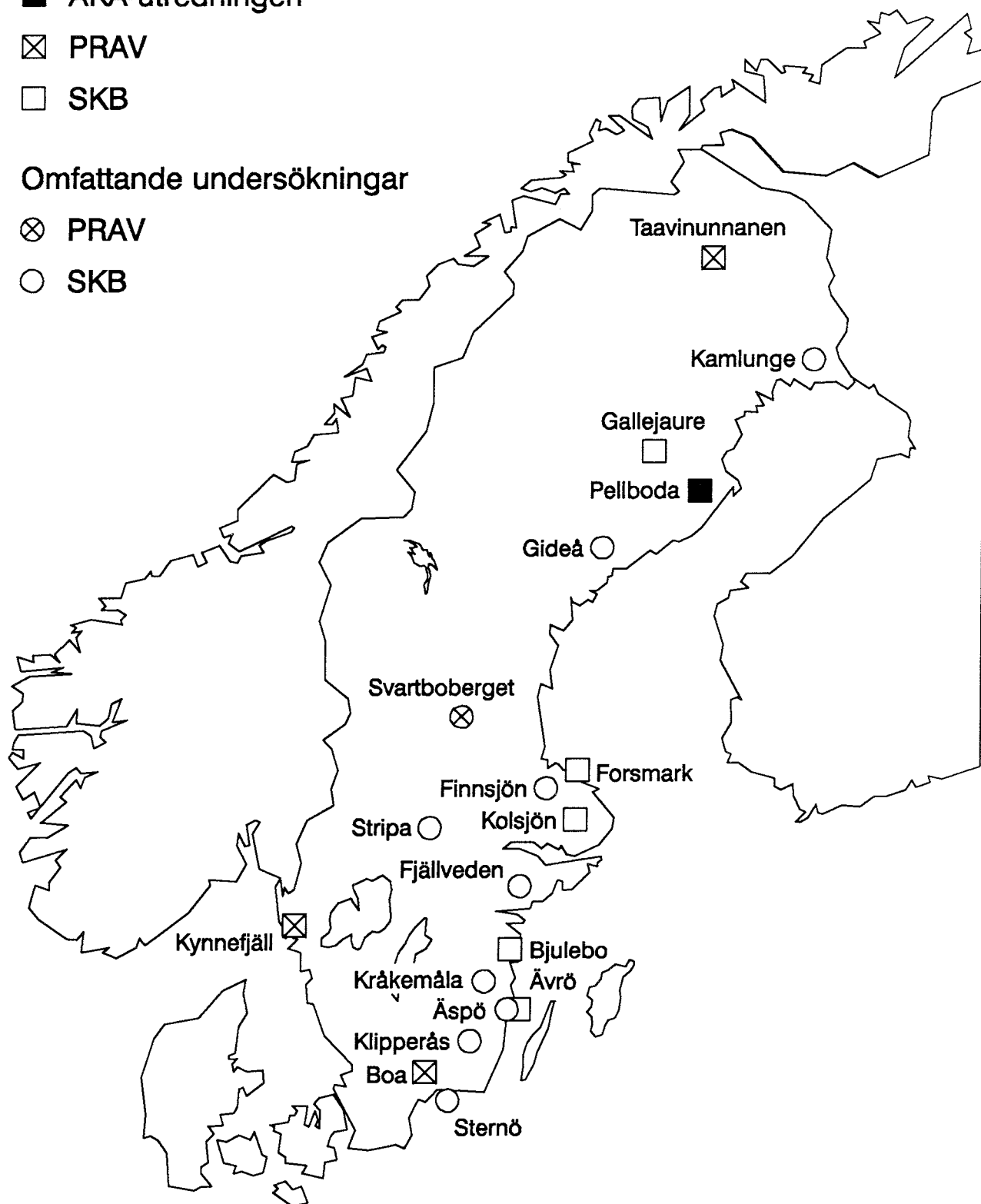
⊗ PRAV

□ SKB

## Omfattande undersökningar

⊗ PRAV

○ SKB



**Figur 9-6.** Platser i Sverige där man inom det svenska avfallsprogrammet bedrivit fältverksamhet för att få kunskap om den svenska berggrundens egenskaper och/eller för att utveckla och prova undersökningsmetoder. Det kommande valet av kandidatorter utgår inte från dessa platser men baseras bl a på den generella kunskap som tagits fram med hjälp av undersökningarna.

## 9.5.2. Lokalisering av SKBs existerande anläggningar

SKB driver för närvarande tre anläggningar inom det existerande systemet för omhändertagande av och forskning om kärnavfall, nämligen CLAB, SFR och Äspölaboratoriet.

De två förstnämnda är kärntekniska anläggningar som lokaliserats och uppförts i enlighet med vid tillfället aktuell lagstiftning, i första hand plan och bygglagen och atomenergilagen. Lokalisering och uppförande av Äspölaboratoriet har prövats enligt naturresurslagen.

Historiken för lokalisering och uppförande av dessa anläggningar redovisas i underlagsrapporten.

Redan i FoU-program 89 klargjordes att själva platsen för Äspölaboratoriet inte kommer att bli aktuell för lokalisering av slutförvaret. Om man emellertid finner lämpliga geologiska förhållanden i närheten så kan detta bli en av de kandidatplatser som detaljundersöks inför den slutliga lokaliseringen av slutförvaret.

De förstudier som gjordes för lokaliseringen av CLAB och SFR fokuserades i ett tidigt skede till de fyra kärnkraftverkslägena och Studsviks kärnforskningsstation. Valet av dessa platser baserades på att man från alla håll ansåg den redan etablerade kärntekniska verksamheten som en avgörande tillgång. Förläggning till Barsebäck eller Ringhals bedömdes inte som lämpligt. Det slutliga valet av lokaliseringsort baserades på plats specifika utredningar av bl a bergtekniska frågor, transporter, fysisk riksplanering, regional planering, sysselsättning och kommunal service.

Tillståndshandlingen, framförallt rörande SFR, har givit såväl SKB som myndigheterna värdefulla erfarenheter. Den berörda kommunen fick i ett tidigt skede lämna ett preliminärt yttrande enligt byggnadslagen. Därefter genomfördes den tekniska granskningen enligt atomenergilagen av kärnkraftinspektionen och enligt strålskyddslagen av strålskyddsinstitutet. Sedan den tekniska granskningen slutförts, återremitterades ärendet till kommunen för slutligt yttrande. Inför detta slutliga yttrande fick således kommunen tillgång till resultatet av den tekniska granskningen. Regeringen beslutade därefter om tillstånd enligt byggnadslagen och atomenergilagen.

Gången i tillståndsärendena beskrivs närmare i underlagsrapporten.

Enligt utredningen om översyn av lagstiftningen på kärnenergiområdet bör tillståndsärenden för djupförvaret kunna handläggas på motsvarande sätt enligt kärntekniklagen, strålskyddslagen och naturresurslagen. Utredningen anser att det handlägningsförfarande som tillämpades för SFR gav utrymme för tillräcklig samordning och att myndigheterna och SKB kan

förväntas tillse att de erfarenheter som vunnits tas till vara.

## 9.6 PLANERAD VERKSAMHET 1993–1998

En översiktlig tidplan för verksamheten under de närmaste sex åren visas i Figur 9-7.

Verksamheten är uppdelad i översiktsstudier, förstudier, förundersökningar, sammanställning av underlag för NRL-ansökan samt, i slutet av perioden, planering och påbörjan av detaljundersökningar. Samma grundläggande frågeställningar om teknik, geovetenskap, samhälle, miljö och säkerhet bearbetas i varje skede men med en gradvis alltmer plats specifik och detaljerad inriktning.

### 9.6.1 Planering och genomförande av geovetenskapliga förundersökningar

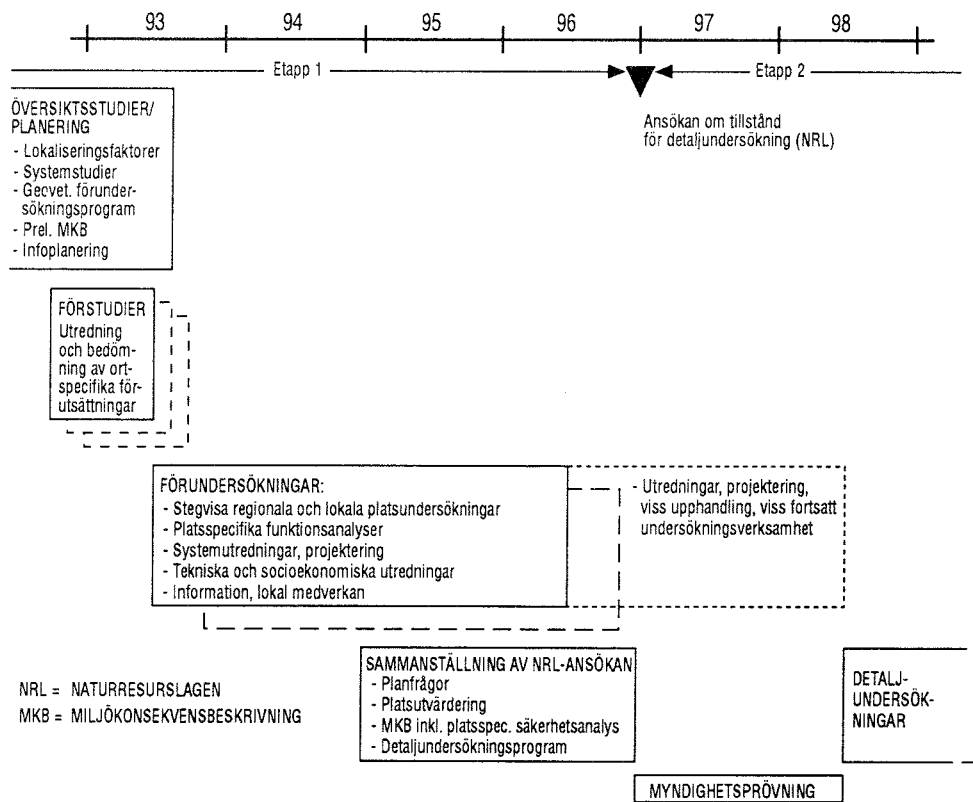
Ett "Program för geovetenskapliga förundersökningar" håller på att utarbetas. Programmet kommer att vara baserat på den samlade kunskap och erfarenhet som finns på SKB, inom säkerhets- och funktionsanalys, hanteringsteknik, bergbyggnad, geovetenskap, platsundersökningar, mätteknik, datahantering, etc.. Det kommer att bygga på förutsättningen att förvaret utformas enligt KBS-3-konceptet och vidare på att förvaringsplatsen är lokaliserad under landområde. Resultat från projekt som SKB 91, Äspölaboratoriet, Stripa-projektet m m kommer att utgöra underlaget för att definiera vilka plats specifika parametrar som skall bestämmas och hur undersökningarna skall genomföras.

Programmet kommer bl a att ha följande innehåll:

- Undersökningsstrategi,
- Tekniskt undersökningsprogram,
- Synopsrapport (beskriver mål och förväntade resultat),
- Datahantering,
- Organisation,
- Administration,
- Arbets- och metodbeskrivningar,
- Kvalitetssäkringsprogram.

Av dessa punkter är det de tre första som handlar om förundersökningarnas innehåll, medan de andra punkterna beskriver olika slags verktyg för att genomföra programmet.

Förundersökningarna kommer att genomföras i steg, vilket dels visat sig vara effektivt för att bygga upp förståelsen av geohydrologiska strukturer och dels underlättar samordningen med säkerhetsanalysen och bygghänsynanalysen samt den tidiga projekteringen. Preliminärt kommer dessa förundersökningssteg att vara:



Figur 9-7. Aktivitets- och tidplan för lokaliseringsarbetet under perioden 1993–98.

- Regional karakterisering.
- Lokaliserande undersökningar.
- Grundläggande undersökningar.
- Kompletterande undersökningar.

### Regional karakterisering

Syftet med den regionala karakteriseringen är att få kunskap om storskaliga geologiska och geohydrologiska förhållanden i den omgivande regionen till den potentiella förvarsplatsen. Undersökningarna skall bli ett underlag för randvillkor till beräkningar rörande grundvattenströmning och nuklidtransport. Den regionala karakteriseringen skall även ge underlag för lokalisering och beskrivning av utströmningsområde(n) för det grundvatten som passerar förbi förvaret samt ge underlag för modellering av dagens och framtidens biosfär.

Den regionala karakteriseringen baseras främst på befintligt dataunderlag, kartor, flygbilder, flyggeofysik, brunnsdata, tidigare utredningsmaterial, etc. Beroende på dataunderlagets omfattning kan det behöva kompletteras. De fältmätningar som förutses är främst geologisk kartering samt flyg- och markgeofysiska mätningar.

### Lokaliserande undersökningar

Dessa undersökningar syftar till att ge en fördjupad bild av de geologiska, hydrologiska och grundvattenkemiska förhållandena på några platser inom det kandidatområdet som har identifierats av de tidigare översiktsstudierna. Dataunderlaget skall, tillsammans med andra icke-geologiska faktorer, utgöra underlag för att gå vidare med en plats per kandidat område.

Fältmätningarna kommer att utgöras av ytundersökningar samt borrhålsundersökningar av begränsad omfattning, företrädesvis 100–200 m djupa hammarborrhål samt eventuellt något djupt kärnborrhål.

### Grundläggande undersökningar

Detta steg syftar till att bygga upp detaljerade geologiska och geohydrologiska modeller för kandidatplatsen. Under detta steg insamlas huvudmängden av basdata, genom markmätningar och borrhålsundersökningar. Borrhålen placeras och riktas så att de viktigaste sprickzonerna påträffas och så att god representativitet av riktningens beroende parametrar såsom sprickriktningar erhålls vid borrhålsundersökningarna. Något eller några av hålen bör nå cirka 1 000 m djup. Mellanhålmätningar kommer att vara en betydelsefull datakälla i detta steg.



Undersökningssteget resulterar i en sk konceptuell modell över bergvolymen på kandidatplatsen med ämnesspecifika beskrivningar av betydelse för säkerhets- och bygghälsbedömningar.

### Kompletterande undersökningar

Detta karakteriseringssteg syftar till att kontrollera och förstärka den konceptuella modellen genom att öka detaljeringsgraden och fylla i luckor där dataunderlaget varit begränsat.

Slutresultatet används till en preliminär analys av den långsiktiga säkerheten samt för bygghälsanalys och projektering. Som tidigare nämnts skall det även finnas underlag för ansökan om tillstånd för detaljundersökningar enligt naturresurslagen (NRL) samt till en preliminär miljökonsekvensbeskrivning (MKB).

### Kvalitetssäkringsprogram

Att kvalitetssäkra en förundersökning av en bergvolym är inte som att kvalitetssäkra en teknisk konstruktion. Det gäller att utarbeta rutiner som är anpassade för denna typ av verksamhet så att kvalitetssäkringen upplevs som en del av projektet.

För att säkerställa kvaliteten i resultat är det väsentligt att metodiken för den använda mätningen, beräkningen, analysen, etc. är dokumenterad. Detta gäller även teknisk dokumentation av instrument. Arbets- och metodbeskrivningar samt teknisk dokumentation kommer att upprättas där sådana inte redan finns. I arbetet med kvalitetssäkring kommer erfarenheterna från Äspölaboratoriet att tas tillvara.

### 9.6.2 Tekniska och socioekonomiska studier

Förutom de rent geovetenskapliga och säkerhetsinriktade undersökningarna av en kandidatplats kan en rad tekniska och samhällsliga aspekter behöva utredas för att klarlägga om en plats är lämplig och för att beskriva den inverkan ett djupförvar kan komma att få på miljön och samhället i bred bemärkelse.

Ett exempel är den samhällspåverkan som blir följden av att ett djupförvar förläggs till en ort. Särskilt om det rör sig om en mindre ort kan det innebära en betydande förändring. Den industrilokalisering det handlar om har ovanligt långsiktig planering. Demonstrationsdeponering kommer, om ej annat beslutas, att följas av utbyggnad till ett fullskaleförvar. Det innebär att verksamheten kommer att pågå i mer än 50 år. Sammantaget kommer detta att resultera i en ökning av såväl ekonomiska som sociala aktiviteter. Det kommer att skapa sysselsättning och leda till viss inflyttning av personal till orten. Detta ger i sin tur indirekta effekter på lokal småindustri och servicenäringarna.

Ovan indikerade tekniska, ekonomiska och sociala aspekter kan utgöra en påverkan för det lokala samhället och för närboende. SKBs avsikt är att, i samverkan

med kommunen och de berörda, så långt möjligt sakligt utreda och klarlägga dessa effekter.

Studier av de frågor som berörts ovan genomförs bäst när kandidatorterna är utsedda och ett samarbete har etablerats med kommunerna. Fram till dess planerar SKB att genomföra studier av mer generell natur kring t ex transportfrågor, sysselsättningseffekter och miljöpåverkan.

### 9.6.3 Miljökonsekvensbeskrivningar och säkerhetsanalyser

Kärnkraftindustrin har traditionellt och allt sedan kärnkraftverken byggdes utvärderat anläggningars säkerhet och eventuella inverkan på miljön och publicerat dessa utvärderingar i speciella rapporter. I Sverige såväl som utomlands har man i samband med byggandet av kärnkraftverk eller andra kärntekniska anläggningar, t ex SKBs slutförvar för radioaktivt driftavfall (SFR) utarbetat sk preliminära och slutliga säkerhetsrapporter.

Begreppet miljökonsekvensbeskrivning (MKB) är relativt nytt i svensk lagstiftning. Bestämmelser om att införa krav på miljökonsekvensbeskrivningar i miljöanknuten lagstiftning infördes under 1991.

Enligt naturresurslagen skall en miljökonsekvensbeskrivning "*möjliggöra en samlad bedömning av en planerad anläggnings, verksamhets eller åtgärds inverkan på miljön, hälsan och hushållningen med naturresurser*".

Av de utredningar, propositioner och lagar som berör miljökonsekvensbeskrivningar framgår den vikt som läggs vid att den miljöpåverkan som orsakas av en industriell anläggning beskrivs på ett sätt som kan förstås av allmänheten. Den får därmed en något annan inriktning än de säkerhetsanalyser som omnämns ovan. En MKB får också en bredare karaktär än en traditionell radiologisk säkerhetsanalys, som därmed snarast kan ses som en del (en viktig del) av underlaget för en MKB.

Det sk nollalternativet, dvs vad det innebär för miljön om anläggningen inte kommer till stånd, skall också redovisas i en MKB.

SKB planerar att i ett tidigt skede av lokaliseringsarbetet utarbeta en preliminär miljökonsekvensbeskrivning. Syftet är att den skall utgöra underlag för diskussionerna med kommun, lokalbefolkning och myndigheter av anläggningens miljöpåverkan. Därigenom kan SKB få värdefulla synpunkter som det finns tid att beakta i arbetet med de formella tillståndsansökningarna. Tabell 9-2 visar och kommenterar de miljökonsekvensbeskrivningar och säkerhetsanalyser som kommer att utarbetas. En närmare diskussion ges i underlagsrapporten och i kapitel 10 om säkerhetsanalyser.

**Tabell 9-2. Plan för miljökonsekvensbeskrivningar och detaljerade säkerhetsanalyser.**

Lokaliseringsprocessen	Miljökonsekvensbeskrivning (MKB)	Detaljerad säkerhetsanalys
<b>Etapp 1.</b> <b>Översiktsstudier,</b> <b>Förstudier,</b> <b>Förundersökningar</b>	Ett preliminärt MKB-dokument utarbetas i ett tidigt skede med översiktlig beskrivning av miljöpåverkan av hela processen (undersökningar, bygge, drift, förslutning, långsiktiga effekter).  En MKB utarbetas som underlag för ansökan om detaljundersökningar (NRL).	Säkerhetsanalysen i SKB-91 kompletteras med närzonsanalys för det valda alternativet, avsnitt 6.5.  Analyser av berggrundsförhållanden görs fortlöpande för varje plats i samband med att förundersökningar genomförs. En platsspecifik analys av den långsiktiga säkerheten genomförs och biläggs NRL-ansökan.
<b>Etapp 2.</b> <b>Detaljundersökningar</b>	En uppdaterad MKB som underlag till ansökan om lokaliseringstillstånd (NRL) och koncession (KTL).	En sk preliminär säkerhetsrapport (PSR) baserad på de omfattande data som tas fram under detaljundersökningarna och vid projekteringen av anläggningarna sammanställs som underlag till ansökan om koncession enligt KTL.
<b>Etapp 3.</b> <b>Bygge</b>	Eventuell uppdatering av befintlig MKB.	En slutlig säkerhetsrapport (SSR) utgör underlag till ansökan om drifttillstånd enligt KTL.

#### 9.6.4 Planering av åtgärder för information och lokal medverkan

Lagen säger att kärnkraftföretagen är skyldiga att vidta samtliga åtgärder som krävs för att ta hand om kärnavfallet på ett säkert sätt. För att kunna bygga de erforderliga anläggningarna måste Svensk Kärnbränslehantering AB, som i praktiken har ansvaret, få samhällets tilltro för de metoder vetenskapvärlden utvecklar. Det är därför viktigt att sprida kunskap som ger medborgarna möjlighet att sätta det radioaktiva avfallet i ett rimligt perspektiv, som varken uppförstorar eller bagatelliserar vad det är fråga om. Öppen och saklig information är en förutsättning för de berättigade kraven på insyn och för den demokratiska beslutsprocessen.

Den allmänna målsättningen med SKBs information är att bredda och fördjupa kunskapen i samhället om:

- Det radioaktiva avfallet; hur mycket det finns i dag, hur mycket det blir totalt samt på vilket sätt det kan vara farligt.
- Det system som SKB byggt upp och som redan i dag tar hand om allt radioaktivt avfall. (Transport-system, SFR, CLAB.)

- Omfattning och inriktning på det arbete på framtida djupförvar som SKB med flera bedriver, de bakomliggande etiska principerna och den omfattande kunskap som nu finns om möjligheterna att isolera avfallet.

Runt SKBs anläggningar SFR och CLAB får de närboende information av lokal karaktär. Detta sker i samarbete med de kärnkraftverk som SKBs befintliga anläggningar lokaliseras i anslutning till.

När verksamhet påbörjas på en ort kommer SKB att ge lokalt anpassad information. Lokal information innehåller, förutom de mer övergripande fakta som presenteras i den rikstäckande informationen, också detaljerade beskrivningar av hur en anläggning kan komma att se ut och fungera på orten.

Informationen kommer bl a att beskriva hur ovanjordsdelen kan utformas liksom hur man skulle kunna ordna behovet av infrastruktur, kommunikationer, arbetskraft m m. Stegen i de vetenskapliga undersökningarna på platsen, SKBs förslag till samrådsprocess och den juridiska tillståndsprocessen kommer också att beskrivas. Informationen skall svara på de frågor man kan ha som närboende till en dylik anläggning.

Formerna för informationsverksamheten kan till exempel vara via lokala informationskontor, lokala nyhetsbrev till hushållen, studiecirklar, seminarier och föredrag i skolor och på arbetsplatser, organiserade studiebesök på själva undersökningsplatsen och på SKBs befintliga anläggningar. Informationsverksamheten skall också återföra information till SKB om vilka frågor, synpunkter och funderingar som lokalt upplevs som viktiga.

För att förstärka lokal information och lokalt inflytande bör man tidigt inrätta ett lokalt organ sammansatt på liknande sätt som de lokala säkerhetsnämnder som,

enligt förslaget i utredningen om ändringar i kärntekniklagen, blir aktuella från och med detaljundersökningsskedet. (Lokal säkerhetsnämnd utses av regeringen på upp till tre år i taget. Högst tio ledamöter föreslås av kommunen där anläggningen är belägen, högst tre föreslås av närliggande kommuner som på något sätt är berörda.) SKB kommer att verka för att ett sådant organ får möjligheter att sätta sig in i de frågor som blir aktuella under lokaliseringsprocessens gång. Organet kan också svara för sammanställning av fakta och information till allmänhet, myndigheter och institutioner på det lokala planet.

# 10 SÄKERHETSANALYSER

## 10.1 ALLMÄNT

Den kärntekniska verksamheten måste genomföras på ett acceptabelt sätt med hänsyn till säkerhet och strålskydd. I olika skeden av utvecklingen av ett djupförvar granskas planernas och förslagets genomförbarhet, deras tekniska och ekonomiska effektivitet samt den radiologiska säkerhet de kan erbjuda. Dessa granskningar utgör underlag för styrning av verksamheten.

Bedömning av säkerhet görs med hjälp av funktionsanalyser och säkerhetsanalyser. Funktionsanalyserna utgör studier av delsystem och deras kemiska eller fysikaliska växelverkan i sin miljö. Yttre och inre miljöförhållanden under vilka funktionen eller säkerheten skall utvärderas klarläggs i scenarioanalyser. Scenarioanalyser och funktionsanalyser utgör delar av den totala säkerhetsanalysen.

En integrerad säkerhetsanalys är ett viktigt verktyg för att klarlägga den sammanvägda säkerhetseffekten av de olika barriärernas funktion. Resultatet gör det möjligt att utvärdera behovet av ytterligare insatser, t ex vad gäller förvarets utformning, barriärernas utförande eller ytterligare forskning för att förstärka dataunderlaget eller förbättra beräkningsmodellerna. Säkerhetsanalyser ger en del av underlaget för SKBs beslut och val för att genomföra verksamheten, för myndigheternas bedömning av framstegen i SKBs FoU-arbete och för myndigheternas beslut vid tillståndsgivning.

SKBs FUD-program befinner sig idag i ett skede där de generella studierna av genomförbarhet och säkerhet har avslutats. Granskningen av olika alternativ för förvaringen har resulterat i att arbetet i fortsättningen inriktas på ett utbrett förvar med ett tunnelsystem på ca 500 m djup där det använda bränslet placeras i korrosionsbeständiga kapslar. Förvarets geometriska form kan anpassas till lokala förhållanden.

Analysmetoderna har utvecklats så att de kan ge underlag till utvärdering av förlägningsplatser och till hur förvaret bör förläggas och utformas för att effektivt utnyttja platsens naturliga förmåga att skydda avfallet. Den nyligen genomförda säkerhetsanalysen SKB 91 har visat att de egenskaper som med hänsyn till långsiktig säkerhet måste föreligga i berget på en kandidatplats inte väsentligt avviker från de som normalt finns på många ställen i urberget.

## 10.2 MÅL

Analysen av förvarets olika funktioner och därur erhållna säkerhetsbedömningar utgör ett underlag för de beslut som erfordras för att uppfylla SKBs allmänna

tidplan. Detta ger en tidplan för när olika typer av vidareutveckling och lokal anpassning av analysmetodik och beräkningsmodeller måste vara genomförda.

Målet för insatser inom området för funktions- och säkerhetsanalyser

- under förundersökningsskedet av kandidatplatser, dvs under perioden 1993–1996, är
  - att successivt genomföra analyser och utvärderingar av förhållanden av vikt för byggbarhet och platsens funktion som skyddsbarriär som underlag för fortsatt platskaraktärisering och inplacering av förvaret,
  - att under 1996 genomföra säkerhetsanalyser för platsanpassade slutförvarsanläggningar på två kandidatplatser, till en kvalitet som erfordras inför tillståndsansökan enligt NRL för de detaljerade geologiska platsundersökningarna;
  - att under perioden successivt utvärdera behoven av ev ytterligare metodutveckling inför kommande funktions- och säkerhetsbedömningar enligt SKBs övergripande tidplaner, och att påbörja denna metodutveckling.
- vid projekteringen av inkapslingsstationen, och vid lokalisering och projektering av djupförvaret för demonstrationsdeponering, dvs fram till ca 1998, är
  - att i anslutning till systemstudierna genomföra en första säkerhetsgranskning av inkapslingsprocessen;
  - att fram till 1997 utvidga och komplettera denna till en detaljningsnivå erforderlig för ansökan om koncession enligt KTL för inkapslingsstationen,
  - att till 1996, med anpassning till studierna för inkapslingsstation och förundersökningarna på kandidatplatserna, genomföra en säkerhetsanalys av transporter, hantering och deponering av det använda kärnbränslet och övrigt avfall (inkl ev erforderlig återtagning och efterföljande lagring).

Efter den närmaste 6-årsperioden skall säkerhetsrapporter för djupförvaret utgöra underlag för planerade ansökningar om lokalisering och koncession ca år 2003 och tillstånd för drift av inkapslingsstation och djupförvar ca 2008.

Projektering av förvaret för övrigt långlivat avfall kommer att påbörjas efter att demonstrationsdeponering inletts dvs först efter år 2010.

## 10.3 UTVECKLINGSLÄGE OCH INSATSBEHOV

### 10.3.1 Operativ säkerhet

För analyserna utnyttjas metoder som utvecklats vid säkerhetsanalyser i processindustri och kärntekniska anläggningar.

För radioaktivt avfall måste verksamhetens säkerhet visas både för ett aktivt hanteringsskede, operativ säkerhet, omfattande t ex behandling, lagring, transport och deponering av avfallet, och för ett passivt förvarsskede efter det att slutförvaret har blivit förslutet, långsiktig säkerhet.

Metoder och rutiner för säkerhetsanalys av system i aktiv drift har utvecklats, och vidareutvecklas fortlöpande, inom kärnkraftindustrin. De bedöms vara tillräckligt utvecklade och testade för den redovisning som krävs för tillståndsprövning av all den hantering av radioaktivt avfall som erfordras enligt SKBs systemutformning. De har tidigare tillämpats vid licensiering av transportsystemet, CLAB och SFR.

Ett tekniskt erfarenhetsunderlag för huvuddelen av den hantering och de åtgärder som vidtas i inkapslingsstationen, vid transporten och vid demonstrationsdeponeringen i djupförvaret föreligger från redan säkerhetsgranskade kärntekniska anläggningar. Ett antal operationer är dock oprövade och utvecklingsinsatser har planerats som stöd för design och projektering av dessa. Insatserna berör:

- Elektronstrålesvetsning av kapselns kopparhölje.
- Val av material för ev efterfyllning av kapseln.
- Tillverkningskontroll och icke förstörande provning.
- Tillredning av deponeringspositioner, inplacering av kapslar samt kontroll av utförandet.
- Återfyllning av tunnlar.

Inriktning och omfattning av dessa arbeten beskrivs i anslutning till inkapslingsstationen (kapitel 8) och djupförvaret (kapitel 9).

Analysen av den operativa säkerheten i djupförvaret skall även omfatta den hantering som erfordras för ett ev. återtagande och mellanlagring av det avfall som deponeras under demonstrationsfasen.

Kopplingen mellan den operativa säkerheten och den långsiktiga säkerheten utgörs av erhållen kvalitet för de tekniska barriärerna eller sannolikhet och omfattning av eventuellt icke upptäckta tillverkningsfel.

### 10.3.2 Långsiktig säkerhet

#### Allmänt

Metoder för genomförande av långsiktiga säkerhetsanalyser för radioaktivt avfall har utvecklats under närmare två decennier och tillämpats i ett flertal stora

sammanfattande rapporter. Metodutvecklingen har anpassats till behoven i de nationella och internationella programmen för hantering av avfall från kärnenergi-produktionen.

Analysmetoderna har tillämpats och vidare utvecklats i ett antal större integrerade säkerhetsanalyser i Sverige och andra länder. Bland dem från senare år kan nämnas, KBS-3 /10-2/, Projekt 90 /10-3/ och SKB 91 /10-1/ i Sverige samt Project Gewähr i Schweiz /10-4/ för förvar i kristallin berggrund, PAGIS-projektet inom EG omfattande salt, lera, skiffer och granit, samt säkerhetsrapporten för WIPP-anläggningen i salt /10-5/ respektive för en tänkt anläggning i tuff i Yucca Mountain i USA /10-6/. Dessutom har en internationell studie gjorts av möjligheterna att slutförvara högaktivt radioaktivt avfall i djuphavssediment /10-7/. För närvarande pågår sammanställningen av säkerhetsanalysen för ett kanadensisk slutförvar för använt bränsle, samt uppdateringar av tidigare analyser för använt kärnbränsle i Finland och upparbetat avfall i Schweiz.

Under 1990 granskade OECD/NEAs "Radioactive Waste Management Committee" och IAEAs "International Radioactive Waste Management Advisory Committee" metoderna för analys av säkerheten hos system för slutförvaring av radioaktivt avfall och erfarenheten från att använda dessa på skilda förvarstyper och i skilda geologiska miljöer.

Kommittéerna konstaterade /10-8/ att

- säkerhetsanalysmetoder finns idag tillgängliga för att utvärdera potentiell radiologisk långtidspåverkan på människor och miljö från ett omsorgsfullt konstruerat förvarssystem för radioaktivt avfall, och att
- en lämplig användning av säkerhetsanalysmetoderna kan, tillsammans med tillräcklig information från en föreslagen lokaliseringsplats, ge ett tekniskt underlag för bedömningen om förvarssystemet erbjuder en, för nuvarande och framtida generationer, tillräcklig säkerhet.

Inom SKB har analysmetodiken utnyttjats för säkerhetsanalysen i SKB 91 /10-1/. Jämfört med tidigare svenska analyser har kapselns funktion och radionuklidens transport i sprickzoner fått en förbättrad beskrivning. Hänsyn har vidare tagits till förvarets utbredning på förläggningsplatsen och till den osäkerhet som ges av rumslig variabilitet i bergets egenskaper.

Säkerhetsanalysen SKB 91 visar, att ett förvar anlagt djupt ner i urberg och med långtidsstabla tekniska barriärer med god marginal uppfyller av myndigheterna föreslagna krav på säkerhet. Säkerheten för ett sådant förvar är endast i ringa utsträckning beroende av det omgivande bergets förmåga att fördröja och sorbera utläckande radioaktiva ämnen. En tillräcklig funktion hos berget är att under lång tid ge stabila mekaniska och kemiska förhållanden så att de tekniska barriärernas långtidsfunktion inte äventyras.

De säkerhetsmässiga krav som måste ställas på en plats där ett slutförvar skall byggas är således begränsade och torde vara mer än väl uppfyllda på de flesta platser som SKB undersökt i Sverige. Analyserna visar att den potential till extra säkerhet som torde finnas i fjärrområdet kan påverkas av ett antal faktorer. Exempel på sådana är förekomst och läge av flacka strukturer och deras vattenföring.

SKB 91 utgör ett exempel på hur funktions- och säkerhetsanalyser kan användas för att belysa betydelsen av olika geologiska strukturer i ett tilltänkt förvarsområde och för att klargöra faktorer som är väsentliga ur säkerhetssynpunkt. Metodiken kan, vid en lokalisering utnyttjas för att anpassa förvaret så att bergets förmåga att bidra till förvarets säkerhet utnyttjas på bästa sätt.

I samband med SKB 91 provades ett praktiskt system för kvalitetssäkring för att organisera data och modeller för analysen. Tonvikten lades därvid på dokumentation av indata och på spårbarheten. Provet gav värdefulla erfarenheter inför kommande analyser.

SKI och SSI har sedan slutet av 80-talet, tillsammans med andra nordiska kärnsäkerhetsmyndigheter, arbetat med att ta fram ett gemensamt dokument rörande principer och acceptanskriterier för slutförvaring av högaktivt radioaktivt avfall. I SKB 91 har dessa nordiska förslag utnyttjats för att anknyta analysernas resultat till acceptanskriterier. SKB förutsätter att detta arbete fortsätter.

## Scenarier

Framtida förändringar i förvarssystemets yttre och inre miljö kan komma att påverka den långsiktiga säkerheten. För att på ett systematiskt sätt analysera tänkbara förändringar har en metodik utvecklats där förvarssystemets grundläggande egenskaper, framtida "plötsliga" händelser samt i systemet pågående processer [Features, Events och Processes, (FEP's)] kartläggs /10-9/. Knytningar och länkar mellan olika processer och händelser dokumenteras såväl i text som grafiskt. Från denna översikt av tänkbara förändringar görs en bedömning av vilka scenarier som är av betydelse för att belysa systemets säkerhet. Konsekvenserna av beräknas med numeriska modeller.

En viktig fråga vid scenarioanalys för ett slutförvar är hur det skall kunna visas att inga för förvarets säkerhet väsentliga fenomen eller miljöförutsättningar har blivit förbisedda. För att erhålla bästa möjliga fullständighet vid analysen måste en kontinuerlig uppdatering genomföras av underlagsmaterialet till valet av scenarier. Bred internationell samverkan inom området scenarioanalys kommer att vara av stort värde för att fånga upp nya synsätt och tankegångar, för att kunna etablera en samsyn om vilka scenarier som är relevanta och för att utvärdera den metodik som använts vid framtagningen av dessa.

## Analysmodeller

I SKB 91 har en serie beräkningsmodeller utnyttjats för att kvantifiera förvarets funktion efter dess försegling. Dessa beräkningsmodeller och andra finns tillgängliga för kommande analyser, men kan, beroende på närområdets utformning och platsens egenskaper, behöva modifieras eller bytas ut. De tillgängliga modellerna är, ofta med endast mindre anpassningar, möjliga att utnyttja till alla förvar med i rummet utbredd deponering av bränsle i långtidsbeständiga kapslar.

Det finns redan idag modeller och databaser som på ett godtagbart sätt kan beräkna radionuklidinventariet.

I och med att en kapsel och förvarsutformning har valts kommer en anpassning av modelleringen av dessa delar att göras i takt med att metoderna för tillverkning och kontroll av de tekniska barriärerna att detaljeras. Bränslestudierna kommer succesivt att förstärka underlaget till beräkningen av bränsleupplösningen.

Viss vidareutveckling av modeller för grundvattenrörelser förutses för att effektivt kunna utnyttja de olika typer av indata som i olika skeden förväntas bli tillgänglig från kandidatplatserna, t ex interferenstester, sprickartering i tunnelväggar etc.

Vidareutvecklingen av modeller för transport av radionuklider i berggrunden kommer att fullföljas med framtagning och testning av modeller baserade på kanalnätverks- och "diskret sprick"-koncepten.

Under lokaliseringsfasen bedöms det inte nödvändigt att frångå den förenkling som en i tiden konstant biosfärmodell enligt SKB 91 innebär. Möjligen med undantag av en tidsbunden förändring av havsnivån. En lokal anpassning av modelleringen av radionuklidernas spridning och tillgänglighet i biosfären kommer dock att göras.

Erfarenheter från SKB 91 kommer att utnyttjas för att ytterligare förenkla data och modellhantering i samband med säkerhetsanalyser.

## 10.4 PROGRAM FÖR PERIODEN 1993–1998

Målen under perioden 1993–1998 innebär i praktiken följande:

- Kompletterande funktionsstudier görs av närzonen (ev även fjärrzonen) barriärer med hänsyn till
  - den prioriterade närzonsutformningen, och
  - den successiva detaljering av tillverknings-, deponerings- och kontrollmetoder som fås vid projekteringen av inkapslingsanläggningen.
- Vidareutvecklingen av analysmodeller och analysmetodik planeras så att följande studier knutna till geologiska förundersökningar, se avsnitt 9.6, kan genomföras på en första kandidatplats:

- En översiktlig regional hydrogeologisk modellering som stöd för den regionala karakteriseringen av förvarsområdet.
- Modellering, inom ramen för det lokalisering undersökningsskedet av bl a strömbanor för grundvatten som underlag för inplacering av ett tänkt förvar på kandidatplatsen.
- Under förundersökningens skeden för grundläggande och kompletterande undersökningar genomförs fortlöpande utvärdering av kandidatplatsens hydrogeologiska förhållanden med hjälp av analysmodellerna.
- En säkerhetsanalys för ett tänkt förvar på kandidatplatsen tas fram som delunderlag för utvärderingen av kandidatplatsen.
- En parallell insats med samma modelleringsverktyg genomförs för en andra kandidatplats med ca ett halvt års förskjutning.
- Bearbetning av ovanstående underlag till en funktions- och säkerhetsanalys under 1996 som utgör underlag för ansökan om tillstånd för detaljerade geologiska undersökningar på en av platserna. Säkerhetsanalysen utgör också en del av underlaget till den uppdatering som till samma tidpunkt skall göras av miljökonsekvensbeskrivningen.
- Säkerhetsutvärdering och sammanställning av säkerhetsrapporter för inkapsling, transport och deponering av avfallet görs i anslutning till projekteringen av inkapslingsstationen och djupförvaret. De tekniska barriärernas kvalitet och konsekvenserna av ev missöden utgör kopplingar till analysen av den långsiktiga radiologiska säkerheten.
- Den vidareutveckling av modeller och analysmetoder inför detaljundersökningsskedet som görs på basis av erfarenheterna från Åspölaboratoriet och förundersökningsskedet planläggs så att de kan vara avslutade under 1998.
- Fortsatt uppföljning och medverkan i den internationella utvecklingen inom området.

# 11 STÖDJANDE FORSKNING OCH UTVECKLING – SAMMANFATTNING

## 11.1 ALLMÄNT

SKB har i detta FUD-program valt en utformning av kapsel och för ett djupförvar som kommer att prioriteras i den fortsatta verksamheten. SKB redovisar vidare en plan för lokalisering av förvaret och en modell för stegvis drifttagande av förvaret via en tidig utbyggnad av en mindre del av förvaret som demonstrationsanläggning.

För att genomföra den lokalisering av djupförvaret för demonstrationsdeponering som beskrivs i kapitel 9 och de säkerhetsanalyser som redovisas i kapitel 10 krävs viss stödjande forskning och utveckling. Ett detaljerat program för denna redovisas i Underlagsrapporten, Detaljerat FoU-program 1993–1998, med utförliga referenser. I detta kapitel redovisas en sammanfattning av dessa FoU-planer utan referenser. Beträffande metodutveckling för säkerhetsanalysen hänvisas dock till kapitel 10 och beträffande Äspölaboratoriet till kapitel 12.

Den stödjande forskning och utveckling som planeras syftar till att

- vidareutveckla kunskapsbas och förmåga att modellera processer som är viktiga för förvarets funktion för att bättre kunna kvantifiera kvarstående osäkerheter och därav föranledda säkerhetsmarginaler,
- ge underlag för detaljerad dimensionering av de i förvaret och inkapslingsstationen ingående systemdelarna,
- ge underlag för att anpassa hanteringsteknik och tillverkningsförfarande till aktuella förhållanden under jord och i strålmiljö,
- följa upp den internationella utvecklingen inom relevanta vetenskaps- och teknikområden.

Insatserna planeras så att en tillräcklig kontinuitet erhålles i arbetet och att en uppdatering av kunskapsbas och analysmetoder görs i god tid före större utvärderingar av funktion eller säkerhet. För den närmaste 10-årsperioden innebär detta att sammanställningar skall vara framme

- till den säkerhetsrapport som skall bifogas ansökan enl NRL för detaljerade platsundersökningar,
- inför ansökan om byggtillstånd för inkapslingsanläggning enl KTL,
- ca 2001 inför lokaliseringsansökan och ansökan om koncession för den del av djupförvaret som skall användas för demonstrationsdeponering.

Metodval, dimensionering och teknikutveckling noteras i detta kapitel men behandlas främst i anslutning till projekteringen av inkapslingsstation och djupförvar.

## 11.2 EGENSKAPER HOS ANVÄNT BRÄNSLE

### 11.2.1 Kunskapsläge och utvecklingsbehov

Avfallsformen använt bränsle är en given förutsättning i samtliga de alternativ som studeras. Studier av använt bränsles stabilitet och beständighet i grundvatten är därför en viktig del av FUD-programmet. Syftet med de experimentella undersökningarna som pågått sedan 1982 är att klarlägga mekanismerna bakom frigörelsen av radionuklider från bränslet under mildt oxiderande och, framförallt, under reducerande förhållanden. Denna kunskap skall sedan användas för att modellera bränsle under förvarsförhållanden i såväl det långa som det korta tidsperspektivet.

### Aktinider

Resultaten från de senaste tio årens experimentella program visar att uran under oxiderande förhållanden snabbt når en koncentration på ca  $1 \cdot 10^{-5}$  M i karbonathaltigt grundvatten. Motsvarande plutoniumkoncentrationer ligger på ca  $1 \cdot 10^{-9}$  M. Dessa värden indikerar löslighetskontroll för både uran och plutonium med separata löslighetsbegränsande uran och plutoniumfaser. I avjonat vatten är uranhalten mycket låg och ofta under den analytiska detektionsgränsen, dvs koncentrationer under  $10^{-7}$  M. Uppställningen för dessa är mycket enkel, som framgår av Figur 11-1. För plutonium är förhållandet annorlunda. Koncentrationerna stiger till något över  $10^{-8}$  M, dvs mer tio gånger den plutoniummängd som finns i det upplösta uranet. Under oxiderande förhållanden är alltså inte utlakningen av radionuklider begränsad av uranlösligheten.

Också under anaeroba förhållanden uppmäts samma låga urankoncentrationer som i avjonat vatten, dvs under  $10^{-7}$  M. Inget plutonium kan emellertid detekteras i dessa lösningar. Det är ännu inte helt klarlagt om detta beror på att plutoniumupplösningen är begränsad av uranupplösningen, eller om eventuellt upplöst plutonium sorberats eller fällts ut på lakkärlets väggar. Förbättrade analysmöjligheter för plutonium och framförallt för neptunium och uran kan ge ytterligare infor-





*Figur 11-1. Försöksupställning för lakning av använt bränsle under oxiderande förhållanden.*

mation om mekanismerna bakom bränslekorrosionen under såväl oxiderande som anaeroba förhållanden.

### **Fissionsprodukter**

Fissionsprodukternas beteende kan illustreras med cesium, strontium och teknetium, som var för sig uppvisar olika mönster. Cesium utskiljs under reaktorbestrålningen till en viss andel, typiskt ca 1%, till korngränser och till gapet mellan bränsle och zirkaloyhölje. Detta cesium kommer att vara lättillgängligt för lakning när urandioxiden kommer i kontakt med vatten.

Även i lakexperimenten kan man observera en mycket snabb initial frigörelse av cesium. Efter denna puls avtar under oxiderande förhållanden frigörelsehastigheten snabbt med tiden och har efter ca 1000 dagar sjunkit till  $10^{-6}$  av inventariet per dag. Nuvarande data antyder att utlakningshastigheten stabiliseras på denna nivå.

Strontium anses vara en fissionsprodukt, som ligger i fast lösning i urandioxiden och därför skulle frigöras genom matrisupplösning. När bränslet kommer i kontakt med vatten frigörs strontium till en början med konstant hastighet, men efter ungefär 14 dagar börjar även här frigörelsehastigheten att sjunka. Efter 1000 dagar har den nått ned till  $10^{-7}$  av inventariet per dag. Olikt cesium visar strontiumlakningen ännu ingen tendens att stabiliseras.

Lakningen av cesium och strontium påverkas mycket litet av redoxförhållandena under experimentet. För cesium, som anrikas till korngränser och sprickor i bränslet, är det inte helt oväntat att oxidationen och upplösningen av  $UO_2$ -matrisen inte nämnvärt påverkar utlakningen av cesium. För strontium, däremot, är denna observation svårare att förklara. Antingen finns det även här en andel som anrikats till sådana zoner i bränslet att det kan lösas upp utan att  $UO_2$ -matrisen nämnvärt påverkats. Eller kan strontiumfrigörelsen vara en indikator på en pågående oxidation av bränslematrisen med åtföljande utlakning av icke löslighetsbegränsade element. Under reducerande och anaeroba förhållanden skulle då strontiumlakningen representera påverkan av radiolytiskt producerade oxidanter. Ytterligare insatser krävs för att klarlägga de processer som styr lakningen av cesium respektive strontium.

Teknetium visar upp ett beteende som skiljer sig både från strontiums och cesiums. Under oxiderande förhållanden är utlakningshastigheten konstant och oberoende av kontakttiden med en spridning mellan  $10^{-5}$  och  $10^{-6} d^{-1}$ . Efter längre kontakttider är detta en högre andel än för såväl cesium som strontium och tyder på att mekanismerna för teknetiumlakning inte är desamma som för dessa två element. Det är känt att

teknium bildar separata faser i bränslet tillsammans med molybden, rutenium, rodium och palladium. Teknetiumlakningen kontrolleras troligen enbart av oxidation av dessa inklusioner. Under reducerande förhållanden är teknetiumhalten drastiskt lägre och koncentrationen är jämförbar med lösligheten för  $TcO_2$ .

### Modellutveckling

I SKB 91 användes en modell för bränslekorrosion som förutsatte oxidativ upplösning orsakad av radiolytiskt producerade oxidanter genom alfa-radiolys av vatten. Som en mycket konservativ övre gräns för oxidationshastigheten, och därmed frigörelsen av radionuklider, användes strontiumfrigörelsen under oxiderande förhållanden. Med dessa förutsättningar befanns tiden för fullständig omvandling av bränslet vara flera miljoner år.

Det är dock inte klart belagt att strontiumlakningen verkligen är ett bra mått på bränsleoxidationen. Om strontium segregerar i bränslet, kan oxidationen vara betydligt lägre än vad som antagits. Det är heller inte klarlagt vilken effekt radiolytiskt producerade oxidanter har på  $UO_2$ -matrisen. Den kan vara betydligt lägre än vad som antagits i SKB 91. Vissa data tyder på att den är så låg att en modell för oxidativ upplösning inte är tillämplig.

### Naturliga analogier

En modell måste vara baserad på en tillfredställande insikt i de mekanismer och processer som styr bränsleupplösningen. Sådan kunskap kan fås genom experimentella undersökningar. Studier av omvandlingsprocesser i naturliga uraninitförekomster kompletterar experimenten och ger möjligheter att kvalitativt beskriva utvecklingen av vittringsprodukterna under långa tidsperioder och att relatera detta till den geokemiska miljön.

### 11.2.2 Mål för perioden 1993–1998

Dagens förståelse och dataunderlag kan utnyttjas för att bestämma en övre gräns för radionuklidernas frigörelse ur använt kärnbränsle. Bränslestudierna fortsätter med målen

- att successivt vidareutveckla modellerna inför säkerhetsanalysen 1996,
- att ta fram en realistisk modell för radionuklidernas frigörelse ur bränslet till slutet av 1990-talet inför ansökan om koncession för djupförvaret för demonstrationsdeponering.

### 11.2.3 Framtida insatser

De närmaste åren kommer tyngdpunkten för bränslestudierna att ligga på:

- Studiet av korrosion av högaktivt bränsle vid olika redoxförhållanden, temperaturer och kemiska miljöer, kombinerat med undersökningar av bränslets mikrostruktur och fissionsproduktfördelning före och efter exponering för vatten.
- Klarlägga inverkan av radiolys på redoxförhållandena vid bränsleytan och inverkan av radiolysen på bränslekorrosionen.
- Ökad användning av naturliga analogier för att förstå långtidsprocesserna vid bränslekorrosion, dvs bildningen av vittringsprodukter på uraninit vid mildt oxiderande och reducerande förhållanden. Som ett led i detta skall också termodynamiska data tas fram för uraninitens potentiella vittringsprodukter under förvarsrelevanta förhållanden.
- Intensifierat arbete på modellering av bränsleupplösningen under förvarsrelevanta förhållanden.

Studierna av använt bränsle genomförs i nära kontakt med andra länder, främst USA och Kanada. Inom modellutvecklingen och inom radiolysstudierna sker ett direkt samarbete mellan SKB och AECL Kanada i form av gemensamma projekt.

## 11.3 KAPSEL OCH KAPSELMATERIAL

### 11.3.1 Allmänt

Sedan 1976 har ett flertal olika kapselmateriäl studerats, såväl keramiska som metalliska. Flera av dessa har visat sig ha mycket god korrosionsbeständighet, som t.ex. koppar,  $Al_2O_3$ , glaskeramik och titan. För de keramiska materialen identifierades tidigt fördröjt brott som en möjlig och svår förutsägbar brottmekanism. Fördröjt brott orsakas av långsam spricktillväxt från initiala defekter.

Flera försök att uppskatta hastigheten för spricktillväxt i en keramikkapsel har gjorts, framför allt i Sverige och Schweiz. Provade  $Al_2O_3$  material visade sig ha uppskattade livslängder som skiljer sig med åtskilliga storleksordningar. Differenserna beror sannolikt på skillnader i kornstorlek, föroreningar, sintringsprocedurer osv. Mätningarna utfördes på små provbitar, men det är väl känt att kroppar med större volym och yta har kortare livslängd. För att kunna bedöma livslängden för en fullstor kapsel måste dessutom fördelningen av spänningarna i kapselväggarna vara känd, vilket förutsätter fullskaleförsök. Mot bakgrund av de mycket stora osäkerheterna i erhållna experimentella resultat förefaller det vanskligt att med säkerhet fastställa en minsta livslängd för en keramikkapsel.

Även för titan finns risker för fördröjt brott genom väteförspredning, men även spaltkorrosion är möjlig i kloridhaltiga vatten. Titan utgör huvudalternativet i Kanada, där man lagt ned stor möda på att kartlägga riskerna för fördröjt brott. Sannolikheten har visats vara mycket låg, även om den inte kan försummas helt.

Jämfört med koppar tycks dock inte titan kunna erbjuda några klara fördelar som kapselmaterial i Sverige.

Koppar är ett material, som ger kapseln en mycket lång livslängd ur korrosionssynpunkt samtidigt som det har tillfredställande mekaniska egenskaper. Huvudalternativet till kapsel för slutförvaring av använt kärnbränsle är en kompositkapsel bestående av ett yttre korrosionsskydd av koppar och en inre stålbehållare, som ger mekanisk stabilitet åt kapseln. Ett alternativ utförande är en blyfylld kopparkapsel. Båda dessa kapslar har samma korrosionsbeständighet och alltså samma förväntade livslängd, men den blyfyllda kapseln kan ha något försteg om kopparhöljet penetrerats genom den extra barriär som blyfyllningen utgör. Detta är av underordnad betydelse med tanke på kopparkapselns långa livstid, men kan ha viss betydelse vid tidig kapselskada. Vid en sammanvägning av denna fördel med blyhanteringens nackdelar vid inkapslingen framstår dock kompositkapseln som ett bättre alternativ.

### 11.3.2 Kunskapsläge och utvecklingsbehov

#### Materialegenskaper

Materialets krypegenskaper är av stor betydelse för slutligt val av kopparkvalitet. Ren syrefri koppar har visat sig ha nedsatt krypduktilitet vid förhöjda temperaturer. Motsvarande fenomen har inte observerats för mikrolegerad syrefri koppar. För båda kapselalternativen enligt ovan är frågan om krypdeformation och krypbrott väsentlig och kommer att kräva ytterligare insatser.

#### Korrosion – koppar, stål

Korrosionsegenskaperna för koppar är relativt väl utredda och kommer endast att kräva mindre insatser under de närmaste åren. Vissa frågor kring lokal korrosion på kopparkapseln under mildt oxiderande förhållanden kan komma att behöva utredas ytterligare, men eftersom oxiderande förhållanden förväntas råda i förvaret under endast en kort tid efter deponering och förslutning kommer dessa insatser inte att prioriteras högt. Utöver dessa insatser kommer förutsättningarna för spänningsskorrosion på koppar att kräva ytterligare belysning.

Det finns även en viss risk för korrosion på stålkap-selns insida. Med den begränsade mängd korrodanter, som kan tänkas bli inneslutna i kapseln, utgör detta inget problem om risken för spänningsskorrosion kan försummas. Species som kan framkalla spänningsskorrosion skulle dock kunna bildas genom radiolys av fuktig luft inuti kapseln. I en atmosfär av ädelgas eliminerar denna risk.

Konsekvenserna av korrosion på de inre ståldetaljerna efter genombrott av det yttre kopparhöljet är ännu ofullständigt utrett. Det gäller i första hand tryckuppbyggnad orsakad av tillväxten av korrosionsprodukter och konsekvenserna av vätgasproduk-

tion i förvaret. Dessutom måste riskerna för radiolytiskt inducerad spänningsskorrosion på stålkap-selns insida ytterligare utredas.

#### Alternativa material – bly

Som nämndes inledningsvis är en blyfylld kopparkapsel ett alternativ till kompositkapseln. Ur korrosionssynpunkt är denna kapsel givetvis likvärdig med kompositkapseln fram till genombrott på kopparhöljet.

Kvarstående osäkerheter rör i första hand tillverkningstekniken. De viktigaste frågorna rör dels tekniken kring blyfyllningen av en fullstor kapsel och styrningen av stelningsförloppet för blyet. Detta kommer att studeras dels genom att modellera blygjutningen och dels genom praktiska försök, till att börja med i modellskala.

Utöver detta måste också problemen kring förslutning med elektronstrålesvetsningen utredas. Detta gäller främst temperaturförhållandena kring svetszonen och den övre delen av blyfyllningen, där det finns risk för omsmältning av blyet.

### 11.3.3 Mål för perioden 1993–1998 och framåt

Koppar har valts som yttre korrosionsskyddande material i kapslarna kring det använda kärnbränslet. Målet för de vidare studierna av kapselmaterial är

- att till 1996 välja kopparkvalitet med hänsyn till krypegenskaper,
- att vidareutveckla kunskaper och dataunderlag för korrosion på koppar och stål.

### 11.3.4 Framtida insatser

Insatserna kommer att inriktas på att

- fullfölja studierna rörande
  - förutsättningarna för spänningsskorrosion på koppar,
  - korrosion och radiolytiskt inducerad spänningsskorrosion på stålkap-selns insida,
  - blygjutning i modellskala,
  - lokal korrosion i syremiljö.
- till 1996 välja lämplig kopparkvalitet med avseende på krypdeformation och krypbrott samt svetsbarhet;
- att stödja utveckling av tillverkningsteknik, svets-teknik och metoder för icke förstörande provning enl kapitel 8.

## 11.4 BUFFERT OCH ÅTERFYLLNAD

### 11.4.1 Allmänt

Kapseln omges av en lerbuffert, som framför allt skall begränsa grundvattentransporten i kapselns absoluta närhet. Härigenom begränsas tillförseln av de små mängder korroderingar som kan finnas i grundvattnet och även transporten av nuklider som eventuellt går i lösning. Bufferten skall dessutom skapa en lämplig mekanisk och kemisk miljö runt kapseln. Huvudkandidat är bentonitlera med beteckningen MX-80 (Wyoming-bentonit). Andra kvaliteter har också undersökts och befunnits ha liknande, goda egenskaper.

### 11.4.2 Teknikbeskrivning och kunskapsläge

Under själva deponeringen medför vattenupptag i bentonit ett störningsmoment. Ett lågt tillflöde av vatten tillåter avbrott i deponeringsprocessen och ger frihet att vidta åtgärder vid oväntade händelser. Detta kan åstadkommas genom lämplig inplacering av deponeringspositionerna och genom ev injektering och avtätning. Tätningstekniker, utvecklade och prövade inom bl a Stripaprojektet, kan utnyttjas.

Förslutning av tillträdesorter och deponeringstunnlar planeras ske genom återfyllning av hela utrymmet med en blandning av bentonit och sand. Referensmaterialen är MX-80 och kvartssand i förhållandena 10/90 (undre delen) och 20/80 (övre delen). Metoder har utvecklats och provats inom Buffer Mass Test i Stripaprojektet. Ytterligare prover planeras för packning av den övre delen av orten.

Bentonitens egenskaper är av avgörande betydelse för buffertens funktion. Buffertmaterialet kring kapslarna kommer att placeras in i form av kompakterade block. Studier av detta material har hittills varit inriktat på bentonitens

- degraderingsprocesser,
- fysikaliska egenskaper,
- hydrauliska transportegenskaper samt
- samverkan mellan buffert/återfyllning och berg.

Olika modeller har utarbetats och deras tillförlitlighet provats genom försök. Vissa såväl grundläggande som modelleringsfrågor återstår på programmet.

Tillsatser till bentonit har provats för att förbättra bentonitleran som diffusionsbarriär. Värdet av sådana tillsatser har befunnits tvivelaktigt.

### 11.4.3 Mål för 1993–1998

Målet under perioden är att under år 1995 redovisa

- en sammanfattande bild av olika bentonitbuffer-tars väsentligaste egenskaper,

- de metoder som skall användas för att bestämma dessa egenskaper samt
- modeller för beräkning av degraderingsprocesser, inverkan av andra ämnen (cement, salt grundvattnen etc.), homogenisering efter vattenmättnad och mekaniskt skydd vid olika rörelser i berggrunden.

Till ca år 2000 skall dessutom tekniken för tillverkning av kompakterade bentonitblock, deponeringstekniken och pluggningstekniken färdigutvecklas för användning vid demonstrationsdeponering.

### 11.4.4 Framtida insatser

Under 1993–1994 fullföljs en med NAGRA gemensam studie av cements inverkan på bentonitlera. Det är framför allt den kemiska degraderingen av bentoniten som är av intresse.

Under 1995–1998 kompletteras kunskapen beträffande:

- Transportprocesser. Jontransporter och därmed orsakade förändringar beskrivs med hjälp av en utvecklad generell mikrostrukturell modell.
- Mekaniska processer. Beräkningar görs med hjälp av finita elementprogrammet ABAQUS. Mognadsprocessen i kompakterad bentonit återstår att modellera.

Vidare kommer projekteringen av djupförvaret att stödjas genom

- studier av tillverkningsteknik och lämplig blockstorlek för den högkompakterade bentoniten kring kapslarna,
- studier av injektering av bentonit eller cement i fina sprickor för att begränsa vatteninflöde under bygg- och deponeringsskede,
- vissa teknikstudier av återfyllning av orter och schakt med sand/bentonitblandningar speciell för återfyllning i orternas takregioner.

## 11.5 GEOVETENSKAP

### 11.5.1 Allmänt

Geologiskt sett ligger Sverige inom den Baltiska urbergsskölden, vilken domineras av mycket gamla kristallina bergarter. Graniter och gnejser dominerar och dessa bergarter är vanligen äldre än 900 miljoner år.

Berggrunden har ett antal centrala egenskaper som utnyttjas för förvarets funktion och säkerhet. Dessa är:

- Mekaniskt skydd.
- Kemiskt stabil miljö.
- Långsam och stabil grundvattenomsättning.

Egenskaperna kan vara mer eller mindre kopplade till varandra genom fysikaliska eller kemiska processer.

SKBs geovetenskapliga FUD-verksamhet skall tillgodose behovet av kunskap och data för anläggningstekniska frågeställningar, för förvarets och barriärernas funktion och för de långsiktiga säkerhetsbedömningarna. Programmet omfattar kunskapsuppbyggnad inom geologi, geofysik, bergmekanik och geohydrologi. I programmet ingår även metod- och instrumentutveckling samt vidareutveckling och prov av numeriska beräkningsmodeller.

Det arbete som genomförts sedan 1970-talet med inriktning på slutförvaring av använt kärnbränsle djupt ner i berggrunden har visat att det finns goda naturvetenskapliga och tekniska förutsättningar på många håll att genomföra en sådan förvaring. Under perioden 1993–1998 kommer det geovetenskapliga arbetet huvudsakligen att omfatta fortsatt kunskapsuppbyggnad för tillämpningar inom programmet för lokalisering av demonstrationsförvaret. Vidare skall slutsatserna från säkerhetsanalysen SKB 91 följas upp.

För lokaliseringen finns skäl att ytterligare systematisera de geovetenskapliga kriterier som är väsentliga. Baserat på erfarenheter från tidigare typområdesundersökningar, från Stripa och från Äspö skall program (inklusive metodval) för för- och detaljundersökningar tas fram. Bygghänsynen vid en vald plats för förvaret skall kunna bedömas med god tillförlitlighet.

När det gäller geologiskt underlagsmaterial till säkerhetsanalyser förutses under kommande forskningsperiod en vidareutveckling av konceptuella modeller och deras anpassning till de numeriska beräkningsverktygen. Skalningsproblem och volymrepresentativitet av olika egenskaper i berggrunden kommer att utgöra centrala frågeställningar i modellarbetet. Likaså är det väsentligt att se förvarets funktion och långsiktiga säkerhet i sitt regionala hydrologiska sammanhang. Ytterligare en aspekt som behöver utredas är vilken metodik som skall tillämpas för att bedöma sprickors och sprickzoners rörelsebenägenhet runt ett förvar.

## 11.5.2 Kunskapsläge

I det nedanstående ges översiktlig beskrivning för verksamheterna som gäller

- grundvattenrörelser,
- bergets stabilitet,
- beräkningsmodeller, samt
- metod- och instrumentutveckling.

### Grundvattenrörelser – konceptuell modellering

Inom ramen för den allmänna geovetenskapliga verksamheten behandlas huvudsakligen de regionala flödes- och transportvillkoren. Platsspecifika frågeställningar behandlas vid Äspölaboratoriet, se kapitel 12. Nuklidtransport och redoxrelaterade flödesproblem beskrivs och kommenteras i avsnitt 11.6.

Såväl teoretiska som experimentella studier har under det senaste decenniet bidragit till att öka förstå-

elsen för den heterogena flödesprocessen i bergets sprickor. I takt med datorernas utveckling har geostatistiken, med bearbetning av stora datamängder, utvecklats. För den närmaste framtiden kan man förutspå en strävan att öka det platsspecifikt deterministiska inslaget i beräkningsarbetet där så är möjligt.

### Berggrundens stabilitet

Platsspecifika bergmekaniska frågeställningar vid en förvaringsanläggning behandlas främst vid Äspölaboratoriet, se kapitel 12. Inom SKBs övriga allmänna geovetenskapliga verksamhet ingår mer grundläggande hållfasthetstekniska aktiviteter och tektoniska bedömningar.

Under årsmiljonernas påverkan av den Baltiska urbergsskölden är det med stor sannolikhet så att vårt lands kristallina berggrund har blivit utsatt för spänningar i alla riktningar. Plattekonik, sedimenttäckan och successiva glaciationer har belastat urberget i dess spröda tillstånd så att i den mån nya rörelser uppträder sker de enbart i befintliga förkastningsstrukturer eller sprickor. För ett djupförvars funktion är det enbart den relativa rörelsen mellan separata bergblock vid en sådan reaktivering som är intressant. I ett 100 000-års perspektiv förväntas relativa rörelser mellan bergblock på 500 m nivå med mycket små förskjutningsbelopp. En studie i sydöstra Sverige visar att under 450 miljoner år enbart en liten del (10 %) av sprickorna rört sig och då med ett maximalt förskjutningsbelopp av 5 cm.

I norra Sverige uppträder neotektoniska strukturer med större rörelsebelopp, typ Lansjärvsförkastningen. Orsaken till dessa relativt sentida rörelser är troligen en kombination av snabb deglaciation och kompression från den närliggande mittatlantiska ryggen. Det finns indikationer på postglaciala jordskalv. Lansjärvsområdets rörelser har tolkats som successiva reaktiveringar i befintliga sprickor och förkastningar. Det är osäkert över hur lång tidsperiod som reaktiveringen pågått.

SKB och Teollisuus Oy (TVO) i Finland har under 1990–1991 gemensamt inventerat det internationella kunskapsläget beträffande istidens uppträdande. Utifrån ett framtaget istidsscenario finns det nu möjligheter att genomföra översiktliga regionala modellberäkningar med bergmekanisk och grundvattenhydraulisk inriktning.

Olika metoder för åldersdateringar av de senaste rörelserna i sprickzoner har utvecklats under 1980-talet. Man kan förutse en ökad användning av dessa metoder i framtiden.

### Geohydrologiska och bergmekaniska beräkningsmodeller

Inom SKB pågår fortlöpande vidareutveckling av analytiska och numeriska beräkningsmodeller för grundvattnets uppträdande i kristallin berggrund samt för de

bergmekaniska förhållandena. Vid Äspölaboratoriet görs mer platsspecifik modellutveckling och inom ramen för SKBs verksamhet för säkerhetsanalyser sammankopplas modeller för de olika barriärerna. Under det senaste decenniet har användningen av stokastisk modellering ökat när det gäller grundvattenhydraulik. Nuvarande modeller tar mycket litet hänsyn till indatas volymsrepresentativitet. Man förväntar att resultat från mer storskaliga pumpförsök, s k interferenstester, får större betydelse för modellstruktureringen i framtiden. Idag kopplas interferenstesternas resultat till diskreta vattenförande zoner, men det finns skäl att pröva hur dessa pumpresultat kan inordnas i stokastiska modellsimuleringar.

Det finns intresse av att simulera hur framtida glaciationsperioder påverkar den regionala strömningssituationen vid ett förvarsområde. Specifika problem för denna modellering är randvillkor i form av t ex grundvattenbildning och havsnivåer. Vidare påverkas konduktivitetssfältet av islaster, frysningsfenomen och höjda porvattentryck.

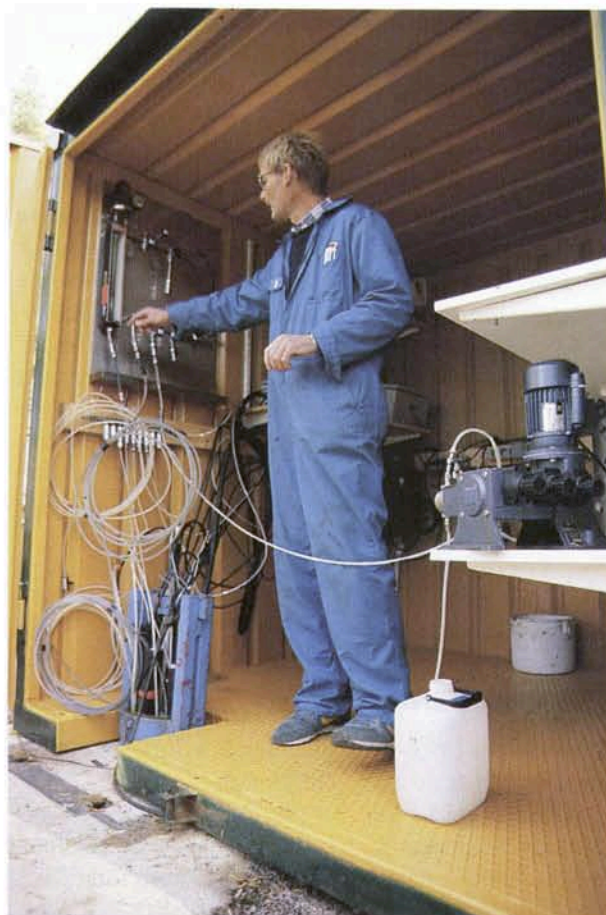
Bergmekanisk modellering har vanligtvis en deterministisk ansats. Förenklade reologiska antaganden ingår och liten eller ingen hänsyn tas till rumslig variabilitet i bergets egenskaper. Dessutom berörs sällan egenskapernas skalberoende i beräkningar för exempelvis tunnlar eller berggrum. Modellerna används emellertid även vid tektoniska problem och i detaljskala.

Ett avfallsförvars inverkan på bergmassan under utbyggnad och drift innebär att termiska, hydrologiska och mekaniska processer äger rum. Dessa processer påverkar varandra ömsesidigt i mer eller mindre utsträckning. SKB har under senare år medverkat i utvecklingen av s k kopplade modeller som tar hänsyn till dessa integrerade processer.

## Metoder och instrument

Alltsedan 1977 har SKB aktivt utvecklat mätmetoder och instrument för fältundersökningar. Nuvarande kunskapsläge inom området baseras på långvariga erfarenheter från undersökningar på typområden och inom Äspöprojektet.

I SKBs FoU-program 89 gjordes en relativt detaljerad genomgång av undersökningstekniken. Tillämpningen av förundersökningsmetoder använda i Äspöprojektet har beskrivits i samlad form i en teknisk rapport. Borrteknik och borrhålsdesign har utvecklats av SKB så att kontaminering av grundvatten minimeras och ny hydrogeologisk mätteknik kan användas. Exempel är olika typer av kontrollerade provpumpningar i samband med flödesloggning för att fastställa vattenförande nivåer och interferenstester för att bestämma geometrisk utbredning av vattenförande sprickzoner. Spår-försök har använts för att bestämma grundvattenflöde och transportvägar, se Figur 11-2.



*Figur 11-2. Olika typer av spår-försök genomförs i eller mellan borrhål ner till 1 000 m djup. Bilden visar injicering av spårämne i ett sådant försök.*

Borrhålsradar har vidareutvecklats och försetts med riktantenner så att man nu från ett hål kan bestämma sprickzoners utbredning.

Horisontella eller subhorisontella sprickzoner har stor betydelse för grundvattnets omsättning kring ett djupförvar. Det är därför väsentligt att tidigt kunna detektera och lokalisera dessa zoner. Mättekniken inom detta område har fortfarande begränsningar varför de potentiellt lämpliga metoderna reflektionsseismik och Vertical Seismic Profiling (VSP) bör studeras vidare.

### 11.5.3 Mål för perioden 1993–1998

SKBs geovetenskapliga FUD-verksamhet syftar till att tillgodose behovet av kunskap och data för långsiktiga säkerhetsbedömningar, lokalisering, förvarets funktion och för anläggningstekniska frågeställningar till en nivå och med den takt som erfordras för SKBs lokalisering av ett demonstrationsförvar.

Det huvudsakliga målet med insatserna är

- att inför lokaliseringen vidareutveckla kunskaper om hydrogeologiska och bergmekaniska förhål-

landen för att bättre kvantifiera osäkerheter och marginaler i bergets förmåga att isolera avfallet.

Viktiga delmål är därvid

- att vidareutveckla modeller för beräkning av grundvatten i sprickigt berg, för vattenflöden vid glaciation och deglaciation, för kopplade fenomen som temperatur, bergspänningar och hydraulisk konduktivitet samt för bergmekanik i en takt som anpassas till modellbehovet vid analyser av kandidatplatsernas funktion och långsiktiga säkerhet.
- att tillse att lämpliga mätmetoder och utrustningar finns tillgänglig för högkvalitativ insamling av sådana mätdata som erfordras för att karakterisera den eller de bergvolymerna som kommer att undersökas inför anläggandet av SKBs djupförvar för använt kärnbränsle.

## 11.5.4 Framtida insatser

### Grundvattenrörelser

För perioden 1993–1998 planeras bl a följande aktiviteter för studiet av grundvattenrörelser.

Metoder för att kunna beskriva enskilda sprickors geometri och deras hydrauliska egenskaper vidareutvecklas. Detta arbete sker genom laborieförsök och som komplement till de insatser som sker vid Äspö. Likaså vidareutvecklas tolkningsmetoder för analys och bestämning av hydrauliska egenskaper i fält. Därvid ägnas speciellt intresse åt skalproblem och volymsrepresentativitet vid pumptester.

Det konceptuella underlaget vid numerisk modellering utreds med inriktning på t ex flödesmönstrets beroende av sprickmineraliseringar, bergspänningar och tidigare permafrostdjup. Vidare utreds riskerna för kortvariga tryckförändringar i grundvattenmagasinet på förvarsnivå pga jordbävningar.

De hydrogeologiska förutsättningarna, randvillkoren, för grundvattenflöde och transport vid ett djupförvar i ett regionalt perspektiv utreds även fortsättningsvis. Därvid beaktas dagens klimatsituation liksom förhållanden under förväntade framtida glaciationer och deglaciationer.

### Berggrundens stabilitet

Inom området berggrundens stabilitet planeras bl a följande insatser.

Under kommande forskningsperiod görs en sammanställning av de huvudsakliga lastriktningar som påverkat den Baltiska urbergsskölden under dess historiskt sett sprödkonstruktionsskede. I regionala perspektiv utreds gångbergarters riktningar, tidigare sedimentindikationer, erosionsspår, sprickmineraliseringar etc. Vidare skall de recenta platttektoniska processerna och glaciationerna ge underlagsmaterial till en sådan sammanställning. Hypotesen är att Baltiska skölden med stor sannolikhet blivit utsatt för alla tänkbara spän-

ningsriktningar, vilket i sin tur skulle innebära att nya sprickor ej bildas i den övre delen av krustan under nuvarande tektoniska regim.

Ett flertal sentida studier belyser de relativt omvärlden mycket stabila seismiska förhållanden som råder i Sverige. Det finns likväl ett behov att sammanställa olika nordiska studier till ett gemensamt dokument, där riskerna för jordskalv diskuteras och värderas. För denna sammanställning planeras ett samarbete mellan TVO och SKB (jfr det gemensamma istidsscenario).

En fortsatt kunskapsuppbyggnad planeras för de olika metoder som används för åldersbestämningar av senaste rörelser i sprickzoner. Förutom olika isotoptekniker kommer ESR (elektronspin-teknik) och paleomagnetiska metoder att tillämpas. De lämpligaste metoderna används sedan vid detaljundersökningar inom lokaliseringsprogrammet.

### Geohydrologiska och bergmekaniska beräkningsmodeller

När det gäller matematiska modeller planeras bl a följande.

En utredning genomförs om hur volymsrepresentativiteten och dimensionaliteten för hydrauliska data skall kunna inordnas i en modellstruktur. Vid en plats-specifik stokastisk grundvattenmodellering med s k indikatorsimulering skall man även kunna integrera och ta hänsyn till allmän geologisk och geofysisk information i konduktivitetsfördelningen.

En regional flödesmodell utvecklas för förhållanden vid glaciation och deglaciation. Modellen bygger på det scenario om framtida klimatförhållanden som arbetats fram vid SKB.

Vissa insatser i regionalt perspektiv ägnas konvektionsmodeller i sprickigt berg.

SKB fortsätter sitt engagemang i vidareutvecklingen av kopplade hydro-termo-mekaniska modeller. Delvis sker detta inom ramen för det s k DECOVALEX-programmet som initierats av SKI.

Mättekniken inom bergmekanik utvecklas starkt för närvarande. Man kan därför vänta sig ett mer omfattande och bättre dataunderlag vid framtida bergmekaniska modelleringar. SKB avser att följa utvecklingen av det mer stokastiska synsätt som växer fram vid sidan av de sensitivitetsanalyser inom deterministisk modellering som används idag.

### Metoder och instrument

För metod och instrumentutveckling kommer följande huvudsakliga områden att bearbetas:

- Studier och ev utprovning av reflektionsseismik och VSP kommer att göras för att underlätta identifikation och karakterisering av horisontella strukturer.

- Vidareutveckling av bildprocesseringen vid borrhåls-TV för att effektivisera analysen av sprickorienteringar i borrhål.
- Utvärdering av mätmetoder och instrument för förundersökningar, på basis av erfarenheter från Äspölaboratoriet.
- Vidareutveckling av metodik för dokumentation och detaljundersökningar under jord.
- Fullföljande av pågående utveckling av en särskild kemisk sond, CHEMLAB, för in-situ migrationsförsök i borrhål.

## 11.6 KEMI/RADIONUKLID-MIGRATION

### 11.6.1 Allmänt

Den kemiska miljön bestäms i hög utsträckning av grundvattnets kemiska beskaffenhet. Denna å sin sida påverkas av reaktioner mellan grundvattnet och berggrunden.

Rådande kemiska förhållandena påverkar:

- hållbarheten hos kapslar och övriga tekniska barriärer,
- bränslets upplösningshastighet,
- transporten av upplösta radionuklider.

Skulle radionuklider i avfallet lösas upp av inträngande grundvatten så är det i stor utsträckning radionuklidernas kemiska egenskaper som avgör om de kommer att transporteras med vattnet eller om de kommer att fastna i berget och avklinga.

Kvarhållningen av radionukliderna sker genom utfällning, sorption och diffusion. För att fastställa betydelsen av radionuklidmigrationen måste sådana processer modelleras kvantitativt.

Kvarhållningen av radionuklider i berg och återfyllnadsmaterial kan förhindras av att starka komplexbildare reagerar med radionukliderna och försämrar deras sorptionsegenskaper. Retentionsprocesserna kan även kortslutas genom att radionukliderna fastnar på rörliga kolloidala partiklar i grundvattnet. Även mikrober kan i princip fungera på det här sättet. Mikrober kan också åstadkomma geokemiska förändringar.

### 11.6.2 Nuvarande kunskapsläge

#### Grundvattenkemi

I de ytliga partierna av berget är grundvattnet sött, medan det på djupet är salt. Vid kustnära platser ligger gränsen mellan salt och sött vatten nära markytan. Det salta vattnet kan ha marint ursprung, men en mycket lång uppehållstid kan också göra vattnet salt. Vattnet får då tid att lösa ut salt ur berget. Det söta vattnet har meteoriskt ursprung. Inom ramen för Äspö-projektet har det salta vattnet historia studerats ingående.

Kunskapen om grundvattnets kemiska beskaffenhet har ökat avsevärt de senaste 10 åren. I början av 1980-talet fanns ingen kännedom om fördelningen mellan salt och sött vatten i berggrunden. Sporadiskt uppträdde salt vatten vars ursprung var obekant.

Kvaliteten på utförda analyser ökade markant i och med att ett mobilt fältlaboratorium för kemisk analys konstruerades och togs i bruk 1984. Analysenheten kombinerades med en borrhålsutrustning för mätning av de känsligaste parametrarna, pH och Eh, nere i den avtätade provtagningssektionen. I efterhand kompletterades utrustningen i borrhålet med en gasprovtagare. Resultaten som erhöles med det mobila fältlabbet var på väsentliga punkter annorlunda än de tidigare. Halterna av tvåvärt järn visade sig vara lika höga som totalhalten, dvs inget trevärt järn förekommer i det djupa grundvattnet. Att så är fallet stämmer överens med de uppmätta Eh värdena.

Ändrad spolvattenmärkning underlättade analysen av spolvatteninblandning. Resultaten av analyserna visade att den störning som borrhningen förorsakade var långt större än man trott. Detta föranledde modifiering av borrhningstekniken och rensumpning.

Alla ovan beskrivna förbättringar ledde till en bättre tolkning av resultaten. Då störningar kunde undanröjas var det möjligt att utvärdera vattnets uppehållstid i berget, baserat på kemisk sammansättning och isotopdata. Dessa tolkningar visar att det inte finns någon enhetlig uppehållstid utan att vattnet blandas kontinuerligt och att både mycket gammalt och mycket ungt vatten alltid finns närvarande men i olika proportioner.

Redoxförhållandena har en stor betydelse för förvarets säkerhet. Under rådande reducerande förhållanden är kopparkapseln termodynamiskt stabil. Eh-mätningar och bestämningar av redoxkinetik och redoxkapacitet har utförts i syfte att förstå och bekräfta redoxförhållandena i ett djupförvar.

Eh-mätningarna som gjordes inför KBS-3 visade på syrefria och oftast svagt reducerande förhållanden, som antogs styrda av bergets mineral. Fortsatta mätningar med förbättrad mätteknik visar att järnsystemet i samtliga fall bestämmer Eh-värdet. Järnhalterna i sin tur bestäms av bergets mineral.

Redoxbuffertkapaciteten är av lika stor betydelse som själva Eh-värdet. I KBS-3 antogs att denna utgjordes av mängden tvåvärda järnmineral i berget, 1-10% av vikten. Emellertid var det oklart i vilken mån denna buffert var tillgänglig för att reducera oxiderade radionuklider. Därför gjordes i KBS-3 en beräkning där de friggjorda nukliderna tilläts vandra i oxiderad form upp till biosfären. Senare mätningar visar att den tillgängliga buffertkapaciteten är mindre än den totala mängden järn(II)mineral i berget, men mycket större än den som finns på mineralytorna i sprickväggarna. Den är fullt tillräcklig för att reducera radionuklider.

#### Sprickmineralkemi

Växelverkan mellan bergets mineral och grundvattnet påverkar vattnets kemiska sammansättning. Mineralo-



gin avslöjar de kemiska förhållanden som föregått dagens. I detta arbete utnyttjas även isotopdata. En del element används också som analogier till radionuklider i avfallet, t ex naturligt förekommande strontium i sprickmineral och grundvatten som analogi till radioaktivt strontium. På det sättet kan man se hur en frigjord radionuklid skulle uppträda i en bergspricka.

I KBS-3 antogs att ett samband mellan mineral och sprickfyllnaden och grundvattnets beskaffenhet förelåg, även om inga säkra processer kunde bekräftas. Fortsatta arbeten har lett till en mer nyanserad bild, som visar att de flesta mineralfaser bildats vid förhållanden som inte råder idag, oftast hydrotermala. Kunskapen om vilka mineral som växelverkar med dagens grundvatten har gjort det möjligt att utnyttja dessa fåtal mineralfaser för jämviktsmodelleringar. Jämviktsmodelleringarna syftar till att befästa stabiliteten i den observerade kemiska sammansättningen hos grundvattnet.

## Radionuklidkemi

Radionuklidernas kemiska form och egenskaper bestäms av miljön i djupförvaret. Uran, torium, neptunium, plutonium, americium, curium, protaktinium, radium, teknetium, nickel, niob och tenn är de ämnen med komplicerad kemi som är betydelsefulla ur säkerhetsynpunkt. Speciering, löslighet, medfällning och kinetik är väsentliga egenskaper. SKB använder numera datorkoden EQ3NR för jämviktsberäkningar med radionuklider.

Den termodynamiska databas som används är i huvudsak den som hör till EQ3NR, men med egna förbättringar. Genom mätningar i egen regi och i internationellt samarbete har dataunderlaget förbättrats för bl a uran, plutonium och teknetium. Mätningarna omfattar nu inte enbart komplex med karbonat och hydroxid, även fosfat har prövats. Reduktionskinetiken för uran och teknetium har också undersökts. Exempelvis är det nu visat att perteknetat reduceras i den geokemiska miljön i berget, vilket man inte var säker på i KBS-3. Det finns ett bättre underlag för medfällning men det är ännu inte tillräckligt bra för att användas som barriäregenskap i en säkerhetsanalys.

De radiolysförsök som gjorts efter KBS-3 bekräftade i stort sett de antaganden som gjordes där.

Organiska komplex, kolloider och mikrober kan tänkas binda radionuklider och transportera dem med grundvattenflödet utan retardation. Sedan början av 1980-talet har kunskapsläget på det här området väsentligt förbättrats. Halterna och arten av kolloider och huminämnen i grundvattnet har undersökts på ett stort antal platser såväl inom som utom Sverige. Laboratorieförsök med radionuklider och kolloider har genomförts och huminämnenas komplex med metalljoner har studerats. Man har visat att radionuklider tas upp av kolloider och bakterier i grundvattnet, men att dessa processer inte är av säkerhetsmässig betydelse för radionuklidmigrationen.

Det är först efter KBS-3 som man har visat att mikrober finns i djupa grundvatten. Det rör sig om bl a sulfatreducerande bakterier och metanbakterier. Bakterierna uppträder i vattnet och på mineralytor i vattenförande sprickor och kan ha betydelse för de geokemiska förhållandena. Kemiska förändringar orsakade av bakterier kan t ex påverka kapselkorrosion och bränsleupplösning. Därför prioriteras de här undersökningarna.

Sorption och diffusion är processer som i likhet med löslighet och utfällning påverkar nuklidernas migration. Framför allt utreds sorptions och diffusionsprocesser i berget, men även i de material, t ex. betong och bentonit som används för konstruktion och återfyllnad. Efter KBS-3 har ett stort antal diffusionsexperiment med radionuklider och bentonit avslutats och utvärderats. Bättre värden har erhållits för långsamt migrerande radionuklider t ex plutonium. Dessa har använts i nya säkerhetsanalyser och ger bättre barriärverkan för bufferten.

Tillsatser till bentonit för att förbättra bentonitleran som diffusionsbarriär har prövats. Värdet av dessa tillsatser har befunnits tvivelaktigt.

Betong är ett viktigt konstruktionsmaterial som dessutom är avfallsform för låg- och medelaktivt avfall. Betongen och dess egenskaper behöver undersökas mer med specifik inriktning på långlivat avfall som hårdkomponenter etc.

Experimentella undersökningar har inletts av de grundläggande mekanismerna för sorption av radionuklider på mineralytor. I första hand prövas ytkomplexeringsmodellen. Sorption på mineralytor i berg, bentonit och betong är en viktig barriäregenskap. Experiment med komplexbildare visar att sorptionen är en tämligen robust egenskap. Starka komplexbildare har större säkerhetsmässig betydelse för t ex löslighet än för sorption. Dvs en komplexbildare kan öka lösligheten kraftigt utan att förändra sorptionsegenskaperna i motsvarande mån.

## Validering av processerna i transportmodeller och radionuklidmigration

Radionuklidernas förflyttning i geosfären beror av grundvattenrörelserna i berget och nuklidernas benägenhet att vandra med grundvattnet. Dessa två företeelser är helt skilda från varandra, men bidrar båda till nuklidmigrationen.

Nuklidernas benägenhet att följa grundvattenflödet är helt avgörande, grundvattenflödets hastighet påverkar endast de nuklider som fastnar svagt i berget. Med vattentrogna spårämnen kan transporttider bestämmas för validering av modeller för grundvattenströmning. Sådana spårförsök har utförts på flera olika platser och utvärderas inom ramen för internationella projekt.

Försök med diffusion av spårämnen i Stripa pågick under flera år och visade på ett sammanhängande por-system av mikrosprickor etc. som är tillgängligt för indiffusion av upplösta radionuklider. Denna meka-

nism, matrisdiffusion, är en väsentlig retentionsmekanism för vattentrogna radionuklider.

Försök i Stripa och i Finnsjön indikerar att vattenflödet är begränsat till ett antal flödesvägar i berget. Snabba flödesvägar, "kanaler" kan medföra att radionuklider når långt innan de hunnit avklinga. Kanalbildning begränsar också den kontaktyta, "vätta ytan", som upplösta radionuklider har med berget. Det påverkar omfattningen av såväl sorption som indiffusion i mikroporsystemet. I senare analyser, t ex SKB 91, användes ett lågt värde på den vätta ytan.

Spårförsök med teknetium i Finnsjön bekräftar att reduktion med åtföljande hög sorption inträffar.

Tekniken att undersöka hydrauliskt genomsläppliga zoner i berget med spårförsök har förbättrats. Ett stort antal icke sorberande spårämnen i form av färgämnen och kortlivade radionuklider har prövats med framgång. Med spårförsök kan man bl a se att den subhorizontella zonen i Finnsjön, zon 2, är sammanhängande.

### Naturliga analogier

Säkerhetsanalysen skall vara giltig för hundratusentals år. Det går inte att utföra försök i den tidsskalan, inte ens k accelererade försök. Långsamma processer, med betydelse för den långsiktiga säkerheten skulle i sämsta fall kunna undgå observation. Ett sätt att kringgå denna svårighet är att förlita sig på fysikaliska lagar, t ex termodynamiska begränsningar. Ett annat sätt är att göra observationer av naturliga fenomen där förhållandena är likartade och tiden för skeendet jämförbar.

Det senare benämns "studier av naturliga analogier till djupförvaring av radioaktivt avfall" och omfattar såväl undersökningar av arkeologiska fynd som geologiska bildningar. Enligt en definition av IAEA hänför man till naturliga analogier, "experiment i naturen som inte är kontrollerade av människan". Hänvisning till naturliga analogier har gjorts i samtliga av SKBs säkerhetsredovisningar.

Sedan mitten av 80-talet har SKB varit engagerad i ett antal internationella projekt för studier av naturliga analogier i form av mineralförekomster. Större insatser har gjorts i Poços de Caldas, Cigar Lake och Oklo. Figur 11-3 visar en av de blottlagda naturliga reaktorerna i Oklo, Gabon. Tekniken att undersöka geologi, mineralogi, geokemi, hydrogeologi, etc. via borrhål och sedan modellbehandla resultaten skiljer sig inte mycket från vad som är gängse vid geovetenskapliga platsundersökningar.

### 11.6.3 Mål för FoU på kemiområdet

De två övergripande målen för kemiprogrammet är att

- klarlägga det kemiska tillståndet i ett djupförvar i kristallin svensk berggrund,
- bestämma radionuklidernas kemiska egenskaper och transportbenägenhet i den rådande kemiska miljön.

De kemiska reaktionerna sker i kontakt med grundvattnet. Ett delmålet är därför att bestämma grundvattnets normala kemiska sammansättning. Ett annat delmål är att avgöra vilka variationer i vattnets sammansättning som kan orsakas av naturliga processer eller av påverkan från förvaret och dess komponenter.

För att kvantifiera betydelsen av radionuklidens migration måste dataunderlag och modeller byggas upp som beskriver förloppen kvantitativt. Arbetena planeras så att reviderade underlag och modeller finns framme till säkerhetsanalyser 1996 och 2003.

### 11.6.4 Framtida insatser

#### Grundvatten och sprickmineralkemi

Ett klassificeringssystem för grundvatten- och sprickmineraldata utvecklas i samarbete med TVO.

Fördelningen av spårmetaller mellan grundvatten och sprickmineral undersöks som analog till radionuklidretention.

Undersökningar av den kemiska samverkan mellan berg och grundvatten samt inverkan av blandningsprocesser prioriteras. Jämviktsmodellering och provtagning i nära stagnanta grundvatten från tunnlarna i Äspö ingår i detta.

Betydelsen av försuring, redoxpåverkan och mikrobiella processer utreds.

#### Radionuklidkemi

Termodynamiska data på löslighet och speciering av aktinider i djupa grundvatten kommer att bestämmas. Medfällning och dess betydelse för nuklidmigrationen undersöks.

Grundvattnets innehåll av organiska komplexbildare, kolloider och mikrober undersöks på Äspö och inom ramen för internationella analogiundersökningar. Laborieförsök pågår.

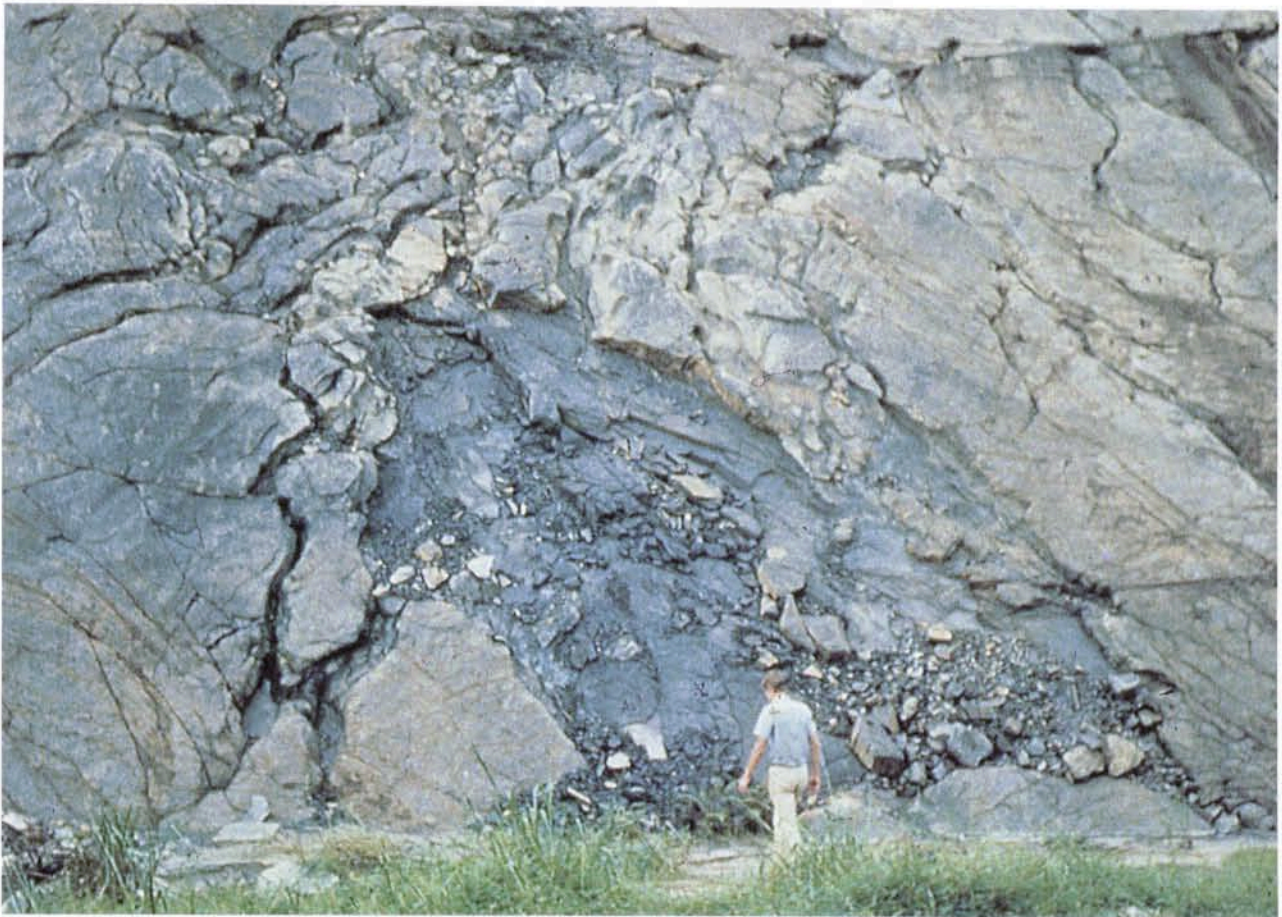
I transportmodellering beskrivs sorptionseffekterna med  $K_d$  data. Utveckling av ytkomplexeringsmodeller pågår och kan på sikt kanske ersätta  $K_d$  konceptet.

#### Validering av processerna i transportmodeller och nuklidmigration

Grundvattenflöden valideras med spårförsök med vattentrogna spårämnen. Ytterligare sådana experiment kommer att genomföras på Äspö. För utredning av grundvattenflöde i stor skala utnyttjas de naturliga spårämnen som redan finns i grundvattnet.

För migrationsförsök behövs svagt sorberande spårämnen. Sådana skall utvecklas och utprovas på lab för senare användning i fältförsök i Äspö.

En särskild utrustning, CHEMLAB, utvecklas i samarbete med CEA i Cadarache för att pröva antaganden och modeller som gäller retention av radionuklider i närområdet. Den väsentliga delen i CHEMLAB



*Figur 11-3. Bilden tagen i Oklo i Gabon och visar platsen för en f d naturlig reaktor.*

är en sond som möjliggör kontrollerade experiment in situ i liten skala.

## 11.7 BIOSFÄRSSTUDIER

### 11.7.1 Allmänt

Biosfärsstudierna omfattar radionuklidens transport från grundvatten i berg till påverkan på människa eller annan organism. Målet med dessa studier är att kunna beskriva konsekvenserna av ett eventuellt utsläpp av radioaktiva nuklider från slutförvar.

Följande processer och beräkningssteg är signifikanta för säkerhetsanalysen:

- Transport från grundvatten i berg till ett lokalt ekologiskt system via olika lokala mottagare såsom sediment, jord, vatten m m.
- Transport, utspädning, ackumulering och deponering i lokala, regionala och globala ekologiska system.
- Transport till människor genom t ex produktion och distribution av livsmedel.
- Upptag i människokroppen beroende på kostvanor och upptagsfraktioner.

- Beräkning av individdoser och kollektivdoser samt jämförelse med naturliga förhållanden.

### 11.7.2 Kunskapsläge

#### Biosfärens förändringar

Den största osäkerhetsfaktorn i biosfären hänger ihop med ekosystemens naturliga evolution under tid förvarets funktion är av intresse. I ett långt perspektiv dominerar bilden av klimatförändringar och glaciation. Biosfären genomgår då en mycket radikal förändring och kan återuppstå på ett stort antal sätt. Frågan är dock hur meningsfullt det är att göra dosuppskattningar i det skedet. Geologiska studier utförs emellertid och kan ge en kvalitativ bild. Speciellt inom de plats-specifika studierna behöver dessa kompletteras med en bedömning av hur människan kan komma att utnyttja ekosystemen inom ett visst område t.ex. vad marken kommer att användas till under de närmaste 1000 åren.

#### Brunnar

Bergborrade brunnar är en potentiell transportväg från djupt grundvatten direkt till miljöer i människans när-

het. Brunnens växelverkan med grundvattnet hanteras med hydrauliska modeller. Placeringen av brunnar och deras användning är dock kopplad till människans utnyttjande av biosfären. Frågan om hur brunnar skall hanteras i säkerhetsanalysen är en del i den större frågan om synen på hur människan, avsiktligt eller oavsiktligt kan påverka förvarets funktion. Den diskuteras internationellt och bland berörda myndigheter för att etablera en gemensam grund. Någon ytterligare insats planeras avseende kartläggning av förekomst, egenskaper och hur vattnet används.

### Transport genom sediment och jord

Kd-konceptets användning vid transport av radionuklider genom jord är inte invändningsfritt eftersom transporten passerar flera olika lager vilka dessutom inte är homogena. En studie pågår för att finna ett alternativt sätt att modellera transport genom sediment och jord. Platsspecifika kvantitativa beskrivningar av vilka olika typer av recipienter som finns och kan tänkas finnas under de närmaste 1000 åren kommer att bli till stor nytta för att kunna begränsa antalet olika modelleringsfall.

### Modeller och data

Spridningsberäkningar i KBS-3 genomfördes med traditionell box-modellering baserad på tillgängliga data om dagens ekologiska system. Dosberäkning sker med liknande modeller utnyttjande radiofysiska data och sammanfattade i bl a internationellt accepterade rekommendationer utfärdade av ICRP. I SKB 91 utnyttjades en standardiserad, i tiden oföränderlig biosfär, för att vikta de olika nuklidernas effekt och översätta utsläpp till effekter i omgivningen.

Osäkerheten i modellförutsägelserna behandlades inte i KBS-3. I SKB 91 beräknades dessa utifrån antagna variationer i indata, men användes inte i den vidare analysen. Vi behöver en samlad behandling av konceptuella osäkerheter, osäkerheter i indata och naturliga variationer, vilket förhoppningsvis BIOMOVs II kommer att bidra till.

Validering av modeller kommer fortlöpande att ske bl a internationellt inom VAMP och en fortsättning på BIOMOVs och med hjälp av data från Tjernobylnedfallet i Gideå och Finnsjön. Vissa av de parametrar som används i box-modellerna är dåligt undersökta för nordiska förhållanden. Förslag till ett antal internationella standardbiosfärer utarbetas inom BIOMOVs för att underlätta jämförelser.

### Platsspecifika studier

För sådana fall där utsläppen inte börjar förrän efter många 10 000-tal år, då istider troligen dragit fram, kan placeringen av förvaret inte påverka spridningen av eventuella utsläpp i biosfären.

Vid scenarier där radionuklider antas frigöras inom några tusental år, t ex vid en initial kapselskada, blir

platsens speciella förhållanden viktiga för spridningen i lokala ekosystem, eftersom nuvarande förutsättningar för markanvändning m m, i stort sett, kan väntas kvarstå under denna tid.

Det är därför lämpligt att fortsätta de platsspecifika modellstudierna och även ta hänsyn till slutförvarets lokala påverkan. Sådana undersökningar planeras ske på de kandidatplatser som föreslås för lokalisering av slutförvaret. Avsikten är att även mindre generaliserade modeller ska kunna användas.

### Acceptanskriterier

Det råder en stor internationell samstämmighet om principerna för radiologiskt skydd. Praxis för hur säkerheten skall kvantifieras och på vilket sätt säkerhetskraven skall uttryckas skiljer sig emellertid i olika länder.

Val av radiologiska acceptanskriterier har stor betydelse för hur biosfärsanalyser skall göras. De svenska myndigheterna förväntas under de närmaste åren definiera acceptanskraven för ett djupförvar. Detta arbete och de internationella organs arbete kommer att följas fortlöpande.

### 11.7.3 Mål för perioden 1993–1998

Insatserna koncentreras på att kunna göra en uppskattning av vilka konsekvenser olika utsläppsscenarioer från ett djupförvar har i tidsperspektiv upp till cirka 10 000 år. Delmål i denna process är:

- Söka kvantifiera de osäkerheter som beror på att biosfären hela tiden förändras.
- Förbättra det dataunderlag som spridningsmodellerna vilar på.
- Validera modellerna genom studier av analoga spridningsprocesser.

### 11.7.4 Framtida insatser

SKB kommer aktivt att delta i pågående internationella diskussioner om hur tillåtlighetsfrågorna skall hanteras när det gäller effekten av människans handlande på förvarets framtida funktion, ex vis genom brunnar.

Pågående studier av radionuklidernas sorption i jordar kommer att fullföljas till säkerhetsanalysen 1996.

Arbetet med att i BIOMOVs granska tillförlitligheten i modellerna för radionuklidernas spridning i biosfären fortsätter.

Brunnars generella egenskaper (placering, kapacitet, djup m m), korrelerat till hur vattnet används, bör beskrivas för dagens situation och hur det kan tänkas förändras i framtiden.

## 11.8 KVALITETSSÄKRING

Rätt tillämpad och anpassad efter behoven är kvalitets-säkring ett utomordentligt hjälpmedel att försäkra sig

om att arbete som utförs når rätt, dokumenterad kvalitet, samt att information verkligen dokumenteras och inte går till spillo.

SKB identifierade tidigt behovet av kvalitetssäkring i delar av verksamheten. I de verksamheter som främst berör driften av befintliga system och anläggningar har formella kvalitetssäkringsprocedurer införts. Dokumentation har tagits fram för CLAB och SFR såväl som för transportsystemet. Ett antal tekniska revisioner har också genomförts, bland annat en av kärnkraftinspektionen. Proceduren ses för närvarande över på nytt och kommer att sammanställas till en handbok för hela den verksamhet som bedrivs inom SKBs avdelning för System och Anläggningar.

Kvalitetssäkring blir ett viktigt styrinstrument i olika faser av förverkligandet av en inkapslingsstation och av ett djupförvar för demonstrationsdeponering av använt kärnbränsle.

Kvalitetssäkringsrutiner är under utarbetande för Äspölaboratoriet. Tillämpningen av dessa kommer se-

dan att ligga till grund för kvalitetssäkringen av undersökningsprogrammen i lokaliseringsprojektet. Kvalitetssäkringsliknande rutiner tillämpas redan i samband med insamlingen av data till SKBs databas GEOTAB.

Ett system för kvalitetssäkring av arbetet i en säkerhetsstudie provades i samband med genomförandet av SKB 91. Systemet siktade in sig på dokumentation och säkring av de numeriska data som användes i projektet. Avsikten var främst att vinna erfarenheter inför de säkerhetsstudier som kommer att genomföras i framtiden. En utvärdering av det använda systemet har inletts och ett modifierat system för kvalitetssäkring kommer att tas fram till framtida säkerhetsstudier.

Kvalitetssäkringsprocedurer har också tillämpats vid produktionen av mjukvaran för datorprogrammet PROPER med dess modeller för radionuklidtransport. En utvärdering av kvalitetssäkringsbehovet i samband med SKBs framtida produktion och underhåll av datorprogram avsedda för direkt användning i säkerhetsanalyser är igångsatt.

# 12 ÄSPÖLABORATORIET

## 12.1 BAKGRUND

De vetenskapliga undersökningarna inom SKBs forskningsprogram är ett led i arbetet med att utforma ett djupförvar och att utse och undersöka en lämplig plats.

En sammanvägning av de fakta, krav och värderingar som gjordes vid utarbetandet av FoU-program 86 /12-1/ ledde till förslaget om byggande av ett underjordiskt berglaboratorium. Detta förslag presenterades i nämnda forskningsprogram och fick ett mycket positivt mottagande av remissorganen.

SKB påbörjade hösten 1986 fältarbeten för lokalisering av ett underjordiskt berglaboratorium till Simpevarpsområdet i Oskarshamns kommun. I slutet av 1988 fattade SKB ett principbeslut om lokalisering av anläggningen till södra Äspö ca 2 km norr om Oskarshamnsverket. Efter myndighetsprövning inleddes anläggningsarbeten hösten 1990. I samband med tunneldrivningen, som nu (september 1992) befinner sig på ett djup av drygt 200 m under markytan, har ett flertal undersökningar genomförts.

Motiven för Äspölaboratoriet och projektets mål utvecklades närmare i FoU-program 89 /12-2/.

## 12.2 MÅL

Mot bakgrund av de motiv som redovisats beslutade SKB att anlägga Äspölaboratoriet med syftet att:

- skapa en möjlighet till forskning, utveckling och demonstration i en realistisk och ostörd bergmiljö ned till det djup som planeras för det framtida djupförvaret.

Äspölaboratoriet skall utgöra ett viktigt komplement till det övriga arbete, som bedrivs inom SKBs FUD-program. Kraven på forskningens kvalitet är mycket höga. En övergripande ambitionsnivå är att Äspölaboratoriet utvecklas till ett internationellt ledande centrum för forskning, utveckling och demonstration rörande anläggning av djupförvar för högaktivt avfall.

Huvudmålen för Äspölaboratoriet är (som angavs redan i FoU-program 89) att vidareutveckla och/eller pröva tre olika slag av färdigheter inför byggandet av ett djupförvar, nämligen teknik att:

- Pröva kvalitet och användbarhet för olika metoder att karakterisera berggrunden med avseende på förhållanden av vikt för ett djupförvar.
- Vidareutveckla och demonstrera metoder för hur ett djupförvar vid projektering och byggande skall kunna anpassas till bergets lokala egenskaper.

- Ta fram underlag och data av betydelse för djupförvarens säkerhet och för tilltron till säkerhetsanalysernas kvalitet.

Det sista målet är generellt för SKBs hela FUD-program.

För att uppfylla den övergripande tidplanen för SKBs FUD-arbete har följande etappmål ställts upp för verksamheten.

Inför lokaliseringen av ett djupförvar för demonstrationsdeponering i mitten av 1990-talet skall man med verksamheten vid Äspölaboratoriet:

### 1 Verifiera förundersökningsmetoder

- Demonstrera att undersökningar på markytan och i borrhål ger tillräckliga data om väsentliga säkerhetsrelaterade egenskaper hos berget på förvarsnivå, samt

### 2 Fastställa detaljundersökningsmetodik

- Vidareutveckla och verifiera de metoder och den teknik som behövs vid karakterisering av berget i de detaljerade platsundersökningarna.

Som underlag för en bra optimering av djupförvarssystemet och för en säkerhetsanalys inför lokaliseringsansökan, som planeras till ett par år efter 2000 behöver man:

### 3 Pröva modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration

- Vidareutveckla och i stor skala på förvarsdjup pröva metoder och modeller för bestämning av grundvattenflöde och radionuklidmigration.

Inför byggandet av djupförvaret några år efter 2000 skall man på aktuellt förvarsdjup och under representativa förhållanden

### 4 Demonstrera bygg- och hanteringsmetoder

- Ge tillgång till berg där man kan vidareutveckla och pröva teknik för att säkerställa hög kvalitet i utformning, byggande, utförande och drift av djupförvar, samt

### 5 Pröva viktiga delar i förvarssystemet

- I full skala pröva, undersöka och demonstrera olika komponenter som har betydelse för långtidssäkerheten hos ett djupförvarssystem.

Dessa prov ska kunna ske i tillräcklig omfattning vad avser tid och skala för att ge underlag för myndighetsgodkännande av byggstart. Vissa prov kan därför behöva starta under 90-talet.

## 12.3 RESULTAT – ALLMÄNT

Arbetet med Äspölaboratoriet har indelats i tre skeden – förundersöknings- anläggnings- och driftsskedet – som framgår av tidplanen, se Figur 12-1.

I förundersökningsskedet 1986 – 1990 skedde lokalisering av Äspölaboratoriet. De naturliga förhållanden i berggrunden beskrevs. Planering för projektets byggnads- och driftskede genomfördes.

Under **anläggningskedet** 1990-1994 genomförs flera undersökningar och försök parallellt med anläggningsverksamheten. Utbyggnaden av tunneln sker till fullt djup, ca 460 m.

**Driftskedet** inleds 1995. I detta FUD-program anges inriktningen på de undersökningar och försök som genomförs under driftskedet. Det slutliga programmet för driftskedet ska anpassas till resultat från andra projekt och till erfarenheter från anläggningskedet.

### 12.3.1 Avstämning av mål från FoU-program 86, FoU-program 89

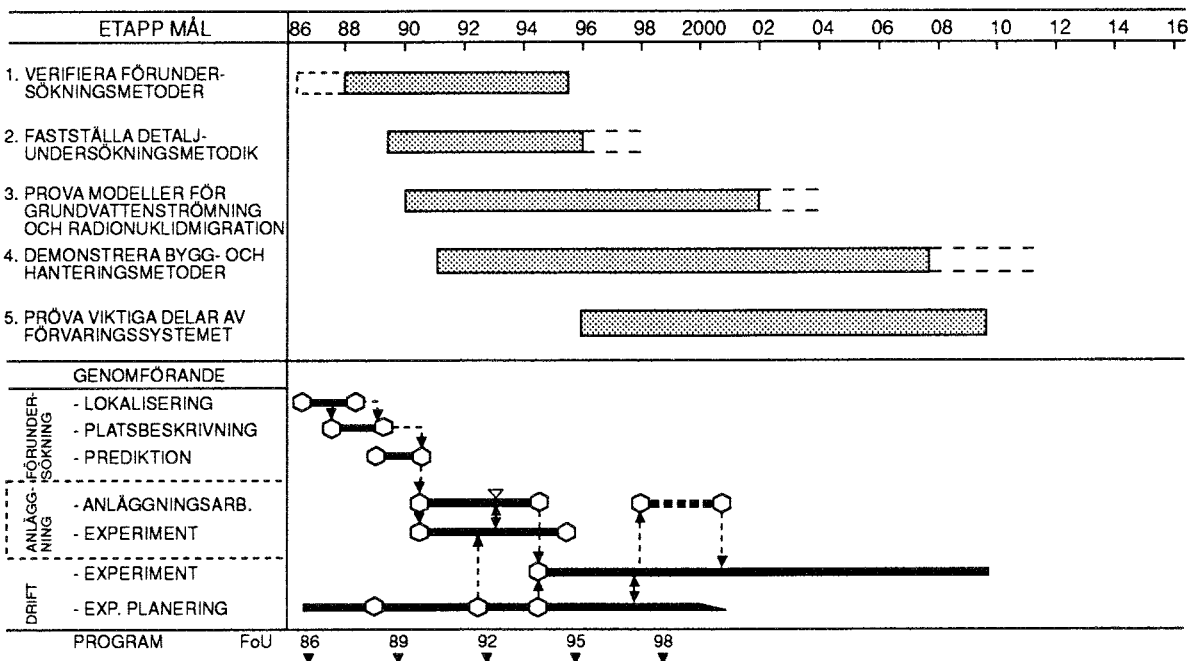
I FoU-program 86 redovisades bakgrunden till att anlägga ett underjordiskt berglaboratorium. Målen för verksamhetens inriktning perioden 1987 – 1992 redovisades.

- Upprätta det geovetenskapliga underlag som behövs för att bedöma om det är möjligt att lokalisera ett underjordiskt berglaboratorium kring Simpevarp och då täcka behovet av detaljerade undersökningar för validering;
- Upprätta det underlag som erfordras för berglaboratoriets preliminära anläggningslayout;
- Upprätta program för schaktsänkning/tunneldrivning och mätningar;
- Upprätta en prognos för de geohydrologiska och geokemiska förändringar som inträffar i samband med att berglaboratoriet byggs.

Samtliga dessa mål är uppfyllda /12-3, 4, 5, 6, 7/.

I FoU-program 89 redovisades en fördjupad beskrivning av projektet. Motiven för projektet redovisades närmare. Projektets mål definierades i form av huvudmål och etappmål. Målen är anpassade till de resultat som behövs för att anlägga det svenska djupförvaret av det använt bränsle. Ett detaljerat program för förundersökningsskedet och anläggningskedet, samt ett preliminärt för driftskedet redovisades. De satta målen för förundersökningsskedet är uppfyllda. De mål som är satta för anläggningskedet bedöms vara på väg att uppfyllas.

I samband med granskningen av FoU-program 89 begärde SKN kompletterande redovisningar rörande



Figur 12-1. Huvudtidplan för Äspölaboratoriet, september 1992.

Äspölaboratoriet innan byggnadsarbeten påbörjades. Sådan kompletterande redovisning har genomförts.

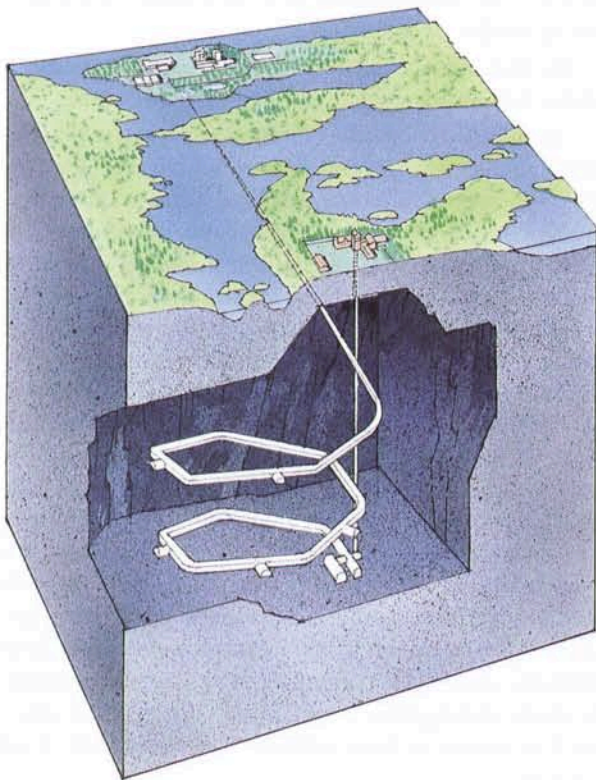
### 12.3.2 Lokalisering, tillstånd

I FoU-program 89 redogjordes för motiven till att lokalisera Äspölaboratoriet till södra delen av Äspö. I samband med myndighetsprövningen meddelade regeringen att anläggningen skulle prövas enligt Naturresurslagen. För att minska anläggningens påverkan på omgivningen, gjorde SKB layoutförändringar, så att påslaget till anläggningen flyttades från Äspö till Simpevarp, se Figur 12-2.

Viktiga tillstånd och avtal rörande Äspölaboratoriet är nu:

#### Naturresurslagen

Tillstånd enligt Naturresurslagen erhöles av regeringen 19 april 1990. En viktig punkt i tillståndet var att SKB skulle upprätta en plan för eventuell deponering av sprängstensmassor i samråd med länsstyrelsen i Kalmar län och med Oskarshamns kommun. Med anledning härav bildades en arbetsgrupp med representanter



Figur 12-2. Anläggningsutformning av Äspölaboratoriet.

för länsstyrelsen, kommunen, SKB och OKG som arbetade under perioden 1990–1991.

Ett villkor för tillståndet är ytterligare att ”De byggnads- och anläggningsåtgärder som erfordras för verksamheten skall ha vidtagits senast den 31 december 1994”.

#### Vattendom

Vattendom erhöles av vattendomstolen i Växjö Tingsrätt 11 september 1990. Ett viktigt villkor är att ett kontrollprogram för grundvattenstånd och vattenanalys ska genomföras. Fastighetsbrunnar kontrolleras t o m 1995. Projektets ”egna” borrhål på Ävrö, Äspö, Laxemar och Hålö/Bockholmen kontrolleras t o m utgången av 2004.

#### Byggnadslov

Byggnadslov har erhållits i två omgångar av Oskarshamns kommun, 20 juni 1990 (avseende etableringsarbeten på Simpevarpshalvön) och 17 oktober 1990 (Äspö By och berganläggningen.)

#### Markavtal

Flera avtal föreligger med OKG rörande disposition av mark för platskontor, tunnelnedfart, vägar, tillfälliga massupplag, hamn m m.

### 12.3.3 Internationellt deltagande

Ett viktigt resultat är att Äspölaboratoriet har erhållit internationellt deltagande, se vidare det speciella avsnittet om det internationella deltagandet, se avsnitt 12.8.

## 12.4 RESULTAT – VERIFIERING AV FÖRUNDESRÖKNINGAR

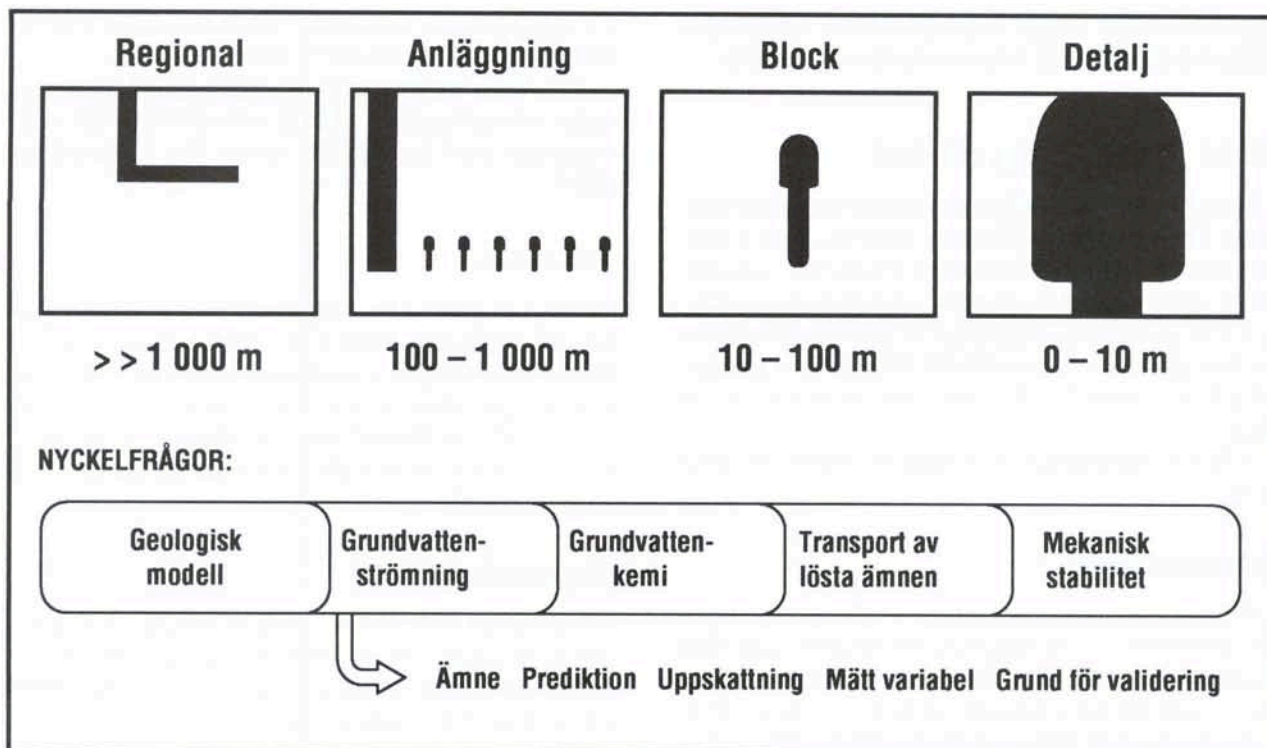
Ett flertal resultat har redan uppnåtts i projektet. Dessa redovisas i förhållande till de etappmål som redovisats i avsnitt 12.2.

Förundersökningar av berggrunden och deras tolkning är av stor betydelse för djupförvarets utformning, planering av kommande undersökningar och för bedömning av platsens lämplighet som djupförvar. Med anledning härav har SKB definierat förundersökningars validitet som ett av etappmålen för projektet.

Begreppet validering har definierats inom flera internationella organisationer och bearbetats vidare inom Äspölaboratoriet.

IAEAs definition /12-8/ är att validering är en process som genomförs genom att jämföra modellprediktioner med oberoende fältobservationer och experimentella mätningar. En modell kan inte betraktas som validerad innan tillräckliga mätningar har genomförts som ger en acceptabel nivå av prediktiv precision.





Figur 12-3. Översikt av geometriska skalor och nyckelområden.

Inom HYDROCOIN-projektet /12-9/ gjordes en tilläggskommentar att den acceptabla prediktionsprecisionen är grundad på bedömning och varierar med det specifika problem som prövas i modellen.

Valideringsprocessen för Äspölaboratoriet har bearbetats inom projektet och med projektets vetenskapliga referensgrupp /12-10/. Den innehåller tre väsentliga element

- en systematisk jämförelse mellan prediktion och utfall,
- en noggrann analys av underliggande strukturer och processer,
- en (subjektiv) bedömning om prediktionen är tillräckligt bra.

Den ovanstående valideringsprocessen är ytterst ett verktyg för att värdera precisionen i förundersökningarna och att bedöma olika undersökningsmetoders möjligheter och begränsningar. Denna kunskap är vägledande för att upprätta ett balanserat förundersökningsprogram för de framtida kandidatplatserna för djupförvaret.

I /12-10/ definierades ett stort antal prediktioner rörande berggrunden som bedömdes vara relevanta för ett djupförvar. Ytterligare ett kriterium var att endast ställa upp prediktioner som senare kan kontrolleras. Med ledning av de diskussioner som fördes inom projektet under perioden 1987–1989, bedömdes det vara

fruktbart att strukturera de sk konceptuella modellerna för att erhålla överskådlighet.

Prediktionerna strukturerades i olika geometriska skalor och i olika nyckelområden, se Figur 12-3.

Bergundersökningar omfattar ett antal undersökningsmetoder. Varje metod ger upphov till sin datamängd med tillhörande tolkning. Genom att samutvärdera metoderna skärps tolkningarna betydligt. Inom Äspölaboratoriet har sådana större samutvärderingar skett vid tre tillfällen under förundersökningarna /12-12, 12-3, 12-5/. Den sista tolkningen /12-5/ har sedan varit utgångspunkt för systematiskt gjorda prediktioner av berggrunden på Äspö. Dessa har omfattat bl a läge av större svaghetszoner, hydraulisk påverkan kring tunneln, förändringar i grundvattenkemi m m, se vidare /12-14/. Dessa prediktioner kontrolleras och rapporteras nu under anläggningsskedet i olika etapper. I nuläget har prediktionernas kvalitet kontrollerats för en deletapp /12-13/. Denna rapport omfattar de 700 första m tillfartstunnel som baseras på relativt begränsade undersökningar. Utfallet har av referensgruppen bedömts vara relativt bra med hänsyn till de begränsade undersökningarna. F n pågår utvärdering av resultaten från tunneldrivningen mellan sektionerna 700 m till 1475 m.

Ett betydande utvecklingsarbete har skett i samband med genomförandet av Verifiering av Förundersökningar. Dessa innefattar områden som t ex konceptuell förståelse, redovisning av undersökningsresultat, mät-

teknik, instrument, numeriska modeller, se vidare /12-14/.

## 12.5 RESULTAT – DETALJUNDERSÖKNINGS- METODIK

SKB planerar att genomföra platsundersökningarna för kandidatplatserna i etapper. Efter inledande förundersökningar kommer fördjupade undersökningar att ske. Dessa s k detaljundersökningar innebär att tunnel/schakt anläggs till tänkt förvarsdjup. I samband med utbyggnaden sker kompletterande datainsamling, så att ett gediget underlag finns för att projektera djupförvaret och för att ge underlag till analys av förvarets funktion och säkerhet på den undersökta platsen.

Anläggningen av Äspölaboratoriet har redan nu givit betydande erfarenheter av hur detaljundersökningar genomföres. Ett grundläggande element är att det finns förväntningsmodeller för hur berggrunden ser ut när bergdrivningen sker. De prediktioner som redovisats i /12-6/ är utgångspunkten för Äspölaboratoriets bergbeskrivning.

I samband med att Äspölaboratoriet byggs sker en systematisk jämförelse med de modeller som upprättades under förundersökningarna, se Figur 12-4. Jämförelsen kompletteras med ytterligare undersökningar kommer successivt att ge en mer fullständig bild av berget vid Äspö.

Datainsamling sker i huvudsak genom:

- övervakning av grundvattentryck och salthalt i ca 140 punkter i omgivande borrhål
- daglig dokumentation i tunneln i anslutning till varje sprängning
- undersökningshål var 20 m längs med tunneln
- specialundersökningar för att besvara specifika frågor

Betydande utvecklingsarbeten har genomförts, se vidare /12-14/.

Den dagliga dokumentationen sker systematiskt enligt en upprättad manual /12-7/. Manualen omfattar som minimum den dokumentation i tunneln som behövs för att verifiera alla de förväntningsmodeller som upprättats under förundersökningsskedet. Ett viktigt utvecklingsarbete har varit att utforma datapresentationen så att det är lätt att erhålla översikter. Exempel på översikter visas i /12-14/.



*Figur 12-4. Varje "salva" dokumenteras enligt /12-10/. Resultaten jämförs sedan med de prediktioner av berggrunden som redovisats i /12-6/.*

Data är till övervägande del digitaliserade och lagrade på databaser vid Äspölaboratoriet.

Byggnadsarbetena för Äspölaboratoriet sker med normalt borrhings/sprängningsförfarande. De rutiner för samordning mellan bygge och undersökningar som utvecklats fungerar väl. Under byggets gång sker också växelverkan mellan undersökningsresultaten och anläggningsutformningen (design-as-you-go). Från de löpande undersökningarna erhållna geodata används för att kontrollera lägen av hiss-, ventilationsschakt, anslutningar vid hissens stannplan, läge på tunneln m m. Detta samspel mellan undersökningar och projektering är en viktig del vid utbyggnad av ett djupförvar.

I samband med anläggningsskedet har två större specialundersökningar genomförts. Det första avser en studie av sprängskadornas effekt på kvarstående berg, den andra en specialstudie över hur passage av en betydande svaghetszon (benämnd NE-1) ska ske på ett kontrollerat sätt.

I samband med att SKB lämnade kompletterande redovisning rörande Äspölaboratoriet, se avsnitt 12.3.1 önskade SKN att skadezonen i samband med utsprängning skulle studeras relativt omgående. Den "störda zonen", se avsnitt 12.4, är intressant för vidare studier och det arbete som genomfördes begränsades att gälla sprängskador i kvarstående berg. Tre olika sprängningsförfaranden prövades i tunneln.

Viktiga slutsatser från undersökningarna är att

- det går att mäta upp sprängskadorna,
- borrhingsprecisionen och lokala geologiska förhållanden kan ha lika stor betydelse som laddningen av konturhålen,
- vid praktisk sprängning uppnås en skadezon av 0,3 – 0,5 m i väggar och tak och 1 – 1,5 m i tunnelsulan.

Försöket har hittills rapporterats i fem Progress Reports /12-15–19/ i två artiklar /12-20, 12-21/ och två föredrag /12-22, 12-23/.

Den andra specialstudien som genomförts i samband med den pågående utbyggnaden av Äspölaboratoriet har omfattat utveckling av metodik för passage av svaghetszoner.

Förundersökningarna visade att tunneln passerar en betydande svaghetszon vid södra delen av Äspö på ett djup av ca 180 m. Omfattande förberedelser skedde inför passagen av zonen så att passagen kunde ske under kontrollerade förhållanden med innehållande av ett antal delmål. Bland delmålen märks bl a exakt lokalisering av sprickzonen, karakterisering av zonen och kontrollerad förinjektering – i första hand vad gäller injekteringsmedlets spridning. Passage av zonen NE-1 skedde under våren 1992. Zonens egenskaper och läge överensstämmer i stort sett med de prediktioner som upprättats vid förundersökningarna. De stora vattentäckningar och -tryck som påträffades i zonen krävde omfattande tätnings- och förstärkningsinsatser för att på ett säkert sätt passera zonen med tunneln. Arbetet är

under utvärdering, men en av slutsatserna från denna zonpassage är att byggnadstekniken för att passera större vattenförande zoner på stort djup med stora vattenpressningar behöver vidareutvecklas.

I samband med förberedelserna för passage av zonen NE-1 har betydande metodutveckling skett, se vidare /12-14/.

Vissa andra specialundersökningar i Äspölaboratoriet berör datering av sprickmineral. Flera separata strukturgeologiska analyser har genomförts för att undersöka kopplingen mellan strukturgeologi och vattenförande sprickor.

Arbete har påbörjats för att införa en formell kvalitetssäkringsplan.

## 12.6 RESULTAT – TEST AV MODELLER FÖR GRUNDVATTENSTRÖMNING OCH RADIONUKLIDMIGRATION

I samband med att förundersökningarna genomfördes flera grundläggande prov av modeller. Viktig utveckling har gällt bl a förståelsen av gränssnitt sött/salt vatten, den hydrauliska konduktivitetens skalberoende, numeriska metoder m m, se vidare /12-14/.

Förundersökningsskedet avslutades med ett stort kombinerat pump/spårförsök med användande av kortlivade radioaktiva isotoper. Försöket predikterades i den konceptuella modell som upprättats före byggstarten /12-5/. Utvärdering av försöket /12-24/ visar att resultaten ansluter till den befintliga konceptuella modellen av Äspö, /12-5/, men att det finns utrymme för förbättringar. Försöket möjliggjorde också en uppskattning av bergets flödesporositet och dispersionsegenskaper.

Det bör nämnas att de prediktioner som upprättades under förundersökningarna /12-6/ endast till ringa mån omfattade prediktioner av transport av lösta ämnen. Modeller för transport av lösta ämnen kommer framförallt att prövas under projektets driftskede.

Under anläggningsskedet sker kompletterande datainsamling för att ge ytterligare kunskaper om den skadezonen, se avsnitt 12.7.4 och Figur 12-5. En del i detta arbete har varit det genomförda sprängskadeförsöket.

Ett redoxförsök genomförs nu på ett djup av ca 70 m (sektion 510 i tunneln) för att studera om, och i så fall i vilken omfattning, syresatt ytvatten kan förändra bergets möjligheter att upprätthålla en reducerande kemisk miljö. Analyser av vattenkemidata, isotopanalyser och mineralkemiska analyser /12-25/ visar bl a att syreombrott skedde mycket snart efter det att tunneln passerat en mindre sprickzon.

För att förbereda kvalificerade experiment med radionuklider pågår framtagning av experimentutrustning. Ett exempel på sådan utrustning är den skadezonen



*Figur 12-5. Var fjärde "salva" borrar två 20 m långa undersökningshål framför tunneln. Tryckuppbyggnadstest genomförs för att mäta vattengenomsläppligheten (transmissiviteten).*

CHEMLAB-sonden som utvecklas i samarbete med CEA, Frankrike.

Utveckling av modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration är ett viktigt mål i projektet. Det internationella samarbetet tillför här ett betydande mervärde till projektet. Detta samarbete sker framförallt i en sk Task Force; en arbetsgrupp sammansatt av specialister från de deltagande organisationerna.

## 12.7 TEKNISKT PROGRAM FÖR VERKSAMHETEN 1993 – 1998

### 12.7.1 Allmänt

Det pågående anläggningsskedet av Äspölaboratoriet utnyttjas för att verifiera förundersökningar och fastställa detaljundersökningsmetodik – etappmål 1 och 2.

Parallellt med dessa aktiviteter sker planering för Äspölaboratoriets driftskede som syftar till prövning av bygg- och hanteringsmetoder, samt prov av viktiga delar av förvarssystemet – etappmål 3, 4 och 5.

Datainsamlingen under anläggningsskedets första etapp till djupet ca 300 m, har i första hand syftat till att ge underlag för att verifiera förundersökningarna.

Arbetet med att verifiera förundersökningarna har krävt en relativt rigid modell för datainsamling-redovisning-utvärdering och en "låst" utformning av tunnelsträckning.

Ett stort antal prognoser rörande berggrunden presenterades i /12-6/. Dessa följs successivt upp och utvärderas parallellt med att data samlas i samband med tunneldrivningen. Utvärderingen har två inriktningar. Den första är att utvärdera prognosernas giltighet, den andra att utvärdera de använda metodernas giltighet.

Med hänsyn till de resultat och erfarenheter som hittills erhållits under anläggningsskedet, bedöms det vara möjligt att i huvudsak slutföra det arbetet med de data som erhålls till djupet ca 300 m.

De nuvarande formerna för arbetet är dock mindre bra för att uppfylla projektets andra huvudmål, – att vidareutveckla och demonstrera metoder för hur ett djupförvar vid projektering och byggande ska anpassas till bergets lokala egenskaper.

Av denna orsak kommer anläggningsskedets andra etapp till djupet ca 460 m att ges delvis annan inriktning. Detta innebär dock ingen minskning vad avser ambitionsnivå på dokumentation, uppföljning och utvärdering.

I samband med tunneldrivning till djupet ca 460 m sker också kompletterande förberedelser för de experiment som ska genomföras under driftskedet.

I den redovisning som SKB lämnade i FoU-Program 89 var ett uppehåll i tunneldrivningen under ca 6 mån inplanerat mellan etapp 1 och etapp 2.

De pågående arbetena genomförs dock mer flexibelt än den ursprungliga planeringen. I stället för att göra en större redovisning/utvärdering, sker i stället fler mindre redovisningar.

SKBs önskemål att vidareutveckla och demonstrera metoder för aktiv design nödvändiggör att undersökningar och projektering går mera hand i hand. Den aktiva designen medför att resultatrapporteringen måste ske mer flexibelt än redovisningen av prediktionerna från förundersökningsskedet. En del av den datainsamling och metodikutvärdering som varit inplanerad att genomföras under uppehållet mellan etapp 1 och etapp 2 tidigareläggs. Upphållet mellan etapp 1 och etapp 2 kan därmed utgå. Det tekniska programmet för verksamheten 1993–1998 är skrivet i förhållande till de etappmål som gäller för projektet. Under respektive underrubrik diskuteras mål, huvudaktiviteter m m.

### 12.7.2 Verifiering av förundersökningar

Den nuvarande strukturen datainsamling – jämförelse med prediktion – utvärdering – granskning i referensgruppen (Scientific Advisory Committee) bibehålls för data ner till djupet ca 300 m. Denna datamängd bedöms vara tillräcklig för att till stora delar kunna pröva den konceptuella modellen för Äspö /12-5/ och motsvarande prediktioner /12-6/. Den bedöms också vara tillräcklig för att göra den utvärdering av metoderna för förundersökningar som Verifiering av förundersökningar ytterst syftar till. SKB delar de synpunkter som under arbetets gång framförts bl a av SKN och SKI att metodutvärderingen är ett väsentligt arbete för projektet. Metodutvärderingen bör besvara frågor om bl a metodens upplösning, tolkbarhet, användbarhet och nytta.

Under tunneldrivningen från ca 300 m ner till ca 460 m sker basdokumentation av berggrunden som tidigare. Efter slutförd tunneldrivning redovisas en "slutlig" konceptuell modell av berggrunden på Äspö. Denna jämförs med de modeller som upprättats under förundersökningarna på Äspö /12-6/ och den konceptuella modell som upprättas på grundval av data som erhållits i samband med tunneldrivning ner till djupet ca 330 m, se vidare nedanstående avsnitt och /12-14/.

### 12.7.3 Fastställande av detaljundersökningsmetodik

Detaljundersökningar för ett djupförvar av använt kärnbränsle /12-2/ syftar till att

- bekräfta att en lämplig förvarsvolym finns tillgänglig,

- ge tillräckligt underlag för den säkerhetsanalys som behövs för att erhålla tillstånd för utbyggnad av ett slutförvar,
- ge underlag för platsanpassning av tillfart till förvaret,
- ge preliminärt underlag för hur utbyggnad av förvaret ska ske,
- ge data så att förvarssystemet kan optimeras med hänsyn till tekniska barriärer och geometrisk utformning,
- karakterisera området mellan förvar och utströmningsområde i erforderlig omfattning så att ett mycket gott underlag kan presenteras till lokaliseringsansökan.

Det hittills genomförda arbetet på Äspö uppvisar vissa analogier med anläggning av ett djupförvar (val av område, platsanpassning av anläggningen, preliminärt underlag för utbyggnad m m).

Den geometriska utformningen av djupförvaret kommer att påverka förvarets utbyggnad och säkerhet. Berget är ett starkt heterogent material. Vissa partier av berget är starkt uppkrossat (sprickzoner). Filosofin för förvarsutbyggnad är att successivt anpassa förvarets geometriska utformning, så att bergets dåliga partier undviks.

Utbyggnaden av Äspölaboratoriet från djupet 300 m till djupet 460 m kommer att i första hand utnyttjas för att pröva metodik för **successiv karakterisering och successiv utformning**. Filosofin design-as-you-go har lång tradition inom undermarksbyggande. Denna tradition innebär a) undersökning av berget b) utformning c) byggande och dokumentation d) utvärdering med korrigering åtgärder rörande undersökning, utformning och dokumentation.

Aktiviteterna genomförs inom ramen för ett speciellt program, Bergvolymbeskrivningar. Förutom Bergvolymbeskrivningar genomförs aktiviteter inom områdena Passage av zoner och Bygghetsanalys.

### Bergvolymbeskrivning

Detaljundersökningar under utbyggnad från 300 till 460 m djup sker med tre inriktningar, nämligen lokalisering av anläggningen, lokalisering av experimentområden. Som ren metodikutveckling kommer även metoder att lokalisera lämpliga närområden till förvarskapslar att prövas.

### Lokalisering av anläggningen

Södra Äspö begränsas av flera mäktiga svaghetszoner. Redan ur /12-6, Figur A54/ framgår att det finns möjlighet att den mäktiga svaghetszonen NE-1 skär in i anläggningen. Med hänsyn till byggnadstekniska problem m m bör denna zon undvikas.

Kompletterande undersökningar inleds hösten 1992 för att mer exakt lokalisera bl a denna zon. På basis av undersökningens resultat kommer tunneln mellan 300 m till 460 m att anpassas till det byggnadstekniskt

bättre berget. Undersökningarna riktas framför mot geologiska och bergmekaniska förhållanden. Arbetet stöddes med visuella hjälpmedel (CAD). Resultatrapportering sker i s k Technical Notes. Efter genomförda undersöknings- och anläggningsarbeten sker utvärdering och utarbetande av rekommendationer.

### Lokalisering av experimentområden

De experiment som ska genomföras under driftskedet lokaliseras preliminärt under 1993. Kompletterande undersökningar sker under anläggningstiden för att slutligt lokalisera experimenten. Undersökningarna av bergvolymen för experimenten sker med den filosofi som använts för att verifiera förundersökningarna map t ex skala och nyckelområden.

### Lokalisering av lämpliga närområden

Lämplig bergmiljö för deponering av kapslar är att närområdet är mekaniskt stabilt, att den kemiska miljön är reducerande, samt att vattenomsättningen är låg.

Förundersökningar för ett förvar syftar bl a till att bestämma lämplig plats för ett förvarsområde. I de därpå följande detaljerade undersökningarna ska det bekräftas att det finns en förvarsvolym tillgänglig. I samband med utbyggnaden av förvaret kan olämpliga kapselpositioner successivt förkastas. Metodik för detta kommer att prövas vid Äspölaboratoriet.

Ett första skede omfattar att för en given bergvolym på Äspö uppskatta antalet lämpliga kapselpositioner i denna bergvolym som uppfyller krav på mekanisk stabilitet, kemiskt reducerande miljö och låg vattenomsättning.

På Äspö har kvalificerade strukturgeologiska analyser genomförts. Dessa har kompletterats med åldersdatering av sprickmineral, bergspänningsmätningar m m. Data m m ska nu användas för att pröva metodik att anvisa icke rörelsebenägna bergvolymmer.

Antalet möjliga kapselpositioner styrs till stor del av önskemålet på låg vattenomsättning. Vattenomsättningen (och därmed antalet kapselpositioner) är beroende av det lågkonduktiva blockets konduktivitet. Antalet kapselpositioner är också beroende på val av blockstorlek och det s k respektavståndet till större svaghetszoner.

### Passage av svaghetszoner

I samband med pågående tunneldrivning har redan insatser genomförts för att pröva metodik för att exakt lokalisera svaghetszoner, för att karakterisera zonen i samband med zonpassagen och för att genomföra kontrollerad injektering. Genomfört arbete kommer att redovisas under 1993. I redovisningen kommer det ingå förslag till kompletterande byggnadsteknisk utveckling, då särskilt rörande tätningsteknik.

### Bygghetsanalys

Erfarenheter från projektering och utförande av anläggningen kommer att sammanställas och rapporteras.

Metodik för s k bygghetsanalys kommer att prövas. Undersökningsdata ska på ett systematiskt sätt användas för att beskriva hur anläggningsarbetena tekniskt ska planeras och genomföras. Analysen ska också utmynna i systematiska bedömningar av arbetsmängd (förstärkningsmängd) och tidsåtgång.

### 12.7.4 Test av modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration

I en lokaliseringsansökan för ett djupförvar måste den långsiktiga säkerheten redovisas. Detta kräver bl a kunskaper om grundvattenströmning och radionuklidmigration. Äspölaboratoriet ger möjlighet att praktiskt tillämpa och utveckla modeller och teorier.

Baserat på utvärdering av tidigare utförda arbeten inom Stripa-projektet, Äspölaboratoriet, säkerhetsanalysen SKB 91 m m planeras för ett experimentprogram enligt nedan. Detta program kommer att vara intimt kopplat med utveckling och tillämpning av numeriska modeller.

Liksom SKBs övriga verksamhet kommer planeringen successivt att anpassas till vunna erfarenheter. Hänsyn kommer även att tas till de internationella deltagarna i projektet.

### Försök i detaljskala

#### Bakgrund

För de flesta lösta ämnen sker transporten av ämnet långsammare än grundvattnets genomsnittliga flödes hastighet. Detta beror på ett flertal olika processer som ger upphov till en uppbromsning av de lösta ämnena relativt det strömmande grundvattnet. Viktiga processer är dispersion och retention. Retentionen (uppbromsningen) orsakas av följande mekanismer:

- Radionuklider sorberar på mineralytor där grundvattnet rör sig.
- Radionuklider diffunderar ut från vattenförande sprickor till det stagnanta vattnet i det förbundna systemet av mikrosprickor i berget, och sorberas på mineralytorna där.

Även icke-sorberande ämnen fördröjs genom att de uppehåller sig i det stagnanta vattnet i mikroporerna och på så vis undandras transporten i det flödande vattnet i vattenförande sprickor. Radionuklidretention enligt det här mönstret är väsentlig och refereras ofta till som "matrisdiffusion".

Syftet med detta experiment är att få fram data som kvantitativt belyser effekten av de olika processerna i olika sprickor och flödesregimer.

Grundläggande för beskrivningen är en god uppfattning om hur grundvattenflödet fördelar sig i ett sprickplan. Flödesfördelningen bestämmer variationerna i flödeshastighet och därmed dispersionen, den påverkar även den yta som kommer i kontakt med det rinnande vattnet och därmed den yta som är tillgänglig för sorption. Denna yta kallas ofta den "våta ytan", och är en viktig parameter i de ekvationer som används för att beräkna radionuklidtransport.

Att få fram data på den våta ytan är en svår uppgift. En direkt mätning av den våta ytan kan kräva injicering av sorberande spårämnen eller någon typ gel i en spricka som sedan försiktigt grävs ut. Ett alternativ är att mäta den ökning av transporttiden som orsakas av sorptionsmekanismerna genom att jämföra transporttiden för sorberande och icke sorberande ämnen. Flera experiment genomförs för att få statistik på variationen i transportparametrarna.

Detta försök genomförs i vad som kallas "detaljskala" dvs ca 5 m. Mekanismerna som är kopplade till den våta ytan behandlas också under rubriken Redoxreaktioner.

### *Mål*

Målen med försöken i detaljskala är att bestämma de parametrar och de processer som styr transport av sorberande ämnen i enskilda sprickor samt att erhålla kunskap om transportparametrarnas variabilitet för sprickor av olika karaktär.

### *Möjligt utförande*

Ett möjligt utförande redovisas i /12-14/. Detta kommer att närmare diskuteras i den s k Task Force som bildas, se vidare avsnittet om numeriska modeller.

## **Försök i blockskala**

### *Bakgrund*

Enligt nuvarande koncept kommer ett framtida djupförvar att utformas på ett sådant sätt att större vattenförande zoner undviks. Mot bakgrund av den kunskap om vattenförande zoners förekomst som hittills erhållits så kan vattenförande enskilda sprickor eller mindre zoner förväntas korsa tunnarna i djupförvar med jämna mellanrum. Behållare med använt bränsle avses bli placerade i det "bra" berget på lämpligt avstånd mindre vattenförande zoner. Detta experiment syftar till att karakterisera sådana mindre vattenförande zoner och deras koppling till spricksystemet i det omgivande "bra" berget. Experimentet kommer således att ge värdefulla data på en eventuell radionuklidtransport från depositionshålet till permeabla zoner i det omgivande berget.

Experimentet genomförs i en geometrisk skala som kallas blockskalan, ca 50 m. Denna skala kan anses representativ för närområdet som omger behållarna med använt bränsle.

### *Mål*

Målen med experimenten i blockskala är att karakterisera grundvattenflöde och transport i en mindre sprickzon eller en vattenförande spricka med stor utsträckning och dess hydrauliska samband med omgivande nätverk av sprickor samt att förbereda experimentområdet för experimentet Radionuklidretention.

### *Möjligt utförande*

Ett möjligt utförande redovisas i /12-14/. Detta kommer att närmare diskuteras i den s k Task Force som bildas, se vidare avsnittet om numeriska modeller.

## **Försök i anläggningsskala, regional zoner**

Utkast till möjliga försök i s k anläggningsskala och regionala zoner beskrivs närmare i /12-14/. Det är inte planerat att påbörja dessa experiment förrän i slutet av 1990-talet.

## **Radionuklidretention**

### *Bakgrund*

Laboratorieundersökningar för att validera modeller och kontrollera de data som används för att beskriva radionuklidens upplösning i grundvatten, inverkan av radiolys, bränslekorrosion, sorption på mineralytor, diffusion i bergmatrisen och diffusion i återfyllnadsmaterial har pågått under en tioårsperiod. Det är emellertid mycket svårt att i laboratoriet efterlikna bl a följande betingelser på ett invändningsfritt sätt:

- Naturliga reducerande förhållanden.
- Naturlig halt kolloidala partiklar.
- Naturligt innehåll av mikrober.
- Naturlig halt av lösta gaser.
- Ostört berg, dvs berg med mikroporsystem och även större sprickor som inte tryckavlastats genom provtagning.

Samtliga dessa förhållanden är viktiga för berget som barriär dvs de har stor inverkan på upplösning eller retention av radionuklider om radioaktivt avfall exponeras för grundvatten.

### *Mål*

Målen för undersökningarna är att

- pröva upplösning och migration av radionuklider in situ,
- validera modeller och kontrollera konstanter som används för att beskriva radionuklidens upplösning i grundvatten, inverkan av radiolys, bränslekorrosion, sorption på mineralytor, diffusion i bergmatrisen, diffusion i återfyllnadsmaterial, uttransport ur en skadad kapsel och transport i en enskild bergspricka,
- speciellt pröva inverkan av naturliga reducerande förhållanden på löslighet och sorption av radionuklider,

- pröva grundvattnets förmåga att ta upp och transportera radionuklider med naturliga kolloider, humusämnen och fulvosyror,
- undersöka bakteriers inverkan på kemiska förhållanden och radionuklidmigration, samt
- undersöka kemisk inverkan av injekterings- och återfyllnadsmaterial såsom bentonit och cement.

#### Utförande

Utvecklingen av ett speciellt instrument – kemisond, CHEMLAB-sonden, har påbörjats.

Experimenten som ska utföras i sonden och ute i sprickzonen förbereds genom laborieförsök. Avsikten är att utnyttja den zon som karakteriserats inom ramen för experimentet Försök i Blocksкала, se ovan. Ett utkast till experimentprogram framgår ur /12-14/.

## Redoxreaktioner

### Bakgrund

SKB-undersökningarna visar att grundvattnet är reducerande varhelst det provtogs i berggrunden. (De ytliga provtagningarna härrör från 40–50 m djup, de djupa från drygt 1000 m djup. Totalt har 82 nivåer i totalt 25 olika kärnbrorhål provtagits sedan 1982. Samtliga dessa har kvalitetsklassats.) Buffertkapaciteten är emellertid låg, speciellt i vatten med högt pH och tillhörande låg löslighet för tvåvärt järn. Däremot finns det en hög buffertkapacitet i de olika reducerande mineral som förekommer.

Även om bergets redoxbuffert på det hela taget är mer än tillräcklig kan man tänka sig att redoxförhållandena förändras i en kanal som leder vatten in till förvaret medan det står öppet. Efter förvarets förslutning utgör denna kanal en potentiell transportväg för radionukliderna upp till biosfären. I en dylik situation är det inte uteslutet att ämnen som oxiderats genom radiolys kan vandra upp till biosfären utan reduktion och sorption av radionukliderna. Konsekvenserna av detta är de samma som av det scenario i KBS-3 där man antagit oxiderande förhållanden i geosfären, dvs individdosen blir 100 gånger högre än under i övrigt samma men reducerande förhållanden.

Redoxexperimentet syftar till att undersöka parametrar som har betydelse för redoxfrontens utbredning i berget. Två sådana parametrar är kanalbildning och ”våt yta”. Förutom syrereduktion är det viktigt att veta hur redoxkänsliga nuklider påverkas av olika redoxreaktioner, som uranreduktion, kolloidbildning och medfällning.

Undersökningar av grundvatten från borrhål visar att det finns bakterier i allt grundvatten som provtas. Detta kan eventuellt bero på kontaminering under borrhållning och annat som föregått provtagningen.

Inom ramen för Redoxreaktioner är syftet att även besvara följande frågor:

- Förekommer bakterier i ostört berg?
- Vilka arter dominerar i så fall?

- Hur stor del av bakterierna sitter på sprickytor?
- Vad lever de av?
- Vilka är aktiva?
- Producerar de komplexbildare?

### Mål

Målet för redoxexperimentet är att klargöra hur snabbt syrereduktion i en vattenförande sprickzon sker samt effekterna av att en oxiderande front tränger igenom ett spricksystem som tidigare varit reducerande. Effekterna på vatten och mineralsammansättning skall studeras. Mekanismerna bakom processerna skall utredas så att resultaten generellt kan tillämpas för nuklidtransportberäkningar. Speciellt utreds sorptionsmekanismers beroende av den våta ytan.

Ett ytterligare mål är att utreda bakteriers förekomst och inverkan på grundvattenkemin.

### Pågående undersökningar

Redoxexperimentet påbörjades 1991. Experimentet utföres i en sidotunnel vid 510 m sektionen i tillfartstunneln till Äspölaboratoriet. Via tre korta kärnbrorhål som penetrerar en vattenförande zon studeras förändringar i vattnets och sprickmineralens karaktär. Utförandet beskrivs mer i detalj i /12-14/.

### Planerade undersökningar

Det blockskaliga redoxförsök som beskrivs i /12-14/ är kvalitativt sett fullständigt. Det kommer emellertid att vara svårt att bestämma redoxbuffertkapaciteten i flödesvägarna eftersom mineralen, mineralyta/volymförhållandet och flödes hastigheterna inte kan bestämmas explicit. Därför planeras ett motsvarande försök i mindre skala där alla ingående parametrar kan kontrolleras. Förutom att studera endast syrereduktionen kan man i liten skala även studera hur andra redoxkänsliga ämnen, i första hand uran men även aktinidanaloger, påverkas av redoxfronten.

Tillgängligheten av järn och sulfidhaltiga mineral har betydelse för om sprickytor kan reagera med redoxkänsliga aktinider och uran. Förutom rena redoxreaktioner kan även sorptions- och medfällningsreaktioner bidra till att fixera dessa ämnen. Sorptionsreaktionerna är sannolikt irreversibla. Redoxreaktioner och sorption kommer – om möjligt – att undersökas i den spricka/sprickzon som tidigare karakteriserats för det blockskaliga redoxförsöket. Resultaten skall även användas i syfte att definiera den ”våta ytan”.

### Möjligt utförande

Uran(VI) lösning injiceras kontinuerligt via borrhål in i en zon/spricka tills genombrott konstateras i annat borrhål. Ett utkast till experimentprogram framgår ur /12-14/.



## Störda zonen runt orter

### Bakgrund

Uttag av hål i berget, såsom orter, schakt, deponeringshål eller borrhål, innebär en störning på det berg som omger hålet i förhållande till det tillstånd som rådde innan hålet skapades. Påverkan på det omgivande berget beror bland annat på faktorer som håltagningsteknik, hålets storlek, spänningsförhållanden, bergartens struktur och sprickförekomst. I detta sammanhang används ofta begreppet "störd zon". Därmed avses det område runt hålet där bergets egenskaper i något avseende förändrats på grund av hålets existens eller till följd av det arbete (t ex sprängning) som utförts för att skapa hålet.

Den störda zonens egenskaper och utsträckning måste beaktas vid design av förvaret, vid tolkningen av tunneldata och vid analysen av den långsiktiga säkerheten. För att fastställa i vilken utsträckning den störda zonen påverkar ett djupförvars långsiktiga säkerhet erfordras en förståelse av de processer som påverkar den störda zonens egenskaper och utbredning.

Den störda zonen påverkar också vattenupptagningen i den bentonit som omger kapslarna.

Den störda zonens egenskaper och funktion har studerats in-situ vid ett flertal underjordiska forskningslaboratorier under de senaste decennierna. De forskningsarbeten som har störst relevans för det svenska programmet är de arbeten som utförts i Stripa gruva sedan 1977, Underground Research Laboratory (URL) i Kanada, Grimsel Test Site (GTS) i Schweiz samt vid några laboratorier i USA /12-11/. Under 1991 genomfördes ett försök i Äspölaboratoriets tillfartstunnel där utbredning och karaktär på sprängskador studerades som en funktion av olika sprängplaner /12-22/.

De experiment som hittills genomförts har identifierat ett antal mekanismer som uppenbarligen är av betydelse för den störda zonens egenskaper. De mekanismer som bedömts vara potentiellt betydelsefulla är

- den initiella spänningslast som fås vid sprängning och passage av ortfronten,
- nya sprickor skapade genom sprängning,
- spänningsomlagring och berg rörelser orsakade av hålrummet som skapas vid utbrytning av orten,
- tvåfasflöde orsakat av ventilation (torkning), avgasning av i grundvattnet lösta gaser och/eller intrusion av spränggaser,
- kemiska reaktioner och mineralogiska förändringar i tunnelns närområde (kan orsakas av mekanisk påverkan, spränggaser, syreintrusion, blandning av grundvatten med olika kemi, eller bakteriell aktivitet),
- påverkan på berget orsakad av buffertmaterial (t ex svälltryck, intrusion av bentonit i sprickor).
- termisk påverkan på berget på grund av värmen från avfallskapseln,
- krypeffekter i berget orsakade av spänningsavlastning och dess påverkan på den långsiktiga meka-

niska stabiliteten och de hydrauliska egenskaperna hos deponeringstunnlar.

Vid de experiment som genomfördes inom ramen för det så kallade Site Characterization and Validation projektet i Stripa identifierades avgasning av grundvatten som en potentiellt betydelsefull process i störda zonen. De i grundvattnet lösta gaserna frigörs och bildar bubblor vid låga tryck. På så sätt kommer det att uppstå en zon runt orten som inte är fullständigt vattentätt. Den omättade zonen kan sedan växa på grund av uttorkning av berget genom ventilation. Omättade förhållanden innebär att två-fasflöde av gas och vatten kan uppstå i närheten av ett dränerat borrhål eller en ort, vilket leder till en minskning av den hydrauliska konduktiviteten. Denna process förväntas minska inflödet till orter och deponeringsplatser under byggandet av ett djupförvar men i och med att vattentrycket återgår till det normala när förvaret återfylls kommer två-fasflöde inte spela någon roll för förvarets långsiktiga funktion. Processen påverkar dock de observationer som genomförs under utbyggnad av djupförvaret.

### Mål

Målen för undersökningarna av den störda zonen är att kvantifiera de parametrar som styr processer i störda zonen, att beskriva processernas relativa betydelse för förvarssystemets funktion, samt att utveckla och validera kvantitativa modeller för väsentliga processer i störda zonen.

Ett i tiden näraliggande mål är att bygga upp en grundläggande förståelse för och kvantitativ beskrivning av avgasning av grundvatten och dess effekt på bergets hydrauliska egenskaper samt eventuella hystereseffekter i samband med återställande av vattentättade förhållanden.

### Möjligt utförande

Den störda zonen utgör ett omfattande problemkomplex där flera processer samverkar på ett komplicerat sätt. För att kunna beskriva de olika processerna och experimentellt verifiera kvantitativa samband är det viktigt att i möjligaste mån separera olika processer och studera dem var för sig. Forskningen om störda zonen har därför indelats i ett antal delprojekt.

Först studeras inverkan av avgasning och två-fasflöde genom mätningar i några för ändamålet speciellt borrhålar. Avgasning och två-fasflöde är processer som beror på vattentrycket och är i princip oberoende av existensen av en ort. Dessa processer studeras med fördel i borrhål där inverkan av förändringar i bergspänningar kan minimeras. Resultaten från borrhålexperimenten kan sedan användas för att uppskatta inverkan av två-fasflöde runt en ort.

I ett senare skede genomförs ett mer omfattande experiment där de hydrauliska och mekaniska egenskaperna hos bergmassan studeras i samband med utbrytningen av en simulerad deponeringsort. Detta projekt detaljutföras mot bakgrund av de erfarenheter som vunnits från det första projektet.

Utkast till experimentprogram redovisas i /12-14/. Dessa utkast kommer närmare att diskuteras i den s k Task Force som bildas, se vidare avsnittet om numeriska modeller.

## Numeriska modeller

### Bakgrund

Numerisk modellering av bl a grundvattenströmning har varit en integrerad del av Äspölaboratoriet från första början. Ursprungligen påbörjades modelleringen med en enkel generisk modellering av olika alternativ till utformning av laboratoriet och med hänsyn tagen till det salta grundvatten som finns. Efterhand utvecklades modellerna till en omfattande prediktionsmodell av tillfartstunneln och dess effekter på grundvattennivåer och vattenomsättning. Tillfartstunneln är för närvarande under byggnad och modellen stäms av mot data som erhålls under anläggningsskedet.

Grundvattenmodelleringen kommer även fortsättningsvis att vara en viktig del av projektet. Transport- och flödesmodellering pågår för närvarande i syfte att förfinas de existerande modellerna och att införa transport av lösta ämnen i desamma på ett mer omfattande sätt. Dessutom fortgår utvecklingen av modeller för radionuklidtransport med inriktning på att förbättra möjligheterna att beakta att transporten sker i ett komplext nätverk av vattenförande kanaler. Detta arbete är direkt kopplat till de planerade försöken.

De experiment som planeras att bli genomförda kommer att i största möjliga mån integreras med utveckling av konceptuella och numeriska modeller.

### Mål

Modelleringen ansluter till Äspölaboratoriets etappmål att utveckla och i stor skala på försvarsdjup pröva metoder och modeller för bestämning av grundvattenflöde och radionuklidmigration i berg.

De mål avseende modellering, som skall uppnås är

- att förstå och konceptualisera grundvattenströmning samt transport av lösta och sorberande ämnen i sprickigt berg,
- att med numeriska modeller prediktera dessa processer i de olika experimenten,
- att verifiera och validera använda modeller,
- att överföra kunskap mellan i projektet deltagande organisationer,
- att jämföra och utvärdera modeller för att bedöma deras lämplighet som underlag för licensiering av ett djupförvar.

### Genomförande

Experiment föregås av prediktioner eller åtminstone översiktliga beräkningar.

En huvuduppgift är att framgångsrikt modellera de planerade experimenten.

För samordning mellan experimenterare och modellutvecklare inrättas en s k Task Force (arbetsgrupp)

med deltagare från de medverkande internationella organisationerna.

Gruppen kommer att följa ett antal modelleringsprojekt anknutna till experimenten. Valet av projekt styrs av uppgifternas principiella vikt och svårighetsgrad, samt givetvis också av betydelsen för i projektet deltagande organisationer.

Det kombinerade pumpförsöket och radioaktiva spårförsöket (LPT-2) har föreslagits vara en inledande studie för de deltagande modelleringsgrupperna.

## 12.7.5 Demonstration av bygg- och hante-ringsmetoder

Äspölaboratoriet ger möjlighet till att vidareutveckla och pröva teknik för att säkerställa hög kvalitet i utformning, byggande och drift av djupförvar.

Det förutses att den teknik som skall användas för Demonstrationsprojektet, se kapitel 6, kommer att prövas vid Äspölaboratoriet.

I samband med nuvarande utbyggnad av Äspölaboratoriet har det visat sig att den traditionella anläggningstekniken inte är tillräckligt robust vad avser passage av vattenförande zoner med höga vattentryck. Teknikutveckling på detta område är av värde.

Det är viktigt för säkerheten att ett djupförvar utformas och anpassas med hänsyn till de verkliga geologiska förhållandena på en plats. Det förutses att metodik för successivt val av läge av förvarstunnlar och kapselpositioner behöver prövas och demonstreras. Detaljplanering för sådan verksamhet kan ske när förvarskonceptet är fastställt. I samband med denna verksamhet förutses smärre anläggningsverksamhet.

## 12.7.6 Prov av viktiga delar i förvarssystemet

Äspölaboratoriet ger möjlighet att i full skala pröva, undersöka och demonstrera olika komponenter som har betydelse för långtidssäkerheten hos ett djupförvar. Sådan provning sker bl a för teknik som skall användas vid demonstrationsdeponering i djupförvaret, se kapitel 9.

Detaljerad planering sker när förvarskonceptet fastställts.

## 12.7.7 Anläggningsarbeten

Äspölaboratoriet utformas så att det tillgodoser behoven av forskning, utveckling och demonstration.

Undermarksdelen är utformad som en tunnel från Simpevarp till södra delen av Äspö. På Äspö byggs två spiralvarv tunnel till djupet ca 460 m. Nischer och sidotunnlar m m anläggs efter behov. Undermarksdelen



Figur 12-6. Översiktsvy av Äspö By.

ansluts till markytan med hisschakt och två ventilationsschakt.

Vid södra Äspö anläggs Äspö By, se Figur 12-6.

### 12.7.8 Kvalitetssäkring

Under 1993 slutförs arbetet på att upprätta en formell kvalitetssäkringsplan för Äspölaboratoriet för att säkerställa önskad kvalitet. Av särskild vikt är att uppnå spårbarhet av data och modeller.

## 12.8 INTERNATIONELLT DELTAGANDE

SKB har bl a drivit STRIPA-projektet tillsammans med flera internationella organisationer. Internationell samverkan främjar kvalitet, resursutnyttjande och acceptans både för SKB och de deltagande organisationerna. Avtal om medverkan i Äspölaboratoriet har under 1992 tecknats med TVO, Finland och ANDRA, Frankrike samt NIREX, UK. Förhandlingar med DOE, USA är i stort sett slutförda.

Tillsammans med tidigare avtal med PNC och CRIEPI, Japan samt AECL, Kanada innebär detta att sju utländska organisationer blir knutna till projektet genom olika avtal. SKB får genom dessa avtal nära

kontakt med den främsta expertisen i de berörda länderna inom de för Äspölaboratoriet vitala forskningsområdena. Detta ger förutsättningar för en internationellt hög kvalitet på arbetet.

Det praktiska samarbetet sker t ex genom att organisationerna har personal på platsen (PNC och CRIEPI), att instrument provas (ANDRA), att modeller för grundvattenströmning och transport av lösta ämnen utvecklas och provas vidare (PNC, CRIEPI, US/DOE, ANDRA, TVO, NIREX).

Det vetenskapliga utbytet sker också genom deltagande i referensgrupp (Scientific Advisory Committee) och inom ramen för en arbetsgrupp s k Task Force.

Flera av de deltagande organisationerna har planerat ytterligare undersökningar och experiment. Undersökningarna ingår i de avtal som träffats med respektive organisation och genomförs utöver det program som här redovisas. Dessa arbeten ser SKB som ett betydande mervärde till projektet.

## 12.9 GENOMFÖRANDE, ORGANISATION, INFORMATION

Insatserna vid Äspölaboratoriet genomförs liksom SKBs övriga FoU-arbeten genom uppdrag till universitet, högskolor, forskningsinstitutioner, konsulter, in-



Figur 12-7. Besöksnischen.

dustrier och andra svenska och utländska forskare. Härigenom ges möjlighet till att hålla genomgående en hög kompetens och kvalitet. För olika undersökningar och experiment har man möjlighet att välja den mest lämpade kvalificerade experten. För vissa frågor kan man pröva olika alternativa vägar eller modeller.

Inriktningen och programinnehållet utarbetas av en programgrupp inom SKBs enhet för Forskning och Utveckling. Med FUD-programmet som grund utarbetas årliga planeringsrapporter som relativt detaljerat beskriver det närmaste årets arbete. Två referensgrupper har tillsatts för att ge råd och synpunkter på program och resultat (Scientific Advisory Committee och Construction Advisory Committee). Det internationella samarbetet koordineras i en Technical Coordinating Board.

Projektet leds av en projektledare inom SKBs enhet för Forskning och Utveckling. En projektgrupp svarar för genomförande av arbetena. Ansvariga för geologi, hydrogeologi, geokemi, instrument, anläggning utarbetar förslag till övergripande program, upprättar ob-

jektplaner, analyserar och utvärderar resultat m m. Platskontoret genomför arbeten på platsen. Då behov finns definieras löpande olika delprojekt för att uppnå god samordning.

Anläggningsarbeten genomförs på entreprenad. Entreprenadkontraktet rörande mark- och bergarbeten tecknades med Siab 14 juni 1990 och avser färdig tunnel till fullt djup och schakt upp till dagen för hiss och ventilation.

Personhiss för kommunikation mellan Äspö By och undermarken levereras av ABB Drives AB.

Ventilationssystem levereras av Svenska Fläkt AB.

Större återstående upphandling rör byggnadsarbeten för Äspö By.

Information om projektet sker på flera sätt. Allmänhet och närboende informeras på platsen. En särskild besöksnisch är iordningställd i tillfartstunneln där SKBs verksamhet och Äspölaboratoriet presenteras, se Figur 12-7. Vidare finns allmän information i utställningslokalen i Simpevarp by och en "naturstig" ute på Äspö; båda är öppna för allmänheten.

# 13 STRIPA-projektet

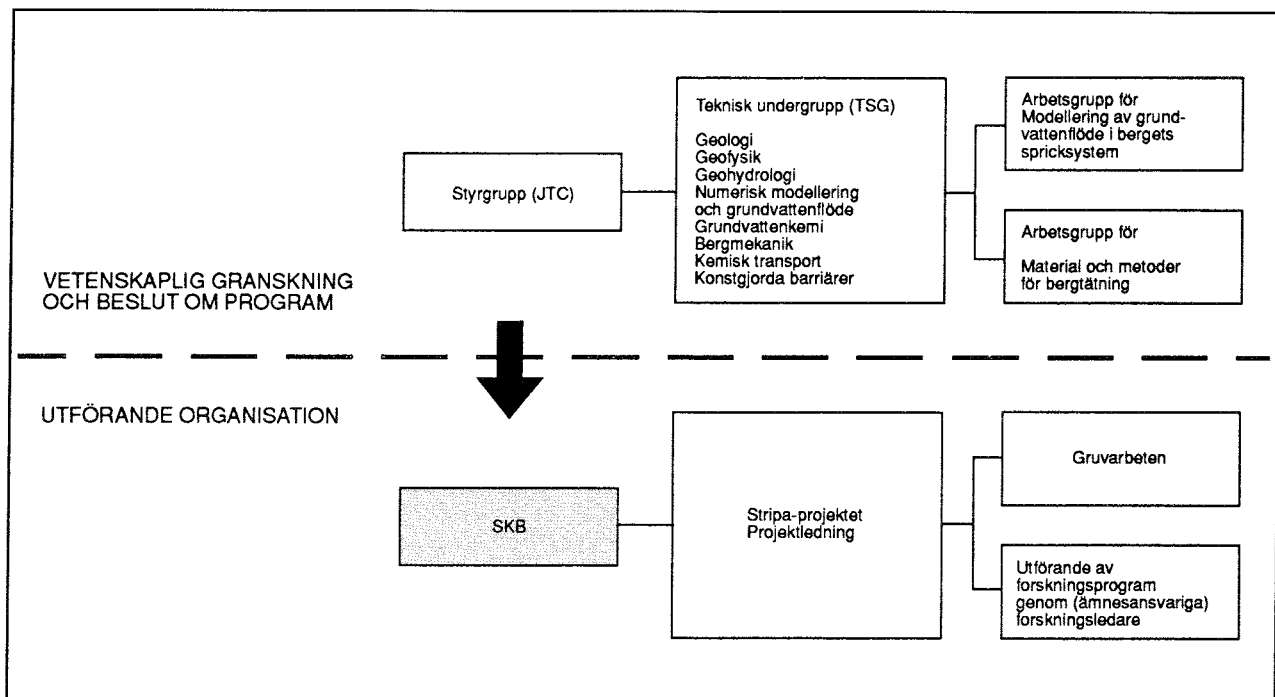
## 13.1 INLEDNING

Det internationella Stripa-projektet inleddes 1980 som ett autonomt projekt inom OECD Nuclear Energy Agency (NEA). Projektet hade två syften, (1) att utveckla teknik för att undersöka djupt belägen kristallin berggrund med potentiella möjligheter för ett geologiskt slutförvar av högaktivt avfall och (2) att studera speciella tekniska lösningar för att under långa tidsperioder höja säkerheten i ett geologiskt förvar. Under projektets tretton år och tre faser har aktiviteterna koncentrerats till Stripa gruva i Bergslagen där in-situ experiment och försök utförts. De sista undersökningarna avslutades och gruvan övergavs den 30 juni 1991.

Finland, Frankrike, Kanada, Japan, Spanien, Sverige, Schweiz, Storbritannien och Förenta Staterna har alla deltagit i olika faser av Stripa-projektet. Organisationsstrukturen i Fas 3, se Figur 13-1 visar de två viktigaste funktionerna under hela projektets gång; (1) vetenskaplig granskning och beslut om program samt (2) utförande av forskningsarbetet. Projektets övergripande styrning har skett genom Joint Technical Committee (JTC) som bestod av representanter från vart och ett av

de deltagande länderna. Ansvaret för det löpande projektarbetet åvilade SKB. Den Tekniska Undergruppen (TSG) som bestod av representanter från de deltagande länderna ansvarade för fortlöpande utvärdering och uppföljning av undersökningarna samt för rekommendationer till JTC beträffande det fortsatta forskningsarbetet. Under Fas 1 och 2 arbetade två Tekniska Undergrupper var för sig med; (1) grundvattenflöde och transport av nuklider samt (2) tekniska barriärer och bergmekanik. På grund av den mer integrerade karaktären av de forskningsaktiviteter som drevs under Fas 3 etablerades en sammanslagen Teknisk Undergrupp med assistans från två arbetsgrupper. De två arbetsgrupperna svarade för områdena: modellering av grundvattenflöde i bergets spricksystem respektive material och metoder för bergtätning.

Nedanstående sammanfattande beskrivning av Stripa-projektet är mycket summarisk. Den slutliga avrapporteringen och analysen av projektet pågår som intensivast då detta skrivs, ett arbete som kommer att vara avslutat under december månad 1992. En komplett sammanfattande rapport på svenska kommer att föreligga under januari månad 1993.



Figur 13-1. Organisationsplan för Stripaprojektet.

## 13.2 STRIPA GRUVA

Stripa gruva är belägen i ett traditionsrikt gruvdistrikt omkring 250 km väster om Stockholm. Gruvdriften startade redan i mitten av fjortonhundratalet och sammanlagt har 16,5 miljoner ton järnmalm brutits under de olika driftsepokerna mellan åren 1448 och 1976. Stripagruvans järnmalm utgörs av kvartsblandad hämatit som omges av en stor volym granit av medelkornig grå till ljusröd typ. Granitens ålder har beräknats till 1,7 miljarder år. Hittills har alla in-situ experiment utförts i graniten.

Granitvolymen, i vilken Stripa gruva är belägen, övertväras av ett antal regionala sprickzoner med omkring en kilometers mellanrum. Det är känt att åtskilliga sprickssystem finns i bergmassan mellan dessa regionala zoner, men majoriteten av sprickorna är igensatta av främst klorit men också av kalcit. Orter och schakt i gruvan påverkar grundvattnets regionala flödesvägar som i vissa fall uppgår till en längd av 10 km. Under tidens lopp har en del av grundvattenflödet mot den närbelägna sjön Råsvalen påverkats till den grad att flödet upphört. Den bergvolym som använts vid in-situ försök är belägen i ett lokalt system av grundvattenflöde där gruvan tjänar som inströmningsområde. Det nedåtriktade flödet av "yngre" låg-salint grundvatten och det uppåtriktade flödet av "äldre" mera salint grundvatten, blandas. Härigenom kommer graniten i gruvans närhet att innehålla en blandning av de två olika vattentyperna. Gruvan har emellertid ansetts vara mycket torr då endast 500 l vatten/min pumpats upp.

Sedan 1977, då de tidigaste experimenten påbörjades inom det svensk-amerikanska samarbetsprogrammet (SAC), har cirka 700 m ny ort drivits i graniten från de två befintliga orterna på 360 meters respektive 410 meters nivå. Huvudområdet där in-situ försöken utfördes är beläget cirka 800 m från huvudschaktet.

## 13.3 FAS 1 – 1980-1985

Stripa projektets Fas 1 pågick under perioden 1980 – 1985 /13-1/. Deltagande länder var Kanada, Finland, Frankrike, Japan, Sverige, Schweiz och Förenta Staterna. Målen var

- att vidareutveckla metoder för mätning av den hydrauliska konduktiviteten hos en sprucken bergmassa i horisontella och lutande borrhål,
- att vidareutveckla metoder och rutiner för att bestämma den kemiska sammansättningen hos grundvattnet i berget, innefattande grundvattnets ursprung och förändringar över tiden,
- att öka förståelsen för i grundvattnet lösta ämnens egenskaper då vattnet strömmar genom en sprucken bergmassa,
- att utvärdera lermaterials egenskaper i en sprucken vattenmättad bergmassa under simulerade förvaringsförhållande.

De hydrogeologiska undersökningarna utfördes i vertikala och horisontella borrhål på 360 meters nivå i Stripa gruva. Eftersom grundvattnet från malmkroppen dräneras in i gruvan koncentrerades undersökningarna till mätningar av vattentryckets ökning i stängda borrhål respektive tryckets sänkning i öppna borrhål. Ett "straddle-packer system" användes för att undvika stora gradienter utmed borrhålet och för att särskilja det intakta berget från sprickzoner.

Kombinationen av enhålsmätningar och flödesmätningar (interferenstester) resulterade i en bestämning av de hydrauliska egenskaperna hos det intakta respektive det uppspruckna berget. Vidare visade mätningarna att det föreligger en storskalig anisotropi i den hydrauliska konduktiviteten med raka flödesvägar som kan sträcka sig över stora avstånd och med högkonduktiva vattenvägar mellan borrhål. De geokemiska studierna visade att åldersdatering av grundvatten inte är meningsfull när den baseras på mätning av enskilda radioaktiva isotoper. Resultaten indikerade snarare att olika isotoper har olika uppehållstider på grund av olika ursprung och att flera olika processer påverkar isotoperna i det cirkulerande grundvattnet.

Flödesexperimenten studerade det naturliga grundvattnets transport av lösta spårämne i öppna sprickor. Resultaten indikerade bl a att spårämnets transport kontrolleras i huvudsak genom att vattnet strömmar i kanaler som finns i de öppna sprickorna. I vissa oregelbundet belägna punkter i sprickan blandas vidare vatten från olika kanaler. Kanalerna tros också innehålla områden med stillastående vatten genom vilket de lösta ämnena transporteras genom diffusion.

Försöken med lera som buffertmaterial innefattade bl a ett experiment där sex elektriska värmare, var och en innesluten i högkompakterad bentonit, placerades i sex borrhål i sula i en ort. Borrhålen hade en diameter av 0,76 m och var 3 m djupa. Två av borrhålen var belägna nära änden av orten och där hela orten senare återfylldes med en blandning av bentonit och sand. Försöket pågick i tre år varvid gjordes kontinuerliga registreringar av bentonitens svälltryck och temperatur. Bortsett från några få tillfällen då bentoniten uppnådde en temperatur av 125°C under relativt kort tid, låg maximitemperaturerna i den högkompakterade bentoniten kring 75°C. Resultaten visar att grundvattnet från det omgivande berget penetrerar bentoniten mycket likformigt även då borrhålen genomkorsas av endast ett begränsat antal vattenförande sprickor. På samma sätt ökade trycket i bentoniten likformigt och den maximala tryckstegringen kunde predikteras väl. Inte heller den del av bentoniten som hade uppvärmts till 125°C uppvisade några mineralogiska förändringar bortsett från en svag tendens till att utbilda kiselsyraföreningar.

## 13.4 FAS 2 – 1983-1988

Stripa projektets Fas 2 pågick under perioden 1983 – 1988 /13-2/. Deltagande länder var Kanada, Finland,

Frankrike, Japan, Spanien, Sverige, Schweiz, Storbritannien och Förenta Staterna. Målen var

- att vidareutveckla teknik och metoder för mellanhålsmätningar inkluderande borrhålsradar, seismik och hydrologi för identifiering och karakterisering av sprickzoner,
- att vidareutveckla teknik och metoder för utvärdering av migrationsbeteendet hos icke sorberande ämnen vilka transporteras med grundvattnet genom en bergmassa av granit,
- att ytterligare studera hydrologiska och geokemiska egenskaper hos Stripa graniten för att förbättra nuvarande metoder för tolkning och presentation av data,
- att utvärdera tätningsförmågan mot grundvattenströmning hos högkompakterad bentonit vid tätning av borrhål och av sprängskador i schakt och tunnlar.

Programmet för mellanhålsmätningar hade som grundidé att utveckla sådan teknik som endast kräver ett fåtal borrhål. Den teknik som utvecklades och prövades inkluderade metoder för högeffektiv borrhålsradar, borrhålsseismik och hydrauliska testmetoder. Borrhålsradarn visade sig kunna användas med upp till 200–300 m:s avstånd mellan borrhålen och med en upplösning av 1-3 m. Tolkningsprogram togs fram för hur man bestämmer den exakta positionen av sprickzoner genom att studera reflexionen från mätningar i enkelhål eller med data från mellanhålsmätningar. Data från borrhålsseismik kan tolkas med tomografi varvid man kan få en bild av den seismiska hastighetsvariationen i berget mellan två borrhål.

Mellanhålsprogrammet visade att fördelningen av större strukturer i en stor bergvolym beskrivs bäst genom en kombination av borrhålsradar i enkelhål och mellanhål och/eller seismikdata som analyserats med hjälp av invers tomografi. När den konceptuella geologiska modellen på detta sätt fastställts bestäms de hydrauliska egenskaperna hos sprickzonerna med hjälp av hydrauliska mellanhålsmätningar där vattentryck och flödes hastigheter varierar sinusformigt. Slutresultatet är en hydrogeologisk modell av bergmassan.

Ett 3-dimensionellt migrationsexperiment omfattade en 100 m lång ort. Stora plastskynken fästes i taket och på den övre delen av ortväggarna. Vatteninflödet till plastskynkena mättes under mer än två års tid under det att den hydrauliska trycknivån i berget registrerades i tre 70 m långa borrhål som borrats lodrätt uppåt i orttaket. Under mer än ett och ett halvt år injekterades dessutom nio olika spårämnen i nio olika sprickzoner i de vertikala borrhålen. Baserat på genombrottskurvorna för sex av de nio spårämnena och fördelningen av vattenflödet till tunneln, drogs slutsatsen att grundvattenflödet hade en mycket ojämn spridning i bergmassan och att ett icke oväsentligt flöde av vatten sker i kanaler som har blott ringa kontakt med huvudkanalerna. Porositeten hos den spruckna graniten inom ett

område 10 m från tunneln beräknades vara dubbelt så stor som den ostörda bergmassans porositet.

Resultatet av de hydrogeokemiska undersökningarna visade att vatteninneslutningar i Stripa graniten troligen är hundratals miljoner år äldre än det rörliga grundvattnet och att dessa delvis kan ha bidragit till bildandet av de salina grundvatten som observerats. Det var vidare möjligt att på basis av radioisotopdata definiera en serie av vertikala zoner i vilka ungt ytvatten och vatten från urberget trängt in och som sedan förblivit opåverkat under många tusen år.

För att tätta mot cirkulerande grundvatten i borrhål, schakt och tunnlar har bentonit visat sig vara ytterst effektiv. Borrhål med en diameter av 56 mm och 76 mm pluggades med cylindrar av bentonit placerade i 2 m långa perforerade rör. Dessa pluggar uppvisade inget läckage upp till en trycknivå av den storleksordning som fodras för att framkalla hydraulisk spräckning av berget i försöksområdet.

Försöket med tätning av schakt och tunnlar utformades så att det gick att jämföra tätnings effektiviteten hos bentonit relaterat till förhållandena vid referensförsök i samma område. Resultaten visade att vattenläckaget reducerades med en faktor av ca 30 när tunneln tätades med bentonit. Den hydrauliska konduktiviteten i en bentonitplugg var betydligt lägre än den hydrauliska konduktiviteten i det omgivande berget. På grund av bentonitens svälltryck uppstår en mycket tät och integrerad gränsyta mellan leran och bergytan vilket förhindrar vattenflöde. Bentonit kan företrädesvis användas i berg som innehåller Ca-rikt grundvatten eftersom den initiala mikrostrukturen bevaras vid jonutbyte.

### 13.5 FAS 3 – 1986-1992

Stripa projektets Fas 3 pågick under perioden 1986 – 1992. Deltagande länder var Kanada, Finland, Japan, Sverige, Schweiz, Storbritannien, och Förenta Staterna. Målen var

- att förutsäga grundvattenflöde och nuklid transport inom ett tidigare ostört bergparti i Stripa gruva och att jämföra dessa förutsägelser med data insamlade genom användande av befintliga och förbättrade instrument och metoder för platsundersökning,
- att välja ut och verifiera lämpligheten av material för tätning av sprickor och sprickzoner under lång tid i kristallint berg, samt demonstrera effektiviteten av representativa tätningsmetoder och den praktiska tillämpningen av utvecklad injektionsteknik.

Till stöd för det första målet genomfördes med början 1986 ett program för platsundersökning och validering, det s k "Site Characterization and Validation Program", SCV-programmet /13-3/. Som plats för genomförandet av SCV-programmet valdes ett block i en tidigare ostörd granitvolym belägen ca 100 m norr om de

gamla gruvorterna mellan 360 m:s och 410 m:s nivåer. Granitvolymen var ca 125 m i sida och 50 m i höjd. SCV-programmet delades upp i fem steg så att fältdata skulle kunna jämföras med förutsägelser vid upprepade tillfällen. Under Steg 1, som kallades – Preliminär karakterisering av bergvolymen, borrades några få hål i den avgränsade granitvolymen. En preliminär databas upprättades med hjälp av data från geologiska, geofysiska, geokemiska och hydrauliska undersökningar i borrhålen. Dessa undersökningar inkluderade användning av mellanhålsseismik, borrhålsradar och enkelhåls hydraultester. Under Steg 2, som kallades – Preliminära prognoser – utvecklades en geohydrologisk modell av SCV-blocket på basis av den under Steg 1 upprättade preliminära databasen. Preliminära förutsägelser av de största spricksystemens geometri samt deras fysiska egenskaper gjordes, jämte förutsägelser av grundvattenflödet inom SCV-blocket. Under Steg 3, som kallades – Detaljerad karakterisering och preliminär utvärdering – borrades ytterligare hål mot det inre av SCV-blocket för att ta fram ytterligare undersökningsdata. Dessa data användes för att utvärdera precisionen i den under Steg 2 gjorda preliminära prognosen beträffande de geohydrologiska förhållandena, grundvattenflödet och de kvalitativa aspekterna på flödesdistributionen inom SCV-blocket.

Under Steg 4, som kallades – Detaljerade prognoser – gjordes förutsägelser om spricksystemens geometri på basis av undersökningsdata framtagna under Steg 3. Dessutom användes en kombination av deterministiska/statistiska matematiska modeller för att förutsäga grundvattenflöde och spårämnesmigration inom SCV-blocket. Under Steg 5, som kallades – Detaljerad utvärdering – drevs en ort för validering av modellerna/prognoseerna, in till SCV-blockets inre. Vattenflödet in i orten mättes och spårämnesdopet vatten injekterades i bergmassan på olika avstånd från valideringsorten och uppsamlades då det kom in i orten. Med den information som erhöles genom visuell inspektion av orten, vattenflödet och experimenten med spårämnesdopet vatten, kunde en utvärdering göras om giltigheten av de förutsägelser som gjorts på basis av undersökningsdata och matematiska modeller.

I det första steget av tätningsundersökningarna i Fas 3 gjordes en jämförelse av egenskaperna hos olika tätningsmaterial. Detta gav ett underlag för val av Na-bentonitbaserad lera och Portlandbaserad cement för vidare laboratorie- och fältförsök. Samtidigt visade pilotskaleförsöken som utfördes i Stripa gruva att sprickor, mindre än 100 mikron, kan tätas effektivt med dessa injekteringsmedel med utnyttjande av dynamisk injekteringsteknik.

Under steg två utfördes fullskaliga tätningsförsök i Stripa gruva. Dessa inkluderade (1) tätning av berg runt två simulerade hål för deponering av avfallsbehållare (0,76 m i diameter och 3,5 m djupa). Injekteringen skedde med hjälp av ett flermanschettsystem; (2) tätning av en störd zon i berg runt ort som drivits genom sprängning; och (3) tätning av en naturlig vattenförän-

de sprickzon som övertvåras en ort. Generellt kan sägas att tätningarna utan tvekan minskade den hydrauliska konduktiviteten hos bergmassan och avledde grundvattenflödet. Försöken visade emellertid också att en del praktiska svårigheter förelåg beträffande teknik för applicering av tätningen.

Långtidsstabiliteten hos tätningsmaterial avser materialens förmåga att behålla sina tätande egenskaper över långa tidsperioder, kanske i hundratals eller tusentals år trots att en förändring av riktningen och/eller storleken av grundvattenflödet sker. Resultaten från laboratorie- och modellförsök visade att (1) den kemiska stabiliteten hos Na-bentonitbaserad lera till stor del beror på temperaturen, särskilt vid temperaturer över 100° C; (2) de viskositetssänkande tillsatserna i den Portlandbaserade cementen är starkt förbundet med de hydratiserade cementfaserna och urlakas endast i små kvantiteter från den härdade cementen. Vidare visar försöken att variationer i porstorlek och porfördelning i den härdade cementfasen, beroende på förändringar i cement/vatten-förhållandet inte någon betydelsefull faktor i lakprocesserna; och (3) faktorer som påverkar långtidsstabiliteten hos tätningsutförande med cement, under förväntade förvaringsförhållanden, omfattar bl a av att den initiala hydrauliska konduktiviteten hos cementen är i storleksordningen 10<sup>-10</sup>–10<sup>-12</sup> m/s, en cement med minimalt ettringit-innehåll, och applicering på en plats som utmärks av låg hydraulisk gradient tillsammans med ett lösningsmättat grundvatten. Resultaten från tätningsförsöken i Stripa Gruva sammanfattas i /13-4/.

## 13.6 SAMMANFATTNING

De viktigaste landvinningarna i Stripa projektet kan sålunda sammanfattas:

- Viktiga framsteg har gjorts i utveckling och användning av teknik för karakterisering av bergmassor, främst gällande borrhålsbaserade metoder inom teknikområdena radar, seismik och hydrologi för detektering och beskrivning av sprickzoner, samt geokemiska metoder för bestämning av grundvat-tencirkulation och grundvattnets ursprung,
- Det finns en god överensstämmelse mellan fältmätningar och prediktering av grundvattnets flöde samt dess transport av lösta ämnen, där predikteringen baserats på användning av moderna sofistikerade numeriska modeller applicerade på begränsade mängder indata,
- Framsteg har gjorts beträffande den grundläggande förståelsen av nuklidens flöde i sprucket berg, särskilt vad avser kanaliserat flöde,
- Metoder för effektiv tätning mot inflöde av grundvatten till, samt flöde i, borrhål, orter, schakt och sprucket berg, har demonstrerats. Genom en kombination av laboratorieförsök och modellering har större förståelse uppnåtts beträffande de egenska-



per som påverkar livslängden hos bentonit- och cementbaserade tätningsmaterial under förväntade förvaringsförhållanden.

Betraktat som helhet ger dessa vetenskapliga framsteg en bas för framtida systematisk och teknisk lösning av de många frågeställningar som finns kring geo-

logiskt förvar av radioaktivt avfall. Denna teknologi har betydande tillämplighet på avfallsprogrammet i Sverige och många andra länder från användning av verktyg och teknik för platsundersökning till att klargöra koncept för karaktärisering av olika geologiska enheter och förutsägelse av grundvattenrörelser inom dessa.

# 14 FoU BETRÄFFANDE ALTERNATIVA METODER SAMT ÖVRIGT RADIOAKTIVT AVFALL

## 14.1 ALTERNATIVA METODER

Samtidigt som forskning- och utvecklingsarbetet på direkt slutförvaring av använt kärnbränsle fullföljs genom byggande av demonstrationsanläggningar för inkapsling och för djupförvaring finns det skäl att avdela vissa resurser åt uppföljning av alternativa metoder. Detta är också i linje med kärntekniklagens krav på ett allsidigt program. Internationellt drivs FoU-arbete på såväl alternativa behandlingsmetoder för det använda bränslet som på alternativa slutförvaringsmetoder för långlivat avfall. Genom SKBs väl utvecklade internationella samarbetsnät, se kapitel 17, säkras vi en relativt bred insyn i de huvudprogram som pågår i andra länder. För vissa specifika utvecklingslinjer som endast kan förväntas vinna tillämpning på längre sikt är det dock motiverat med en begränsad egen insats. Härigenom skapas man en inhemsk kompetens på området och blir dessutom tillräckligt intressant samarbetspartner för att få insyn i de bredare program som genomförs i andra, större länder.

### 14.1.1 Alternativa behandlingsmetoder

Såsom redovisats i kapitel 5 har möjligheten till separation och transmutation av långlivade nuklider i det högaktiva avfallet tilldragit sig förnyat intresse på senare år. Relativt stora program pågår eller planeras i Frankrike, Japan och USA. Utvecklingen följs i Sverige, och vissa kontakter med dessa program har etablerats av svenska forskare.

För att bedöma utvecklingspotentialen för dessa behandlingsmetoder är vissa frågor av särskilt intresse t ex graden av separation av långlivade ämnen, tekniskt möjlig effektivitet för transmutationen, materialproblem samt processernas tillförlitlighet och säkerhet. SKB planerar att stödja vissa begränsade forskningsinsatser med denna inriktning vid svenska högskoleinstitutioner. Insatserna kan ha karaktären av doktorandarbete och liknande.

### 14.1.2 Alternativa slutförvaringsmetoder

Huvudinriktningen på arbetet rörande slutförvaring i alla länder är förvaring i berg på 300 å 1000 meters djup. Alternativ som tilldrar sig intresse är förvaring under havsbotten – ”seabed disposal” – och förvaring i mycket djupa borrhål. Båda dessa metoder försvårar återtagbarhet och framtida ”korrigerande” åtgärder. Hittills genomförda analyser visar emellertid på en be-

tydande potential till säker slutförvaring där den geologiska barriären ensam ger tillräcklig isolering av de radioaktiva ämnena. Ingenera metoder är ännu mögen för tillämpning eller demonstration. Deponering under havsbotten tänks i första hand ske på mycket stora djup under oceanerna. Det kräver internationell samverkan och för närvarande är strävan snarast att förbjuda sådan deponering. I Sverige har också diskuterats deponering i urberget under Östersjön se avsnitt 6.3.3. Djuphavsdeponering kan knappast bli aktuellt för svenskt vidkommande.

För att genomföra deponering i mycket djupa borrhål krävs ytterligare teknisk utveckling men framför allt ökade kunskaper (data) om bergets egenskaper på flera km djup. Betydande forskning på detta område pågår utan direkt anknytning till kärnavfallsförvaring. Resultaten kan vara av intresse inte enbart för djuphålsförvaring utan även för allmän förståelse av geologin i regional skala. En begränsad uppföljning från svensk sida av den pågående forskningen på området är därför motiverad. Insatserna sker lämpligen i form av t ex doktorandarbete vid någon högskola. De kontakter som på detta område etablerats med ryska forskare är också intressant att upprätthålla, eftersom en betydande del av den vetenskapliga insatsen hittills skett i Ryssland.

## 14.2 ÖVRIGT LÅNGLIVAT AVFALL

### 14.2.1 Allmänt

Utöver använt bränsle finns det tre andra typer av långlivat radioaktivt avfall i Sverige. Dessa är

- avfall från forskningsverksamheten i Studsvik,
- avfall från inkapslingsstationen för använt bränsle, samt
- hårdkomponenter och vissa interna delar från reaktorerna.

Avfallet från Studsvik (som även inkluderar en mindre mängd avfall från medicinsk tillämpning och annan forskning) innehåller så stora mängder långlivade ämnen, främst plutonium, att det inte får deponeras i SFR.

Avfallet från inkapslingsstationen är normalt inte långlivat. Vid bränsleskador kan dock avfall kontaminerat med långlivade bränslerester erhållas.

Hårdkomponenter och interna delar har genom neutronbestralning erhållit inducerad aktivitet i mate-

rialet, främst Co-60, men även vissa långlivade nickel- och niobisotoper.

Dessa avfallstyper planeras bli slutförvarade i avslutning till djupförvaret för använt bränsle, på ungefär samma djup, men med ett visst respektavstånd (ca 1 km) för att undvika ömsesidig påverkan. I detta förvar kommer avfallet att omges av cement och i vissa fall bentonit. Erfarenheterna och principerna från SFR kommer därvid att utnyttjas.

### 14.2.2 Avfallskaraktisering

Det långlivade avfallet i Studsvik härrör från ca 30 års forskningsverksamhet. Avfallet har tidigare hanterats och förvarats utan dagens krav på dokumentation. Sedan några år pågår konditionering av avfallet i behållare som är lämpliga för slutförvaring. I samband därmed är det väsentligt att en detaljerad karakterisering av avfallet sker.

Som underlag för att bestämma vilka komponenter i avfallet och vilka egenskaper som är väsentliga för slutförvaringen görs en genomgång av genomförda säkerhetsanalyser för slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall. Resultatet från denna genomgång skall ligga till grund för kraven på dokumentation. Preliminärt kan konstateras att dessa till stor del är identiska med kraven på dokumentation för SFR.

Härdkomponenter och interna delar är relativt väl kända till utformning och aktivitetsinnehåll och inga nya studier planeras.

### 14.2.3 Utformning av slutförvar

Översiktliga förslag på hur slutförvar för övrigt långlivat avfall skall utformas ges i PLAN 92 /14-1/. För avfallet från forskningsverksamheten tillämpas samma barriärer som i silon i SFR, dvs avfallskollina med betongingjutet avfall placeras i större betongtråg och kringgjuts med en porös betong. Mellan betongtråget och väggen packas sand/bentonit.

För härdkomponenterna tillämpas också betongingjutning för att ge strålskydd och en lämplig kemisk miljö. I detta fall har bentonitfyllning inte ansetts nödvändig.

Slutförvaret för långlivat avfall skall enligt gällande planer inte byggas ut förrän i samband med den andra etappen av djupförvaret. Något detaljarbete med utformning av slutförvaret planeras därför inte under perioden 1993-98. Avfall av liknande typ finns i större mängder i de länder som upparbetar sitt använda bränsle och slutförvaring studeras där, t ex i Storbritannien, Frankrike, Tyskland och Schweiz. Detta arbete kommer att följas.

### 14.2.4 Underlag till säkerhetsanalys

Slutförvaren för övrigt långlivat avfall kommer att karakteriseras av dels den starkt basiska betongmiljön, dels avfallets heterogena sammansättning. I mångt och mycket kommer samma frågeställningar som varit aktuella i säkerhetsanalysen för SFR att gälla även för dessa slutförvar.

För säkerhetsanalysen kommer information på en rad olika områden att behövas. Det gäller till exempel avfallets sammansättning, förvarets utformning, betongens egenskaper och dess förändring med tiden, löslighets- och sorptionsegenskaper, bildning av organiska komplex, diffusion i betong och bentonit etc.

Stora insatser inom dessa områden planeras och genomförs i de länder som har större mängder långlivat låg- och medelaktivt avfall. I huvudsak kommer SKBs insatser under perioden 1993-98 att koncentreras till att följa denna verksamhet. Vissa insatser kring nedbrytning av cellulosa och risken för komplexbildning kommer att genomföras, se avsnitt 11.7.

## 14.3 FRAMTIDA INSATSER BETRÄFFANDE SLUTFÖR- VAR FÖR RADIOAKTIVT DRIFTAVFALL, SFR

Drifttillstånd för SFR-1, etapp 1 har meddelats av såväl SKI som SSI. Dessa tillstånd innebär att anläggningen får utnyttjas fullt ut. Den begränsning som funnits för siloförvaret upphävdes i och med att den fördjupade säkerhetsanalysen godkändes i maj -92 /14-2/.

Drifttillstånden är förknippade med vissa villkor. Sålunda ska en förnyad säkerhetsanalys genomföras vart tionde år, så länge anläggningen är i drift. Vidare ska en förnyad säkerhetsredovisning inlämnas som underlag för ansökan om tillstånd till förslutning.

Med syfte att inhämta så mycket platsspecifik kunskap som möjligt inför kommande säkerhetsanalyser och förslutning av anläggningen, genomförs ett kontrollprogram som omfattar registrering av grundvattenstryck, bergdeformationer, inläckande vattenmängder, grundvattnets kemiska sammansättning samt återkommande besiktningar av berget. För siloförvaret genomförs uppföljning av betongsilons rörelser samt av vattenupptagning i bentonitfyllningen (svälltryck). För den övre delen av spaltfyllningen studeras även bevätningen i syfte att se hur mycket av bentoniten som behöver ersättas i samband med förslutning av silotoppen.

En ökad kunskap om långtidsegenskaperna för vissa avfallsmaterial och tillsatsmedel är önskvärd. För organiskt material är dagens kunskap om dess långtids-

egenskaper begränsad. Detta gäller främst nedbrytningsprodukter från cellulosa och dessas möjliga komplexbildning med radioaktiva ämnen (t ex Pu). En separat studie understödd av försök med cellulosanedbrytning planeras. Tills vidare ska enligt villkor i drifttillstånden mängden organiskt material kontrolleras och begränsas till de olika förvarsutrymmena.

Inom andra områden, viktiga för de kommande säkerhetsbedömningarna, som t ex utveckling av numeriska modeller, kunskap om grundvattnets rörelser i berget, teknik för förslutning samt dokumentation av anläggningen för framtiden bör den forskning/utveckling som bedrivs för det högaktiva avfallet kunna tillämpas även för SFR.

# 15 RIVNING AV KÄRNTEKNISKA ANLÄGGNINGAR

## 15.1 BAKGRUND

När ett kärnkraftverk tas ur drift är delar av det radioaktivt nedsmutsat. Det medför att rivningen måste genomföras på ett kontrollerat sätt med vederbörlig hänsyn till behov av strålskyddsåtgärder utöver konventionellt arbetarskydd. Vidare behöver vissa delar av rivningsavfallet tas om hand och slutdeponeras som radioaktivt avfall. Detta gäller även för övriga kärntekniska anläggningar, t ex CLAB och inkapslingsstationen, när de tas ur drift.

Ett flertal mindre forskningsreaktorer och några små och halvstora kärnkraftverk har redan rivits på flera håll i världen. Nu pågår rivningen av ytterligare några halvstora kärnkraftverk, t ex i Japan, USA, Västtyskland, Belgien och Storbritannien. Andra reaktorer som har tagits ur drift har iordningställts så att de kan stå 30 – 50 år innan själva rivningen genomförs. Några fullstora verk har ännu inte tagits ur drift och rivits.

Erfarenheterna av rivning i Sverige är begränsade till rivningen av forskningsreaktorn R1 i Stockholm och några mindre anläggningar i Studsvik. Betydande erfarenheter av liknande slag har dock erhållits vid ånggeneratorbytet i Ringhals-2 och vid andra reparations- och ombyggnadsarbeten på kärnkraftverken.

De genomförda rivningarna och ett flertal studier visar att metoderna för att riva kärnkraftverken är tillgängliga idag. I en rapport från OECD/NEA /15-1/ konstateras att nästa steg är att vidareutveckla de metoder som testats i halvstor skala till industriellt tillämpbara metoder. Inga principiella problem förutses. Det största hindret vid rivningsarbeten synes för närvarande vara att slutförvar för avfallet i de flesta länder ännu inte har byggts eller att de existerande förvararna inte är anpassade till rivningsavfallet.

Huvuddelen av den utrustning, som behövs vid rivning existerar redan och används rutinmässigt vid underhåll och ombyggnadsarbeten på de svenska kärnkraftverken. Endast för rivning av reaktortanken och dess interna delar, samt för rivning av betongskyddet närmast reaktortanken behövs metoder som ännu ej använts i Sverige. Erfarenheter från användning av sådana metoder erhålles vid de i andra länder pågående rivningsprojekten. Svensk kraftindustri har god insyn i dessa projekt genom ett samarbetsprogram som organiserats i OECD/NEAs regi och där SKB sköter sekretariat och programkoordinering.

## 15.2 MÅL OCH ÖVERSIKTLIG PLAN

Målet för nedläggningsarbetet efter att ett kärnkraftverk har tagits ur drift är att området efter viss tid skall återställas så att det kan användas utan radiologiska begränsningar. Detta skall genomföras på ett sådant sätt att vare sig den personal som är sysselsatt med nedläggnings- och rivningsarbetet eller allmänheten utsätts för onödig bestrålning. Nedläggningsarbetet kommer att ske i flera steg. IAEA har definierat tre stadier i nedläggningsarbetet /15-2/, vilka definieras av anläggningens fysiska status.

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

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

I **stadium 3** har allt radioaktivt material (över friklassningsgränsen) avlägsnats och området friklassats. Stadium 3 kallas ibland green field. Som ett alternativ till fullständig friklassning direkt efter att rivningen avslutats kan visst avfall finnas kvar i ett markförvar på platsen och kräva övervakning under ca en femtioårsperiod.

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

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

Tillvägagångssättet för att riva de svenska kärnkraftverken har beskrivits i en rapport från SKB, "Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk" /15-3/. I denna rapport visas att en rivning kan inledas ca ett år efter att det sista reaktorblocket har

stängts av vid ett kärnkraftverk. Som ett alternativ visas även att det är möjligt att lägga anläggningen i malpåse under 30 – 50 år innan det egentliga rivningsarbetet inleds. Den tidiga rivningen förordas med hänsyn främst till tillgången på personal med anläggningskännedom. Det innebär att rivningen föreslås bli påbörjad snarast efter att samtliga block på området tagits ur drift. Vid en senarelagd rivning erhålles en lägre strålningsnivå, vilket ger vissa förenklingar av rivningsarbetet.

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

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

De övergripande målen för SKBs insatser inom rivningsområdet är

- att säkerställa att kunskap och teknik för rivning finns utvecklad i god tid innan detaljplaneringen av rivningsarbetet skall påbörjas,
- att säkerställa att avfallet från rivning kan tas om hand, transporteras och slutförvaras, samt
- att genom kostnadsberäkningar ge underlag för behovet av fondering av medel för rivningen.

De viktigaste medlen för att uppnå dessa mål är

- uppföljning av den internationella utvecklingen,
- uppföljning av erfarenheter från underhålls- och ombyggnadsarbeten på kärnkraftverken, samt
- vissa speciella studier och tester.

## 15.3 PÅGÅENDE ARBETE

### 15.3.1 Sverige

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

En uppföljning av reparations- och ombyggnadsarbeten sker på varje kärnkraftverk. För vissa större projekt är det av intresse att göra separata studier av vilka

erfarenheter man kan dra för den kommande rivningen. Exempel på detta är ånggeneratorbytena i Ringhals.

I tidigare studier har möjligheten att ta ut, transportera och deponera reaktortanken hel tagits upp som ett intressant utvecklingsområde. En förberedande studie av vad detta skulle innebära på de olika kärnkraftverken, vid transport, samt i SFR har genomförts. Den visar att det finns potential att minska dosbelastning och kostnader. En mera detaljerad studie pågår.

Den senaste beräkningen av rivningskostnaderna genomfördes 1986 /15-3/. En förnyad teknik- och kostnadsstudie pågår och beräknas bli avslutad under 1993. Internationellt sätt ligger de svenska kostnaderna lågt /15-4/, vilket bland annat förklaras av det effektiva system som utvecklats för transport och slutförvaring av avfall i Sverige, som gör att stora komponenter kan tas omhand utan behov av omfattande sönderdelning.

### 15.3.2 Andra länder

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

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

### OECD/NEAs samarbetsprogram inom rivningsområdet

Inom OECD/NEA har ett särskilt program för informations- och erfarenhetsutbyte mellan pågående nedläggningsprojekt organiserats. De flesta större nedläggningsprojekt i världen ingår i detta program. Totalt omfattar det för närvarande 19 projekt i 8 länder. En sammanställning över ingående projekt ges i Tabell 15-1. Tolv av projekten syftar till fullständig rivning till stadium 3.

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

**Tabell 15-1. OECD/NEA samarbetsprogram inom rivningsområdet. Lista över ingående projekt.**

<b>Anläggning</b>	<b>Typ</b>	<b>Planerat slutstadium</b>
Eurochemic, Belgien	Upparbetningsanläggning	Stadium 3
BR-3, Belgien	PWR, 41 MW <sub>t</sub>	Stadium 3
Gentilly-1, Kanada	Tungvattenreaktor, 250 MW <sub>e</sub>	Stadium 2
NPD, Kanada	Tungvattenreaktor CANDU, 25 MW <sub>e</sub>	Stadium 1
Rapsodie, Frankrike	Natriumkyld snabb reaktor, 20 MW <sub>t</sub>	Stadium 2
G2, Frankrike	Gaskyld reaktor, 45 MW <sub>e</sub>	Stadium 2
AT1, Frankrike	Upparbetningsanläggning för snabbreaktorbränsle	Stadium 3
Niederaichbach, Västtyskland	Gaskyld,tungvatten- modererad reaktor 106 MW <sub>e</sub>	Stadium 3
Lingen, Tyskland	BWR, 256 MW <sub>e</sub>	Stadium 1
MZFR, Tyskland	Tungvattenreaktor, 50 MW <sub>e</sub>	Stadium 3
Garigliano, Italien	BWR, 160 MW <sub>e</sub>	Stadium 1
Japan Power Demonstration Reactor (JPDR), Japan	BWR, 13 MW <sub>e</sub>	Stadium 3
Windscale Advanced Gas Cooled Reactor, Storbritannien	AGR, 33 MW <sub>e</sub>	Stadium 3
BNFL Coprecipitation Plant, Storbritannien	MOX-bränsle- tillverkning	Stadium 3
Shippingport, USA	PWR, 72 MW <sub>e</sub>	Stadium 3
West Valley Demonstration Project, USA	Upparbetningsanläggning för LWR-bränsle	
EBWR, USA	BWR, 100 MW <sub>t</sub>	Stadium 3
Tunney's Pasture	Isotophantering	Stadium 3
BNFL B204 Primary Separation Plant, Storbritannien	Upparbetningsanläggning	Stadium 2

Erfarenheterna från de första fem åren inom OECD / NEA-programmet har sammanställts i en rapport /15-1/. I denna ges utöver direkta beskrivningar av ingående projekt och det arbete som utförts vid dem, även en genomgripande analys av status och utvecklingsbehov för olika rivningsområden. De områden som tas upp är

- aktivitetsbestämning,
- dekontamineringsmetoder,
- kapningsmetoder,
- fjärrstyrda arbeten,
- avfallshantering, samt
- strålskydd och säkerhet.

För varje område identifieras utvecklingsbehovet. I de flesta fall handlar det om att överföra erfarenheterna från uttestade metoder till tillämpning i industriell skala, samt att få erfarenheter därifrån. **Något område där direkt grundläggande utvecklingsinsatser behövs har inte identifierats.**

De projekt inom programmet som har speciellt intresse för svenskt vidkommande är Shippingport (USA), JPDR (Japan) och Niederaichbach (Tyskland). Rivningen av Shippingport är avslutad. Av speciellt intresse var att reaktortanken lyftes ut hel och transporterades med pråm till slutförvaringsplatsen.

Inom JPDR-projektet, som gäller rivning av en kokvatten-reaktor har en omfattande utprovning och utveckling av olika rivningsmetoder genomförts. Av speciellt intresse är den genomförda sönderdelningen av reaktortanken. Även i Niederaichbach är sönderdelningen av reaktortanken av speciellt intresse.

SKB deltar såsom ansvarig för programkoordineringsfunktionen för OECD/NEA-programmet, och ges därigenom tillfälle att tekniskt följa de olika projekten.

### EGs forskningsprogram

EG har sedan 1979 ett gemensamt forskningsprogram inom rivningsområdet. För närvarande pågår EGs tredje femårsprogram.

Hittills har studierna i första hand omfattat olika rivningsmetoder, samt frågeställningar kring aktivitetens innehåll och avfallshantering /15-5/. Följande forskningsområden har ingått

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

Vidare pågår arbete med att ta fram riktlinjer för rivningsområdet.

En omfattande redovisning av uppnådda resultat ges i /15-6/.

I det senaste femårs-programmet har tyngdpunkten förskjutits mot tillämpning och provning av olika rivningsmetoder under verkliga förhållanden. Sålunda ingår fyra rivningsprojekt i programmet, nämligen reaktorerna Windscale AGR (Storbritannien), Gundremmingen A (Tyskland) och BR-3 (Belgien), samt uppärbättningsanläggningen AT-1 (Frankrike).

### IAEA

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

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

### Övrigt

Utöver ovan nämnda internationella samarbetsprojekt sker utvecklingsarbete inom rivningsområdet i flera länder. Av speciellt intresse är härvid det franska programmet som drivs av CEA, samt de arbeten som nu påbörjas i de östeuropeiska länderna, samt i östra Tyskland.

## 15.4 FORSKNINGSPROGRAM 1993 – 1998

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

Några år innan den planerade rivningstidpunkten kommer en projektgrupp att organiseras för att i detalj planera rivningsarbetet. Till denna tidpunkt skall nödvändigt underlag beträffande rivningsmetoder, klassning av avfall, transportsystem mm finnas tillgängligt.

Huvuddelen av de metoder som behövs finns redan tillgängliga och utnyttjas i Sverige. I samband med planeringen av rivningen kommer de att anpassas till detta arbete. För en del utrustning kommer utvecklingsinsatser behövas. Då mycket utvecklingsarbete nu görs utomlands är det inte motiverat att starta några omfattande svenska utvecklingsarbeten under den kommande sexårsperioden.

En ny studie av teknik och kostnader för att riva de svenska kärnkraftverken pågår och kommer att avslutas under 1993. I denna tas hänsyn till de senaste erfarenheterna från rivnings- och underhållsarbeten.

De pågående och tidigare studier av rivning av svenska kärnkraftverk har visat på några områden där det är motiverat med tidiga insatser. De viktigaste är

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

Under de närmaste åren kommer huvuddelen av insatserna att koncentreras kring fortsatta studier av möjligheten att ta hand om en hel reaktortank, samt kring metoderna för friklassning av avfallet, då detta kan få stor ekonomisk betydelse.

För övriga områden kommer främst uppföljning av verksamheten utomlands och från driften av kärnkraftverken att ske. Under senare delen av perioden kan det



bli aktuellt att bearbeta de övriga områdena mera systematiskt. I samband därmed bör även en utvärdering göras av möjligheten att göra försök i den nedlagda Ågestareaktorn. För närvarande planerar Studsvik att i internationellt samarbete testa dekontaminering och smältning av Ågestas ånggeneratorer.

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

Vid rivningsarbetet erhålles en stor mängd lätt kontaminerat material, vilket skulle kunna friklassas, eventuellt efter en dekontaminering. Vissa erfarenheter finns från friklassning från kärnkraftverken. De låga friklassningsgränserna gör dock mätning och klassificering mycket arbetskrävande. Innan rivningen påbörjas är det väsentligt att regler och metoder för friklassning utvecklas så att detta kan göras rutinmässigt. Av

stor vikt är därvid möjligheterna att mäta låga aktivitetsnivåer.

Inför rivning av kärnkraftverken måste även slutförvaret för rivningsavfall, SFR 3, stå färdigt. Då avfallet från rivning i flera avseenden är likvärdigt med en del avfall från driftperioden kan erfarenheter från SFR 1 ligga till grund för utformningen av SFR 3. Detta finns beskrivet i /15-7/. Tiden från förprojektering till färdig anläggning har beräknats till ca 7 år, vilket innebär att detta arbete inte kommer att påbörjas förrän en bit in på 2000-talet.

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

## 16 PRIORITERINGAR OCH KOSTNADER

För att genomföra en demonstrationsdeponering av använt kärnbränsle i ett djupförvar krävs två huvudaktiviteter i utvecklingsarbetet – inkapsling respektive djupförvaring. Därtill behövs säkerhetsanalyser och stödande forskning och utveckling.

Arbetet med inkapsling innebär slutligt val och utprovning av metod för tillverkning, förslutning och kvalitetskontroll av kapslar samt projektering, byggande, licensiering, montage, provdrift och drift av en anläggning för inkapsling. Arbetet med djupförvaring innebär lokalisering, projektering, byggande, licensiering, montage, provdrift och drift av anläggning och utrustning för demonstrationsdeponering i ett djupförvar.

De stödande FoU-arbetena avser vidareutveckling av metoder, modeller och data. De syftar till att:

- vidareutveckla kunskapsbas och förmåga att modellera processer som är viktiga för förvarets funktion för att bättre kunna kvantifiera osäkerheter och säkerhetsmarginaler;
- följa upp den internationella utvecklingen på relevanta områden.

Insatserna planeras så att en kontinuitet erhålles i arbetet och att en uppdatering av kunskapsbas och analysmetoder görs i god tid före större utvärderingar av funktion eller säkerhet. Mycket av den stödande FUD-verksamheten blir koncentrerad till Äspölaboratoriet. Ett viktigt stöd för vidareutveckling av säkerhetsanalysen är också fortsatta studier av bränsle och naturliga analogier.

Förutom arbeten som utgör direkt stöd för huvudlinjen – djupförvar för demonstrationsdeponering – planeras viss uppföljning av alternativa metoder och system för att bibehålla och vidareutveckla kunskaperna om dessa. Härigenom skapas underlag för att i en framtid även kunna värdera sådana system i jämförelse med det som demonstreras i Sverige. Vidare planeras arbeten avseende annat långlivat avfall samt för SFR och för rivning av kärnkraftverk.

En viktig del av FUD-programmet är det internationella samarbetet. Detta är omfattande och sker i flera olika former.

Tabell 16-1 innehåller en preliminär kostnadsbedömning för de anläggningar som beskrivs i kapitel 8 och 9.

Aktiviteten inkapsling omfattar slutlig design och slutligt val av tillverkningsteknik för en kompositkapsel av koppar och stål. Speciellt studeras svetssteknik för förslutning av kapseln och teknik för icke-förstörande provning av färdig kapsel. Parallellt genomförs vissa studier av blygjutning för reservalternativet blyfylld kopparkapsel. Vidare ingår projektering och

säkerhetsanalys av en inkapslingsstation fram till underlag för ansökan om lokaliseringstillstånd enligt naturresurslagen och koncession enligt kärntekniklagen. Dessa ansökningar planeras inlämnade årsskiftet 1996/1997. Samtidigt som ansökningarna prövas fortsätter arbetet med detaljprojektering av anläggningen och med fullskaleprov av svetsutrustning.

**Tabell 16-1. Preliminär kostnadsbedömning för Inkapslingsstation och Djupförvar 1993–1998. (MSEK i penningvärde augusti 1992).**

Aktivitet	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<i>Inkapsling</i>	20	28	30	38	34	35
<i>Djupförvar</i>						
- basverksamhet och projektering	25	20	20	20	20	20
- platsverksamhet	35	60	70	70	30	70
<i>Summa djupförvar</i>	60	80	90	90	50	90

Aktiviteten djupförvar omfattar dels vissa basverksamheter som övergripande planering, kvalitetssäkring, projektering av anläggning och utrustning för djupförvaret, anskaffning av instrument, vissa säkerhetsanalyser och miljöutredningar, produktion av informationsmaterial m m samt dels platsanknutna verksamheter, främst geovetenskapliga fältundersökningar. I kostnadsbedömningen har förutsatts att förstudier och förundersökningar genomförs för två platser med början under 1993 och med inriktningen att ansökan om tillstånd för detaljundersökning lämnas in årsskiftet 1996/1997. Detaljundersökningar förutsättes börja 1998.

Tabell 16-2 innehåller en kostnadsbedömning för det FUD-program som presenterats i kapitel 10-12, 14 och 15.

**Tabell 16-2. Preliminär kostnadsbedömning för FUD-program 92. (MSEK i penningvärde augusti 1992).**

Aktivitet	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Äspö	113	84	55	54	56	52
Stödande FoU	51	46	43	40	37	37
Alternativ / övrigt avfall	8	8	8	8	11	12
Rivning	3	2	2	2	2	2
<b>Totalsumma</b>	<b>175</b>	<b>140</b>	<b>108</b>	<b>104</b>	<b>106</b>	<b>103</b>

För Äspölaboratoriet fullföljes det pågående anläggnings- och forskningsarbetet till 1994. I bedömningen förutsättes att det internationella samarbetet utvecklas som hittills och att en betydande demonstrations- och experimentverksamhet genomförs från 1994 och framåt. Av de angivna kostnaderna för Äspö är ca 40 MSEK/år kostnader för undersökningar och experiment medan resten är anläggningskostnader och fasta drift- och underhållskostnader.

Inom området stödjande FoU prioriteras undersökningar av använt bränsle och dess egenskaper i slutförvarsmiljö, studier av naturliga analogier, fortsatt utveckling av modeller för funktions- och säkerhetsanalys samt vissa fortsatta studier inom kemiområdet. Pågående arbeten på kapsel- och buffertmaterial beräknas i stort sett avslutade i mitten av 1990-talet. Följande Tabell 16-3 ger en ungefärlig procentuell fördelning av kostnaderna för stödjande FoU under sexårsperioden 1993–1998.

**Tabell 16-3. Ungefärlig procentuell fördelning av kostnader för stödjande FoU 1993–1998.**

Område	Andel av total kostnad
Bränsle	35%
Övriga material	7%
Geovetenskap	15%
Kemi	20%
Naturliga analogier	8%
Säkerhetsanalys utvärdering	10%
Biosfär	5%

Inom området FoU för alternativa metoder och övrigt avfall prioriteras insatser på långlivat låg- och medelaktivt avfall. Insatser på separation och transmutation beräknas till två å tre månår per år, medan uppföljningen av arbetet på djuphålsborrning får en begränsad volym.

## 17 INTERNATIONELLT SAMARBETE

Utvecklingen inom kärnavfallsområdet sker i betydande utsträckning i internationell samverkan och växelverkan. Alla med ett större kärnkraftprogram har gjort upp planer för hantering av olika former av radioaktivt avfall och har påbörjat den forskning och utveckling som anses krävas. I ett internationellt perspektiv pågår därför idag en mycket omfattande verksamhet i form av experiment, modellutveckling, platsundersökningar, datasammanställningar etc inom kärnavfallsområdet, varav de svenska insatserna naturligtvis endast utgör en liten del. I vilken utsträckning man för svensk del kan få direkt nytta av det som görs i andra länder beror i första hand på följande tre faktorer:

- tekniska och geologiska likheter i förvarsutformning och plats,
- val av behandlingsmetod för använt bränsle,
- tidplaner för genomförande av forskningsprogram, storskaleförsök och demonstrationsprojekt samt byggande/drift av slutförvar.

Den nytta man för svensk del kan ha av andra länders forskning kan ligga på flera olika plan:

- bidrag till metod- och modellutveckling,
- vidgat och förstärkt dataunderlag,
- belysning av andra alternativ för förvars- och barriärutformning, materialval etc,
- bidrag till att förstärka den allmänna tilltron till systemet genom bl a demonstrations- och storskaleförsök,
- utveckling av en internationell samsyn beträffande säkerhetsanalys.

En viktig del av SKBs program är därför att på ett genomtänkt och effektivt sätt följa och ta tillvara den forskning och utveckling som sker i andra länder. Detta underlättas av det stora intresse som föreligger internationellt för det svenska arbetet. I det följande ges en sammanfattning av ett urval av de utländska programmen. Vidare ges en översikt över de olika internationella samarbetsprojekt i vilka SKB är direkt engagerat.

### 17.1 UTLÄNDSK FoU AV INTRESSE FÖR SKBs PROGRAM

#### USA

Tidplanerna i USA styrs i hög grad av Nuclear Waste Policy Act vilken antogs 1982. Lagen har genomgått genomgripande förändringar varav den senaste 1987. Lagen fastslår att den federala regeringen har ansvaret

för slutförvaring av högaktivt avfall och använt bränsle. Det åligger US DOE, Department of Energy, att bygga ett slutförvar vilket enligt lagen måste kunna börja användas senast 31 januari 1998. Det amerikanska platsvalet har genom den senaste lagändringen i princip redan genomförts och resurserna är nu inriktade på att studera Yucca Mountain i Nevada. Förvaret planeras här bli byggt på 400 m djup i vattenomättat berg vilket ger ca 200 m omättad tuff som den huvudsakliga geologiska barriären ovanför den nuvarande grundvattenytan. Metodiken för karakterisering av Yucca Mountain, modellutveckling, studier av avfallsformer och säkerhetsanalys är bl a områden där erfarenhetsutbyte är av värde för Sverige även om förvarsmediet är annorlunda. Direktkontakter har etablerats med ett antal specialister som leder olika projekt i det amerikanska avfallsprogrammet. USDOE har sedan 15 år deltagit i Stripa-projektet och har aviserat att man är intresserade av att samarbeta i Äspölaboratoriet.

#### Kanada

AECL (Atomic Energy of Canada Ltd) är den federala organisationen som har utvecklingsansvaret för Kanadas kärnkraftsprogram. AECL svarar också för forskning och utveckling rörande förbehandling och slutförvaring av kärnbränsleavfall. Det delstatsägda kraftföretaget Ontario Hydro ansvarar för mellanlagring och transport av använt kärnbränsle. Ansvarsfördelningen mellan den federala regeringen och delstatsregeringarna, då det gäller slutförvaret, är ännu inte fastlagd. Kanadas program för slutförvaring omfattar tre faser:

- utvärdering av metoder för slutförvaring (concept assessment),
- platsval (site selection),
- demonstration av slutförvar (demonstration of disposal vault).

I ett 10-årsprogram har forskning genomförts för att etablera en vetenskaplig bas för geologisk slutförvaring och för tekniska kriterier för platsval och förvarsutformning. Denna forskning resulterade 1991 i dokumentet "Environmental Impact Statement" vilket för närvarande granskas i en väl definierad process kallad "Environmental Assessment and Review Process" (EARP). Granskningen är omfattande och innehåller bl a public hearings. Platsundersökningar och platsval beräknas ske under 1990-talet. När en plats valts ut, avser man att genomföra en 20-årig demonstrationsperiod, som avslutas med att demonstrationsanläggningen byggs ut till ett slutförvar, som alltså kommer att tas i drift efter år 2010.

Berggrunden i Kanada påminner mycket om den skandinaviska, varför mycket av de geologiska undersökningarna i Kanada är av intresse för det svenska programmet. Av speciellt intresse är det s k URL (Underground Research Laboratory)-projektet där man går ned med ett schakt till ca 450 m djup i berggrunden. AECL har deltagit i Stripa-projektet sedan 1980. SKB har en överenskommelse med AECL om informationsutbyte mellan URL och Äspölaboratoriet, se avsnitt 17.3. Kanada ligger också långt framme inom kemiområdet och när det gäller studier av använt bränsle.

Inom området naturliga analogier samarbetar SKB med AECL i Cigar Lake-projektet sedan 1989. Cigar Lake är en mycket rik uranfyndighet på ca 430 m djup inbäddad i en illitisk lera. Förhållandena i uranfyndigheten liknar dem som man förutser i ett tänkt slutförvar. Se avsnitt 11.6.2 och /17-1/.

## Finland

Ansvar för kärnavfallshanteringen i Finland åvilar enligt finsk lag kärnkraftproducenterna. De två kraftbolagen IVO och TVO bildade 1978 en gemensam kommission, YJT, som samordnar erforderlig forsknings- och utvecklingsverksamhet.

För använt kärnbränsle eftersträvar man sådana överenskommelser att det använda bränslet kan sändas utomlands för sluthantering. För Loviisareaktorerna har man ett sådant avtal med Ryssland. Övrigt kärnbränsle skall mellanlagras och slutförvaras i Finland. För mellanlagring har en anläggning byggts i Olkiluoto. Plats för ett slutförvar kommer att väljas omkring år 2000 och slutförvaring beräknas starta omkring år 2020.

I början av 1986 presenterades en lista på 101 intressanta områden för ett slutförvar vilka utvalts vid en inventering. Under perioden 1988–1992 har orienterande undersökningar på 5 av dessa områden genomförts. Dessa följs av detaljerade undersökningar på 2-3 områden fram till år 2000, då den slutliga platsen väljs. På denna görs ytterligare undersökningar fram till en ansökan om tillstånd omkring år 2010.

Likheter mellan den svenska och finska berggrunden innebär att informationsutbytet är särskilt värdefullt.

För låg- och medelaktivt avfall har TVO anlagt ett slutförvar (VLJ) vid Olkiluoto. Förvaret är byggt på 70–100 m djup och togs i drift våren 1992. IVO kommer att under slutet av 1990-talet bygga ett liknande förvar i Loviisa.

TVO har medverkat i Stripa sedan 1980 och har även beslutat delta i Äspölaboratoriet.

## Frankrike

Ansvar för att genomföra slutförvaring av kärnavfall i Frankrike ligger hos "Agence Nationale pour la gestion de Déchets Radioactifs" (ANDRA). För högaktivt avfall har platsvalsfrågan föregåtts av en rekognose-

ring av flera hundra platser där såväl granit, salt, skiffer och lera har undersökts. Platsvalet är i mycket en politisk fråga och rekommendationer till kriterier uttalades 1987 i den s k Gougelrapporten. Under 1990 uppstod en stark opposition mot det platsval som gjorts och franska regeringen beordrade därför en detaljerad genomgång av situationen. Arbetet ledde fram till en ny lag angående forskning rörande radioaktivt avfall vilken antogs 1991-12-30 av nationalförsamlingen och senaten.

Lagen säger bl a följande:

- förvaring av utländskt avfall i Frankrike är förbjuden,
- man skall bygga två underjordiska laboratorier för att undersöka alternativa metoder för djupförvaring av förglasat högaktivt avfall,
- en oberoende utvärderingskommission upprättas som årligen avlägger en statusrapport om forskningens framsteg inom transmutation, djup geologisk förvaring och övervakad lagring på ytan under lång tid,
- man skall fortsätta att förbättra metoder för immobilisering av högaktivt avfall för att förbättra säkerheten hos temporära förvar,
- inom 15 år måste regeringen göra en övergripande utvärdering av resultaten från forskningen och, om så är lämpligt, lägga ett lagförslag om att bygga ett förvar för högaktivt avfall.

Låg- och medelaktivt avfall har förvarats sedan 1969 vid La Manche. Detta förvar är nu fyllt. En ny förvarsplats har byggts vid Aube ca 20 mil öster om Paris. Aube-förvaret kan ta emot 1 miljon m<sup>3</sup> kortlivat avfall, vilket motsvarar ca 30 års kärnkraftproduktion.

ANDRA medverkar sedan våren 1992 i Äspölaboratoriet.

SKB har även ett konkret samarbete med Commissariat à l'Énergie Atomique, CEA, bl a inom områdena radionuklidkemi och buffert/återfyllnad.

## Tyskland

I Tyskland avser man att slutförvara högaktivt avfall i en saltformation i Gorleben. I Gorleben genomförs ett omfattande undersökningsprogram, inkluderande schakt drivning ned till förvarsdjup. Man räknar med att kunna ta i drift en slutförvarsanläggning någon gång runt sekelskiftet.

De geologiska studierna i salt är av litet intresse för svensk del. Tyskland är emellertid det land, jämte Sverige, som mest systematiskt har undersökt direktdeponeringsalternativet. Dessa studier redovisades våren 1985 i en omfattande studie, PAE, Project Andere Entsorgungstechniken. PAE-projektet drivs vidare, bl a med inriktning på demonstration i fullstor skala av vissa moment, t ex kapseltillverkning och hantering av inkapslat bränsle. Huvuddelen av det använda kärnbränslet från det tyska programmet kommer att upparbetas. Direktdeponering kan bli aktuell för vissa udda

bränsletyper. SKB följer det fortsatta arbetet på direktdeponering i Tyskland genom informationsutbyte med PAE-projektet.

Låg- och medelaktivt avfall kommer att slutförvaras i en tidigare järnmalmsgruva, Konrad. Licensieringsarbetet för detta slutförvar startade 1990. Drifttagningstidpunkten är för närvarande ej fastlagd men beräknas till någon gång 1993.

## Schweiz

Enligt atomenergilagen i Schweiz skall kärnkraftföretagen lägga fram en plan för säker slutförvaring av radioaktivt avfall. Den schweiziska staten och kärnkraftföretagen har gemensamt bildat NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver Abfälle) för att ta hand om det radioaktiva avfallet.

NAGRA publicerade 1985 sin studie – Projekt Gewähr, en motsvarighet till KBS-3-rapporten. Deponeringen av högaktivt avfall rekommenderades i rapporten ske på stort djup i kristallint berg. En försöksstation i berg, motsvarande den svenska Stripa-gruvan, har byggts i Grimsel i Alperna.

I juni 1988 godkände den schweiziska regeringen Projekt Gewähr. Man begärde dock att få kompletterande underlag till 1990 angående ett koncept för lagring av avfall i sedimentärt berg samt att en utvärderingsrapport angående samtliga undersökningar i kristallint berg skulle tas fram till årsskiftet 1990/91. Platsval i Schweiz planeras äga rum omkring år 2000 och ett slutförvar avses tas i drift ca år 2020.

För förvar av låg- och medelaktivt avfall har NAGRA under första delen av 1980-talet gjort undersökningar på tre platser. På grund av lokalt motstånd och politiska låsningar har dessa platser ej kunnat komma i fråga. I juni 1987 inlämnades en ansökan att få undersöka en ny plats, Wellenberg. Under perioden 1988-92 har Wellenbergområdet undersökts noga. 1993 räknar NAGRA med att till myndigheterna kunna lämna in en jämförande rapport över samtliga 4 undersökta platser. 1994 hoppas man vara redo att lämna in en ansökan om lokalisering av ett förvar för låg- och medelaktivt avfall för att samtidigt kunna starta licensieringsförfarandet och arbetet med en pilotunnel för detaljerade underjordiska undersökningar.

NAGRA har deltagit i Stripa sedan 1980.

SKB har nära kontakter med NAGRA och det schweiziska programmet. Inom områdena kapselmateriell och naturliga analogier sker direkt samarbete och koordinering av insatserna.

## Storbritannien

Under 1970-talet initierades i Storbritannien ett program för geologiska undersökningar för slutförvar i granitformationer. I december 1981 uppskötts fortsatt verksamhet inom detta program för åtminstone 50 år framåt, med motiveringen att man visat att slutförvaring i princip var möjlig samt att man utan problem

säkert kan mellanlagra högaktivt avfall under en sådan tidsperiod. Således väntar inga ytterligare beslut om slutförvaring av HLW inom de närmaste decennierna. FoU i Storbritannien ägnas därför nu enbart teknik för förglasning av högaktivt avfall samt lagring och modellstudier. Dessutom deltar man aktivt i bl a Stripa-projektet, Poços de Caldas-projektet och NEAs seabed disposal-studier.

För långlivat låg- och medelaktivt avfall omfattar planeringen ett djupförvar som avses byggas under havet. Eventuellt kommer förvaret att placeras på ca 700–1 000 m djup. Förberedande undersökningar har genomförts på två platser, Sellafield och Dounreay. Valet har fallit på Sellafield efter några år av offentliga utfrågningar och remisser. Slutförvaret beräknas kunna tas i drift ca år 2005.

UK NIREX Limited som ägs gemensamt av kraftföretagen, United Kingdom Atomic Energy Authority samt brittiska staten, är ansvarigt för avfallsprogrammet rörande låg- och medelaktivt avfall i Storbritannien. NIREX har aviserat sitt intresse för att medverka i Äspölaboratoriet.

## EG

EG driver ett omfattande och väl samordnat program inom kärnavfallsområdet. Arbetet genomförs i s k 5-årsprogram och den nuvarande programperioden sträcker sig från 1990-95. I planen för denna ingår följande punkter:

1. Systemstudier och harmonisering av medlemsländernas avfallshantering och policies.
2. Behandling av radioaktivt avfall.
3. Karakterisering av avfallsformer, kapslingsmetoder och kapselmateriell.
4. Forskning inom området utveckling av underjordiska förvarsanläggningar.
5. Säkerhetsanalyser.

Arbetet har hittills utförts i fält vid underjordiska anläggningar i Asse i Tyskland, Mol i Belgien samt vid den franska försöksanläggningen i Fanay-Augeres.

Sverige deltar genom SKB i flera av EGs projekt t ex COCO-klubben (Colloids and Complexes), CHEMVAL och NAWG (Natural Analogue Working Group).

## Ryssland

Under 1988 slöts ett samarbetsavtal med dåvarande SCUAE (State Committee on the Utilization of Atomic Energy), angående avfallsfrågor. Ett första seminarium hölls under våren 1989 och ett andra våren 1991. Det ryska programmet tycks inriktat på förvaring av uppberbet avfall i granit- eller saltformationer. Inga konkreta samarbetsprojekt finns för närvarande.

## Japan

Ansvar för hantering av radioaktivt avfall är i Japan uppdelat på två myndigheter; Science and Technology Agency, STA, vilket är en del av regeringskansliet, samt Ministry of International Trade and Industry, MITI. STA är inriktat på forskning och utveckling inom teknik och vetenskap medan MITI är verksam inom den industriella delen av avfallshanteringen.

Under STA arbetar bolagen Power Reactor and Nuclear Fuel Development Co., PNC, och Japan Atomic Energy Research Institute, JAERI. PNC har till uppgift att presentera ett förvarskoncept för högaktivt radioaktivt avfall och att genomföra en säkerhetsanalys för detta, medan JAERI arbetar med geokemiska frågor samt relaterat säkerhetsarbete.

Under MITI finns bolaget Central Research Institute of Electric Power Industry, CRIEPI, som i samverkan med kraftbolagen arbetar med säkerhetsanalys, instrumentutveckling och kostnadsberäkningar.

För det låg- och medelaktiva avfallet har bolaget Japan Nuclear Fuel Ltd., JNFL (tidigare JNFI) ett övergripande ansvar. Man planerar för närvarande ett förvar i Rokkashomura i norra delen av landet.

I juli 1989 tecknade SKB ett samarbetsavtal med JNFL angående informationsutbyte inom området avfallshandling av låg- och medelaktivt avfall.

PNC har deltagit i Stripa sedan 1980.

Såväl PNC som CRIEPI samarbetar med SKB i Äspölaboratoriet och har under 1991 haft vardera en forskare stationerad i Simpevarp.

## Internationella organisationer

Övergripande internationellt samarbete sker inom FN:s atomenergiorgan IAEA och inom OECD:s kärnenergiorgan, NEA. Dessa organisationer är naturliga fora för informationsutbyte om radioaktivt avfall, se avsnitt 17.9 och 17.10.

## 17.2 SKBs SAMARBETSAVTAL MED UTLÄNDSKA ORGANISATIONER

SKB strävar efter att på ett systematiskt sätt tillgodogöra sig relevanta resultat från det utvecklingsarbete som sker i andra länder. I detta syfte har SKB tecknat formella bilaterala avtal med följande organisationer i andra länder

- USA - DOE (Department of Energy),
- Kanada – AECL (Atomic Energy of Canada Ltd) and Ontario Hydro,
- Schweiz – NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver Abfälle),
- Frankrike – CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique), ANDRA, DCC, och IPSN,
- EG – EURATOM,

- Finland – TVO och IVO,
- Ryssland – fd SCUAE (nuvarande organisationsbeteckning oklar),
- Japan – JNFL (Japan Nuclear Fuel Ltd).

Informationsutbyte utan formella avtal finns dessutom med

- Tyskland,
- Belgien,
- Storbritannien,
- övriga nordiska länder.

De formella avtalen är likartade till sin uppbyggnad och täcker informationsutbyte och samarbete inom hantering, behandling, lagring och slutförvaring av radioaktivt avfall. Utbyte av aktuell information (rapporter) samt resultat och metoder från forskning och utveckling är huvudpunkter i avtalen. Anordnade av gemensamma seminarier och korta besök av specialister till andra partens anläggningar är andra exempel på vad som ryms inom avtalens ram. Med drygt ett års intervall sker allmänna genomgångar av parternas avfallsprogram och verksamhetsplanering inom avtalens ram.

Vid utbyte av personal under längre tidsperioder eller omfattande direkt projektsamarbete sluts i regel särskilda avtal inom det allmänna avtalets ram.

Genom avtalen ges specialister inom kärnavfallsområdet ökade möjligheter till kontakter och samverkan.

## 17.3 BRÄNSLELAKNING – SPENT FUEL WORKSHOP

Studier av korrosion av högaktivt bränsle bedrivs endast av ett fåtal laboratorier i världen. Det experimentella arbetet är både kostsamt och tidsödande, eftersom det måste utföras i hot cell. Det är därför viktigt att det finns möjligheter att på ett informellt sätt utbyta resultat och erfarenheter. Spent Fuel Workshops, som startades 1981 på SKBs initiativ, har sedan dess fungerat som ett sådant forum.

Sedan starten har sammanlagt 11 workshops hållits. Från att ursprungligen endast ha haft deltagare från Sverige, Kanada och USA, har gruppen vidgats. Deltagare har inbjudits även från länder, som har intresse för direktdeponering av använt kärnbränsle, men som ännu inte bedriver några experimentella undersökningar på sådant högaktivt material.

## 17.4 INTRAVAL

INTRAVAL var ett internationellt projekt som syftade till att validera beräkningsmodeller för radionuklidtransport i geosfären. Projektet var en uppföljning av de tidigare projekten HYDROCOIN och INTRACOIN. Samtliga dessa har tillkommit på SKIs initiativ

och de har även tillsatt det sekretariat som samordnade arbetet inom INTRAVAL.

Sammanlagt fjorton testfall ingick i projektet. Resultat från utvalda laboratorieförsök, fältförsök och studier av naturliga analogier utvärderades. I många av fallen var det möjligt för olika modellgrupper att göra prediktiv modellering innan mätresultaten blivit tillgängliga.

Fem av de fjorton testfallen var SKB-anknutna

- laboratorieförsök med migration i överborrade sprickor/KTH, spår-försöken i Finnsjön inom sprickzonsprojektet/SGAB,
- Stripa 3D-migration/KTH,
- Poços de Caldas-projektet,
- kolloidtransport/BGS,
- redoxfront/KTH.

INTRAVAL slutrapporterades under 1991. En ny fas INTRAVAL II startades 1990. Denna fas kommer huvudsakligen att ägnas åt validering av modeller baserade på fältmätningar och på naturliga analogier. Antalet testfall är mindre än i fas I och upptar valideringsövningar inom områdena skalberoenden, heterogenitet samt kopplade processer. Projektet avses avslutas under våren 1994.

## 17.5 DECOVALEX

Under senare år har intresset ökat för att utveckla s k kopplade modeller. Detta för att med större realism kunna beskriva förhållandena speciellt i närzonen vid ett förvar. Inom ramen för det s k DECOVALEX-projektet (international cooperative project for the DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments in nuclear waste isolation) sker utveckling och verifiering av kopplade termo-hydro-mekaniska modeller. SKI som initierade projektet är också ansvarig organisation för dess genomförande. Nio länder deltar i projektet.

## 17.6 SAMARBETE MED TVO, FINLAND

SKB har ett regelbundet utbyte av erfarenheter inom kärnavfallsområdet med TVO i Finland. Flera gemensamma forskningsprojekt har genomförts under den senaste treårsperioden. Under 1991 rapporterades t ex det gemensamma arbetet på istider och dess möjliga inverkan på ett slutförvar för högaktivt avfall. Under 1991 genomfördes också en gemensam studie rörande tillgänglig redoxkapacitet i kristallint berg.

Under de två senaste åren har ett intensivt samarbete rörande alternativa förvarsutformningar, kapseltillverkning och materialval genomförts. Gemensamt har modeller av kapslar i skalan 1:4 tagits fram i demonstrationssyfte. Även inom området strategi och

teknik för geovetenskapliga platsundersökningar sker ett nära informationsutbyte.

## 17.7 SAMARBETE MED CEA, FRANKRIKE

### 17.7.1 Lerfrågor

Ett samarbete med CEA beträffande lerstudier inleddes redan 1985. Samarbetet har omfattat koordinering av forskningsprojekt samt informationsutbyte beträffande samband mellan smektiska lers mikrostruktur, mineralogi m m och inverkan av temperatur och bestrålning. Hydrotermalprov och bestrålning har utförts under årslånga försök i laboratorium. Bestrålningsproven har utförts på SKBs referenslera Mx80 och fransk smektisk lera i simulerad kapselmiljö i laboratoriet i Saclay. I Stripa pågick fram till 1991 prov med fransk smektisk högkompakterad lera i simulerad deponeringsmiljö vid ca 170°C. Studier av reologiska egenskaper har utförts i laboratorium i Sverige. Samarbetet har gett goda möjligheter till jämförelser mellan respektive länders referensleror för buffertmaterial, metoder för mätning av egenskaper, svälltryck, hydraulisk konduktivitet, värmeledning etc samt tekniska metoder för deponering.

### 17.7.2 Naturliga analogier

SKB är engagerat i Oklo-projektet i Gabon där man funnit rester av naturliga reaktorer. Projektet är ett EG-projekt men leds av CEA.

## 17.8 SAMARBETE MED EURATOM, EG

### 17.8.1 COCO

Arbetsgruppen COCO (Colloids and Complexes) har bildats av EG för att utreda betydelsen av kolloider och organiska komplex för migrationen av radionuklider. En viktig del av samarbetet är jämförande försök med olika metoder som används på olika laboratorier. SKB stöder medverkan av en svensk specialist inom området.

### 17.8.2 CHEMVAL

CHEMVAL är ett CEC-projekt för verifiering och validering av kemiska jämviktsberäkningsprogram och kopplade modeller för geokemitransport.

Etapp 1 avsåg att verifiera olika jämviktsprogram mot varandra och Etapp 2 att validera programmen mot naturliga grundvatten.



Ett steg 3 är verifiering av kopplade modeller och steg 4 innebär validering av dessa. Projektet utvecklar också en egen termodynamisk databas, samt gör känslighetsstudier på jämviktsprogram. Hela projektet avslutades under 1990.

En ny fas av projektet CHEMVAL2 startade 1991 med deltagare från EG-länderna, Sverige, Finland och Schweiz. Projektet beräknas pågå fram till 1994 och omfattar arbete inom områdena temperatureffekter, jonstyrkeeffekter, organiska komplex, sorption, medfällning samt kopplad geokemisk transport.

### 17.8.3 Natural Analogue Working Group, NAWG

NAWG bildades 1985. Dess syfte är att sammanföra modellörer som arbetar med funktionsanalys av förvar för radioaktivt avfall samt vetenskapsmän inom geologi m m så att bästa möjliga erfarenhetsutbyte kan erhållas från studier av naturliga analogier. Gruppen utgör dessutom ett forum för presentation och diskussion av pågående nationella och internationella studier av naturliga analogier. Gruppen ger också råd och anvisningar inom sitt forskningsområde. SKB bidrar med finansiering av expertis i NAWG.

## 17.9 SAMARBETE INOM OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY

### 17.9.1 RWMC

Ett av OECD/NEAs huvudområden för samarbete är det radioaktiva avfallens hantering i medlemsländerna. Frågan handläggs av Radioactive Waste Management Committee (RWMC), där SKB är representerat genom Per-Eric Ahlström. Samarbetet bedrivs genom att vissa arbeten genomförs i gemensamma internationella projekt och att arbetsgrupper bildas för att underlätta informationsutbyte eller ta fram gemensamt besluts- eller samordningsunderlag.

Seminarier och workshops arrangeras inom viktiga områden för att dokumentera och diskutera utvecklingsläge och framtida arbetsinriktning.

Nedan förtecknas de grupper och projekt inom området för radioaktivt avfall där SKB deltar med personal eller finansiering.

**PAAG (Performance Assessment Advisory Group)** är rådgivande till RWMC i frågor rörande samarbetet om mål, medel och metoder för funktions- och säkerhetsanalyser av slutförvaringssystem.

Medlem från SKB: Tönis Papp

**SEDE (Site evaluation and design of Experiments for Radioactive Waste Disposal)** är rådgivande till RWMC i frågor rörande geovetenskapliga platsun-

dersökningar och experimentell verksamhet i medlemsländerna.

Medlem från SKB: Bengt Stillborg.

**Cooperative Program for the Exchange of Scientific and Technical Information Concerning Nuclear Installations Decommissioning Projects** utgör ett forum för informationsutbyte och samarbete om olika nedläggnings- och rivningsprojekt i hela världen.

Medlem från SKB: Hans Forsström. SKB finansierar vidare en programkoordinator, Shankar Menon, Studsvik Energiteknik AB.

**Stripa-projektet** avslutas 1992 – Se kapitel 13 – Projektledare och ansvarig för projektadministrationen är Bengt Stillborg.

Medlemmar från SKB: P-E Ahlström (ordf i Joint Technical Committee), Hans Carlsson, SGAB (ledamot av Joint Technical Committee) och Bengt Stillborg (projektledare).

Under **PAAG** finns dessutom ett par arbetsgrupper där SKB medverkar.

**Working Group on the Assessment of Future Human Actions at Radioactive Waste Disposal Sites** arbetar med frågeställningar rörande olika typer av mänskligt intrång i slutförvar för radioaktivt avfall. Gruppen initierades 1990.

Medlem från SKB: Torsten Eng

**PSAG (Probabilistic Safety Assessment Group)** utgör en arbetsgrupp mellan dem som utvecklar och använder matematiska modeller för probabilistiska analyser av förvarssystem. Huvudvikten ligger vid att samordna utvecklingen och jämföra kvaliteten på modellerna.

Medlem från SKB: Nils Kjellbert.

### 17.9.2 TDB

TDB-projektet (Thermochemical Data Base) leds av OECD/NEA. Målet är att utveckla en kemisk termodynamisk databas för ett antal element som har betydelse för säkerhetsanalysen av slutförvaring av radioaktivt avfall. Utvecklingen av databasen innebär inte enbart en insamling och inlagring av publicerade data utan också en kritisk granskning. Granskning genomförs av en för varje element vald grupp av internationella experter. Arbetet med uran resulterade i en bok som utgavs 1992 /17-2/. För närvarande pågår granskning av neptunium, plutonium, americium och teknetium.

Projekt TDB är ett synnerligen värdefullt initiativ till att utveckla en väldokumenterad, granskad och internationellt accepterad databas. SKB stöder verksamheten och svenska experter deltar i granskningsarbetet. För SKBs del liksom för övriga deltagare kommer det naturligtvis att vara nödvändigt att ha en operationell databas tillgänglig före TDB för olika beräkningsuppgifter. Resultaten från TDB förs emellertid in allt efter-

som de blir tillgängliga. Ett bra exempel på detta är Urandatabasen på SKB.

## 17.10 SAMARBETE INOM IAEA

Inom det internationella atomenergiorganet, IAEA, bedrivs också ett samarbete rörande hantering av radioaktivt avfall.

Samarbetet bedrivs på olika sätt, bl a publiceras rapporter utgörande

- proceedings från internationella symposier,
- guidelines och standards inom etablerade verksamhetsområden,
- lägesrapporter och metodikbeskrivningar inom viktiga områden under snabb utveckling.

IAEA har tillsatt en rådgivande expertgrupp för sitt program inom avfallsområdet (the International Waste Management Advisory Committee, INWAG) och arrangerar möjligheter för informationsutbyte inom olika specialområden genom s k Joint Research Programs. IAEA publicerar årligen en katalog över pågående forskningsprojekt inom avfallsområdet i medlemsländerna. SKB stöder ofta svenska experters medverkan i sammanställning och/eller granskning av IAEA-rapporter.

IAEA har också tagit ett nytt initiativ genom det s k RADWASS-programmet. Detta syftar till att arbeta fram internationella säkerhetsstandarder och riktlinjer. SKB deltar i detta arbete.

SKB deltar också i ett IAEA/EG-program angående validering av biosfärmodeller. Detta program benämns VAMP.

## 17.11 ÖVRIGT SAMARBETE

SKB deltar i BIOMOVIS, som är en internationell studie för att jämföra modeller som beskriver hur radioaktiva substanser sprider sig i mark och vatten.

Projektet leds gemensamt av följande organisationer:

- The Atomic Energy Control Board of Canada.
- AECL Research, Canada.
- Centro de Investigaciones Energeticas Medioambientales y Technologicas, Spanien.
- Empresa Nacional de Residuos Radioactivos, Spanien.
- Statens Strålskyddsinstitut, Sverige.

## 17.12 INSATSER UNDER PERIODEN 1993–1998

SKB kommer att under perioden aktivt följa utländska program inom kärnavfallsområdet. Genom de formella avtal som redan finns etablerade med organisationer från de ur svensk synpunkt mest intressanta länderna, fås kontinuerligt information om förändringar, tidplaner m m. SKBs deltagande i internationella konferenser och symposier avses under perioden bli aktivt för att såväl få respons på den utveckling som sker inom det svenska programmet som att följa vad som sker internationellt.

Deltagande i internationella projekt och arbetsgrupper kommer också att vara en väsentlig del av SKBs verksamhet under perioden. Det internationella deltagandet i Äspölaboratoriet kommer att vara intensivt och vara en källa till informationsutbyte inom intressanta ämnesområden. Genom samordning av forskningsinsatser inom bilaterala eller multilaterala projekt kan positiva effekter erhållas i form av lägre kostnader och att forskningsresultat får god spridning och granskning.

# REFERENSER

## *Kapitel 1*

### **1-1 Lag om kärnteknisk verksamhet**

SFS 1984:3, 1984-01-24.

### **1-2 PLAN 92. Kärnkraftens slutsteg. Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter.**

SKB juni 1992.

### **1-3 Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Betänkande av Aka-utredningen.**

SOU 1976:30, 31 och 41.

### **1-4 Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del I-IV.**

SKBF/KBS maj 1983.

### **1-5 Peltonen E K, Ryhänen V, Salo J-P, Vieno T K and Vuori S J**

Concept and Safety Assessment for Final Disposal of Spent Nuclear Fuel in Finland. Proc. Int. Symp. on Siting, Design and Construction of Underground Repositories for Radioactive Wastes.

IAEA, Wien 1986, pp 611-624.

### **1-6 PROJEKT GEWÄHR 1985.**

NAGRA Projektbericht NGB 85-01 – NGB 85-08.

Baden, Januar 1985.

### **1-7 Technical Appraisal of the Current Situation in the Field of Radioactive Waste Management. A Collective Opinion by the Radioactive Waste Management Committee.**

OECD/NEA, Paris 1985.

### **1-8 Disposal of Radioactive Waste: Can Long-term Safety be Evaluated? An International Collective Opinion. NEA-IAEA-CEC.**

OECD / NEA, Paris 1991.

### **1-9 Dormuth, K.W.**

Assessment of the Canadian Nuclear Fuel Waste Disposal Concept. Proc. of the Symp. on Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories.

OECD/NEA, Paris, Oct 9-13 1989.

### **1-10 van Kote F et al.**

PAGIS – Etude des Performances de Systèmes d'Isolément Géologique pour déchets radioactifs. Enfouissement dans des formations granitiques.

EUR 11777 FR. CEC, Bruxelles-Luxembourg 1988.

### **1-11 SKB 91. Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Berggrundens betydelse för säkerheten.**

SKB, Stockholm, maj 1992.

### **1-12 SKN. FoU-program 89**

Kärnbränslenämndens utvärdering, mars 1990.

### **1-13 Miljödepartementet. Program för forskning m m angående kärnkraftsavfallets behandling och slutförvaring.**

Regeringsbeslut 21, 1990-12-20.

### **1-14 WP-Cave – Assessment of feasibility, safety and development potential.**

SKB Technical Report TR 89-20, Stockholm, September 1989.

### **1-15 Juhlin C, Sandstedt H**

Storage of nuclear waste in very deep boreholes: Feasibility study and assessment of economic potential. Part I: Geological considerations 1). Part II: Overall facility plan and cost analysis 2).

SKB Technical Report TR 89-39, Stockholm, December 1989.

### **1-16 Sandstedt H, Wichmann C, Pusch R, Börgesson L, Lönnerberg B**

Storage of nuclear waste in long boreholes.

SKB Technical Report TR 91-35, Stockholm, August 1991.

### **1-17 Projekt Alternativstudier för Slutförvar (PASS). Slutrapport**

SKB, Stockholm, september 1992.

### **1-18 Kapselrådets slutrapport, Nilsson F m fl**

SKB Technical Report TR 92-xx, Stockholm, (under framtagning).

**1-19 Stripa Project Overview Reports.  
Volume 1-3.**

(Under framtagning)

**1-20 Lag om hushållning med naturresurser m m.**

SFS 1987:12.

**1-21 SKB Annual Report 1991.**

SKB Technical Report TR 91-64, Stockholm, May 1992.

## ***Kapitel 2***

**2-1 FoU-program 86, Del I-III. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder.**

SKB september 1986.

**2-2 FoU-program 89, Del I-II. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder.**

SKB september 1989.

**2-3 Se 1-12.**

**2-4 Se 1-13.**

**2-5 Disposal of high level radioactive waste. Consideration of some basic criteria. A consultative document.**

Publicerad av de nordiska strålskyddsmyndigheterna.

**2-6 IAEA Safety standards. Safety principles and technical criteria for the underground disposal of high level radioactive waste.**

Safety series no 99, Vienna 1989.

**2-7 Se 1-1.**

**2-8 Förordning om kärnteknisk verksamhet.**

SFS 1984:14 1984-01-31.

**2-9 Översyn av lagstiftningen på kärnenergiområdet.**

SOU 1991:95 december 1991.

**2-10 Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Betänkande av Aka-utredningen.**

SOU 1976:30 Del I, SOU 1976:31 Del II, SOU 1976:41 Bilaga.

**2-11 Kärnbränslecykelns slutsteg. Föreglasat avfall från upparbetning. Del I-V. Projekt Kärnbränslesäkerhet.**

SKBF/KBS november 1977.

**2-12 Kärnbränslecykelns slutsteg. Slutförvaring av använt kärnbränsle. Del I-II. Projekt Kärnbränslesäkerhet.**

SKBF/KBS september 1978.

**2-13 Lag om finansiering av framtida utgifter för använt kärnbränsle m m.**

SFS 1981:669.

**2-14 Se 1-4.**

**2-15 Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle KBS-3. Program för forskning och utveckling.**

SKBF/KBS februari 1984.

**2-16 SKB Annual Report 1990.**

SKB Technical Report TR 90-46, Stockholm, May 1991.

**2-17 Se 1-21.**

**2-18 Andersson K**

Sammanställning av synpunkter på SKBs forsknings- och utvecklingsarbete.

SKN Rapport 65, juni 1992.

## ***Kapitel 3***

**3-1 Se 2-14.**

**3-2 Se 12-28.**

**3-3 Management of low and intermediate level radioactive wastes 1988.**

IAEA/CEC proceeding, Stockholm 16-20 Maj 1988.

**3-4 Se 1-2.**

## *Kapitel 4*

4-1 Se 1-2.

4-2 **Slutförvar för reaktoravfall.  
Slutlig säkerhetsrapport.**

SKB, Stockholm, september 1987.

4-3 **Centralt lager för använt bränsle.  
Slutlig säkerhetsrapport.**

SKB, Stockholm, 1985.

4-4 **Transportsystem för använt bränsle.  
Slutlig säkerhetsrapport.**

SKBF, Stockholm, 1982.

## *Kapitel 5*

5-1 **SKN PLAN 87 och förslag till avgift för år  
1988.**

Statens Kärnbränslenämnd, Stockholm, oktober 1987.

5-2 **Kärnkraftens slutsteg, PLAN 82.  
Plan för kärnkraftens radioaktiva restprodukter,  
Del 1-2.**

SKBF, Stockholm, juni 1982.

5-3 Se 1-2.

5-4 **R+D-Program Direct Disposal Development  
Status of Direct Disposal in the Federal Republic  
of Germany.**

Projektgruppe Andere Entsorgungstechniken, Karlsruhe,  
AE No. 23 E, October 1989.

5-5 **Sellafield Repository Project.  
The Repository Project – an engineering progress  
report describing the preferred design concept.**

United Kingdom Nirex Limited, December 1991.

5-6 **Preliminary comparison with 40 CFR Part 191  
Subpart B for the Waste Isolation Plant.**

Sandia report SAND91-0893, December 1991.

5-7 **Liljenzin J-O, Skålberg M**

Partitioning and transmutation. A review of the current  
state of the art.

SKB Technical Report TR 92-19, Stockholm, August  
1992.

## *Kapitel 6*

6-1 **Systemanalyse Mischkonzept**

Projektgruppe Andere Entsorgungstechniken, Karlsruhe.  
December 1989.

6-2 **Bonne A et al.**

The HADES demonstration and pilot project on radioactive  
waste disposal in a clay formation. Final report.

CEC Report EUR 13851 EN, SKC/CEN, Mol. Belgien.  
1992.

6-3 **Site characterization Plan.**

U.S. Department of Energy, Office of Civilian Radioactive  
Waste Management

DOE/RW-0199, 1988.

6-4 **OECD-NEA**

Feasibility of disposal of high-level radioactive waste  
into the seabed. Volume 1. Overview of research and  
conclusions.

Paris, 1988.

6-5 **Sandstedt H, Wickman C, Pusch R,  
Börgesson L, Lönnerberg B**

Storage of nuclear waste in long boreholes.

SKB Technical Report TR 91-35, August 1991.

6-6 Se 1-2.

6-7 Se 1-14.

6-8 Se 1-15.

6-9 Se 1-16.

6-10 Se 1-17.

6-11 **Extended Storage of Spent Fuel.  
Final report of a Co-ordinated Research Programme  
on the Behaviour of Spent Fuel and Storage Facility  
Components during Long-term Storage (BEFAST-II,  
1986-1991).**

IAEA-TECDOC-XXX (In print).

6-12 **Underlagsrapport FUD-Program 92.  
Kärnavfallens behandling och slutförvaring.  
Detaljerat FoU-Program 1993-1998.**

SKB, Stockholm, september 1992.

## ***Kapitel 7***

7-1 Se 1-2.

## ***Kapitel 8***

### **8-1 Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material.**

1985 Edition (As Amended 1990)  
IAEA Safety series No 6, Vienna 1990.

## ***Kapitel 9***

9-1 Se 1-2.

### **9-2 Ahlbom K, Andersson J-E, Ljunggren C, Nordqvist R, Tirén S, Voss C**

Gideå study site. Scope of activities and main results.  
SKB Technical Report TR 91-51, Stockholm, 1991.

### **9-3 Ahlbom K, Andersson J-E, Ljunggren C, Nordqvist R, Tirén S, Voss C**

Fjällveden study site. Scope of activities and main results.  
SKB Technical Report TR 91-52, Stockholm, 1991.

### **9-4 Ahlbom K, Andersson J-E, Ljunggren C, Nordqvist R, Tirén S, Voss C**

Sternö study site. Scope of activities and main results.  
SKB Technical Report TR 92-02, Stockholm, 1992.

### **9-5 Ahlbom K, Andersson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S**

Kamlunge study site. Scope of activities and main results.  
SKB Technical Report TR 92-15, Stockholm, 1992.

### **9-6 Ahlbom K, Andersson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S**

Klipperås study site. Scope of activities and main results.  
SKB Technical Report, Stockholm, 1992 (under framtagning).

### **9-7 Ahlbom K, Andersson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S**

Finnsjön study site. Scope of activities and main results.  
SKB Technical Report, Stockholm, 1992 (under framtagning).

### **9-8 Ahlbom K, Leijon B, Liedholm M, Smellie J A T**

Gabbro as a host rock for a nuclear waste repository.  
SKB Technical Report, Stockholm, 1992 (under framtagning).

### **9-9 Stanfors R, Erlström M, Markström I**

Äspö Hard Rock Laboratory. Overview of the investigations 1986–1990  
SKB Technical Report TR 91-20, Stockholm, June 1991.

### **9-10 Almén K-E, Zellman O**

Äspö Hard Rock Laboratory. Field investigation methodology and instruments used in the pre-investigation phase, 1986–1990.  
SKB Technical Report TR 91-21, Stockholm, December 1991.

### **9-11 Wikberg P, Gustafson G, Rhén I, Stanfors R**

Äspö Hard Rock Laboratory. Evaluation and conceptual modelling based on the pre-investigations 1986–1990.  
SKB Technical Report TR 91-22, Stockholm, June 1991.

### **9-12 Gustafson G, Liedholm M, Rhén I, Stanfors R, Wikberg P**

Äspö Hard Rock Laboratory. Predictions prior to excavation and the process of their validation.  
SKB Technical Report TR 91-23, Stockholm, June 1991.

## ***Kapitel 10***

10-1 Se 1-11.

10-2 Se 1-4.

### **10-3 SKI Project-90, Volumes 1, 2 + Summary**

SKI Technical Report 91:23, Stockholm, August 1991.

### **10-4 PROJEKT GEWÄHR 1985.**

Nagra projektbericht NGB 85-01 – NGB 85-08.  
Baden, Januar 1985.

### **10-5 Preliminary Comparison with 40 CFR Part 191, subpart B for the Waste Isolation Pilot Plant.**

Sandia Report SAND 91-0893.  
Albuquerque, December 1991.

**10-6 Report of Early Site Suitability Evaluation of the Potential Repository Site at Yucca Mountain, Nevada.**

SAIC-91/8000, January 1992.

**10-7 Feasibility of disposal of high-level radioactive waste into the seabed, volumes 1-8.**

OECD Nuclear Energy Agency, Paris 1988.

**10-8 Disposal of radioactive waste. Can long-term safety be evaluated. An International Collective Opinion.**

OECD Nuclear Energy Agency, Paris 1991.

**10-9 Andersson J, Editor**

The joint SKI/SKB scenario development project.

SKB Technical Report TR 89-35, Stockholm, December 1989.

## ***Kapitel 11***

**11-1 Almén K-E, Zellman O**

Äspö Hard Rock Laboratory. Field investigation methodology and instruments used in the pre-investigation phase, 1986-1990.

SKB Technical Report TR 91-21, December 1991.

## ***Kapitel 12***

**12-1 Se 2-1.**

**12-2 SKB FoU-program 89**

Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder.

SKB, Stockholm, september 1989.

**12-3 Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P**

Swedish Hard Rock Laboratory. Evaluation of 1988 year pre-investigations and descriptions of the target area, the island of Äspö.

SKB Technical Report TR 89-16, Stockholm, June 1989.

**12-4 Stanfors R, Erlström M, Markström I**

Äspö Hard Rock Laboratory. Overview of the investigations 1986-1990.

SKB Technical Report TR 91-20, Stockholm, June 1991.

**12-5 Wikberg P (Editor), Gustafson G, Rhén I, Stanfors R**

Äspö Hard Rock Laboratory. Evaluation and conceptual modelling based on the pre-investigations 1986-1990.

SKB Technical Report TR 91-22, Stockholm, June 1991.

**12-6 Gustafson G, Liedholm M, Rhén I, Stanfors R, Wikberg P**

Äspö Hard Rock Laboratory. Predictions prior to excavation and the process of their validation.

SKB Technical Report TR 91-23, Stockholm, June 1991.

**12-7 Christiansson R, Stenberg L**

Manual for field work in the tunnel.

SKB Progress Report PR 25-91-10, Stockholm, 1991.

**12-8 IAEA-TECDOC-264**

Radioactive Waste Management Glossary, International Atomic Energy. Vienna, 1982.

**12-9 OECD-NEA/SKI**

The International Hydrocoin Project. Level 2. Model Validation. Paris, 1990.

**12-10 Bäckblom G, Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P**

A synopsis of predictions before the construction of the Äspö Hard Rock Laboratory and the process of their validation.

SKB Progress Report PR 25-90-14, Stockholm, 1990.

**12-11 SKN: Survey of In Situ Testing at Underground Laboratories.**

SKN Report 59, Stockholm, 1992.

**12-12 Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P**

Swedish Hard Rock Laboratory first evaluation of pre-investigations 1986-87 and target area characterization.

SKB Technical Report TR 88-16, Stockholm, June 1988.

**12-13 Stanfors R (Editor), Gustafson G, Munier R, Olsson P, Rhén I, Stille H, Wikberg P**

Evaluation of geological predictions in the access ramp 0-0/700 metres.

SKB Progress Report PR 25-92-02, Stockholm, 1992.

**12-14 Underlagsrapport till FUD-Program 92.**

**Kärnavfallets behandling och slutförvaring. Äspölaboratoriet.**

SKB, Stockholm, september 1992.

#### **12-15 Christiansson R, Hamberger U**

Blasting damage investigation in access ramp, section 0/526-0/565 m. no 1. Tunnel Excavation and Geological Documentation.

SKB Progress Report PR 25-91-12, Stockholm, 1991.

#### **12-16 Olsson O**

Blasting damage investigation in access ramp, section 0/526-0/565 m. no 2. Geophysical Investigations in Boreholes.

SKB Progress Report PR 25-91-13, Stockholm, 1991.

#### **12-17 Ouchterlony F, Sjöberg C, Johansson S, Nyberg U**

Blasting damage investigations in access ramp, section 0/526-0/565 m. no 3. Damage Zone Assessment by Vibration Measurements.

SKB Progress Report PR 25-91-14, Stockholm, 1991.

#### **12-18 Kornfält K-A, Wikman H, Nordlund E, Chunlin L**

Blasting damage investigation in access ramp, section 0/526-0/565 m. no 4. Optical examination of microcracks in thin sections of core samples and acoustic emission of core samples.

SKB Progress Report PR 25-91-15, Stockholm, 1991.

#### **12-19 Nilsson L**

Blasting damage investigation in access ramp, section 0/526-0/565 m. no 5. Hydraulic tests.

SKB Progress Report PR 25-91-16, Stockholm, 1991.

#### **12-20 Hamberger U, Jönsson L**

Borrprecision av största vikt vid undvikande av sprängskador.

Väg- och vattenbyggaren, 3/92, 1992.

#### **12-21 Pusch R, Stanfors R**

The zone of disturbance around blasted tunnels at depth. Rock Mech. and Mining Sci., Pergamon Press, 1992.

(Under framtagning)

#### **12-22 Stanfors R**

Undersökning av sprängskador i Äspölaboratoriet. Bergmekanikdagen 1992, 191-204, BeFo, Stockholm, 1992.

#### **12-23 Ouchterlony F, Nakagawa K.**

Blasting damage in the ramp of the SKB underground laboratories at Äspö in Sweden – verification of predictions based on vibration measurements.

JSCE Rock Mechanics Meeting, Tokyo, February 1992.

#### **12-24 Rhén I (Editor)**

Äspö Hard Rock Laboratory: Evaluation of the combined pumping and tracer test LPT 2.

SKB Technical Report TR 92-XX, Stockholm, 1992.

(Under framtagning)

#### **12-25 Banwart S, Laaksoharju M, Nilsson A-C, Tullborg E-L, Wallin B**

The large scale redox experiment. Initial characterization of the fracture zone.

SKB Progress Report PR 25-92-04, Stockholm, 1992.

### ***Kapitel 13***

#### **13-1 Stripa Project: Executive Summary of Phase 1.**

Stripa Project Technical Report 86-04. SKB, Stockholm, July 1986.

#### **13-2 Stripa Project: Executive Summary of Phase 2.**

Stripa Project Technical Report 89-01. SKB, Stockholm, February 1989.

#### **13-3 Olsson O (Editor)**

Site Characterization and Validation – Final Report.

Stripa Project Technical Report 92-22. SKB, Stockholm, April 1992.

#### **13-4 Pusch R et al.**

Sealing Project Executive Summary and General Conclusions of the Rock Sealing Project.

Stripa Project Technical Report 92-27. SKB, Stockholm, 1992.

### ***Kapitel 14***

#### **14-1 Se 1-2.**

#### **14-2 SFR-1 Fördjupad säkerhetsanalys.**

SKB Arbetsrapport SFR 91-10.

SKB, Stockholm, augusti 1991.

### ***Kapitel 15***

#### **15-1 International Co-operation on Decommissioning – Achievements of the OECD/NEA Co-operative Programme 1985-1990**

OECD/NEA Paris, 1992.



**15-2 Methodology and Technology of Decommissioning Nuclear Facilities.**

IAEA Technical Report Series No 267, IAEA, Vienna, 1986.

**15-3 Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk.**

SKB, Stockholm, maj 1986.

**15-4 Decommissioning of Nuclear Facilities – An analysis of the Variability of Decommissioning Cost Estimates.**

OECD/NEA, Paris, 1991.

**15-5 Simon R, Huber B**

R&D for Decommissioning in the European Communities – Present Activities and Future Tasks, presented at the OECD/NEA/IAEA International Seminar on Decommissioning Policies, Paris, 2-4 October 1991.

To be published.

**15-6 Pflugrad K et al.**

Decommissioning of Nuclear Installations, Proceedings of the International Conference on the Decommissioning of Nuclear Installations, Brussels, 24-27 October 1989.

Elsevier Applied Science, London and New York, 1990.

15-7 Se 3-4.

## ***Kapitel 17***

17-1 Se 6-12.

**17-2 Grenthe I, Fuger J, Konings R J M, Lemire R, Muller A, Nguyen-Trung C, Wanner H and Forest I**

Chemical Thermodynamics. Volume 1.

OECD/NEA, Elsevier, Amsterdam, 1992.



